

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Nabíjení automobilových akumulátorů

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Josef Pošta, CSc.
Autor práce: Bc. Jan Bureš

PRAHA 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením a za pomoci vedoucího diplomové práce pana Prof. Ing. Josefa Pošty, CSc. a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii. Tištěná verze této práce je totožná s elektronickou podobou odevzdaného dokumentu.

V Praze dne 4. 4. 2014

Jan Bureš

Poděkování

Děkuji za věcné připomínky a odbornou pomoc, kterou mi při psaní diplomové práce poskytl pan Prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Poděkování patří též panu Tomáši Čejkovi ze společnosti ČEKL spol. s r.o., v jehož provozovně a s využitím jeho přístrojového vybavení mohla být provedena měření pro mou práci.

Anotace

Cílem této práce bylo vypracovat přehled procesů probíhajících v automobilových akumulátorech, přehled možností nabíjení, dobíjení a udržování akumulátorů, dále vypracovat přehled nabíječek na současném trhu, jejich parametrů a ověřit experimentálně možnosti dobíjení akumulátorů v různém stadiu jejich technického života. V práci jsou též popsány nejdůležitější součásti konstrukce, princip funkce akumulátoru a měření prováděná na akumulátorech v souvislosti s údržbou. Experimentální část práce obsahuje navrženou metodiku měření zkoušených akumulátorů využívající zátěžový tester řízený mikroprocesorem. Jsou uvedeny výsledky zjištění stavu nabití akumulátoru měřením napětí naprázdno a výsledky získané z měřeného průběhu proudu a napětí během vybíjecího a nabíjecího cyklu pro akumulátory v různém stadiu technického života. Je uvedena analýza výsledků a z nich plynoucí doporučení a závěry.

Klíčová slova

Akumulátor, nabíjení, dobíjení, nabíječka

Charging car batteries

Abstract

The aim of this study was to prepare a view of the processes in automobile accumulators and possibility of their charging, recharging and maintenance. A view of the chargers (and their parameters) on contemporary market was made and the possibilities of charging batteries in various stages of their technical life were experimentally verified. The paper also describes the most important components of the construction, principle of function of the battery and measurements performed on accumulators in connection with the maintenance. The experimental part of the work proposes a methodology for accumulators testing by using a load tester controlled by microprocessor. Results obtained from measurement of open circuit voltage and of current and voltage during discharge and charge cycle batteries in various stages of technical life are presented. An analysis of the results and the resulting recommendations and conclusions is mentioned.

Key words

Accumulator, charging, recharging, charger

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bureš Jan

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Nabíjení automobilových akumulátorů

Anglický název

Charging car batteries

Cíle práce

Vypracovat přehled procesů probíhajících v automobilových akumulátorech, přehled možností nabíjení, dobíjení a udržování akumulátorů a přehled nabíječek na současném trhu včetně jejich technických parametrů a provozních vlastností. Experimentálně ověřit možnosti dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života.

Metodika

Vypracovat literární rešerši k zadanému tématu. Provést průzkum dosahovaných hodnot technického života akumulátorů vozidel. Navrhnout metodiku experimentálního ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života. Zpracovat, analyzovat a vyhodnotit získané výsledky. Vypracovat provozní doporučení

Osnova práce

1. Úvod
2. Olověné stratovací akumulátory
3. Provoz a údržba akumulátorů
4. Technický život akumulátorů
5. Zařízení pro ošetřování akumulátorů
6. Ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života
7. Analýza výsledků
8. Doporučení a závěry

Rozsah textové části

50 až 60 stran

Klíčová slova

akumulátor, nabíjení, dobíjení, nabíječka

Doporučené zdroje informací

ČSN IEC 60050-482 Primární a akumulátorové články a baterie

ČSN EN 50342-1 (364310) Olověné startovací baterie - Část 1: Všeobecné požadavky a metody zkoušek

Jičínský, Š.: Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi. Praha, Grada, 2006, ISBN 80-247-1417-5

Kreidl, M. – Šmíd, R.: Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu. BEN - technická literatura, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6

Další prameny dle vlastního výběru

Vedoucí práce

Pošta Josef, prof. Ing., CSc.

Konzultant práce

Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

Termín odevzdání

duben 2014

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Olověné startovací akumulátory.....	2
2.1 Princip funkce akumulátoru	2
2.2 Konstrukce akumulátoru	4
2.2.1 Elektrody	6
2.2.1.1 Kladné elektrody	6
2.2.1.2 Záporné elektrody	7
2.2.2 Separátory.....	7
2.2.3 Pólové můstky a pólové vývody	8
2.2.4 Akumulátorové nádoby	8
2.2.5 Víka	8
2.2.6 Zátky a ventily.....	9
2.2.7 Elektrolyt	10
2.3 Rozdělení akumulátorů	12
2.3.1 Rozdělení podle použití a podle provedení nádoby	12
2.3.2 Rozdělení podle způsobu uvedení do činnosti	13
2.3.3 Rozdělení podle náročnosti na údržbu	14
2.4 Základní vlastnosti akumulátorů	14
2.4.1 Elektrické vlastnosti	15
2.4.1.1 Napětí	15
2.4.1.2 Kapacita.....	16
2.4.1.3 Elektrický proud	17
2.4.1.4 Vnitřní odpor	17
2.4.1.5 Energetická účinnost	18
2.4.2 Mechanické vlastnosti	18
2.5 Procesy probíhající v automobilových akumulátorech	18
2.5.1 Nabíjení a vybíjení	18
2.5.1.1 Nabíjecí charakteristiky.....	20
2.5.1.2 Vybíjecí charakteristiky	23
2.5.2 Sulfatace	25
2.5.3 Samovybíjení.....	25
2.5.4 Zkraty	25
2.6 Označování akumulátorů předepsanými údaji	26
3. Provoz a údržba akumulátorů.....	27
3.1 Provoz akumulátoru ve vozidle.....	27
3.2 Údržba akumulátoru	28
3.3 Měření prováděná na akumulátorech v souvislosti s údržbou	29
3.3.1 Měření hustoty elektrolytu	29
3.3.2 Měření napětí akumulátorů	30
3.3.3 Požadavky na měřicí přístroje	31
3.4 Přehled možností nabíjení a dobíjení akumulátoru	31
3.4.1 Možnosti nabíjení akumulátorů.....	31
3.4.2 Možnosti dobíjení akumulátorů	33
4 Technický život akumulátorů.....	34
5 Zařízení pro ošetřování akumulátorů	35
5.1 Nabíječky	35
5.2 Přehled nabíječek	36

5.2.1 Nabíječky manuálně ovládané.....	36
5.2.2 Nabíječky automatické.....	38
5.3 Testery akumulátorů.....	41
6 Ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života	42
6.1 Měření akumulátorů při nabíjení a vybíjení.....	42
6.2 Použité přístroje.....	42
6.2.1 Tester akumulátorů AlfaBat Pro	42
6.2.2 Automatická nabíječka Fairstone ABC 1220D.....	46
6.3 Metodika měření testovaných akumulátorů	46
6.4 Měřené akumulátory	48
6.5 Výsledky experimentu.....	49
7 Analýza výsledků	52
8 Doporučení a závěry.....	56
9 Použité prameny	57

1 Úvod

Akumulátor je nezbytnou součástí elektrické soustavy motorového vozidla a je používán od začátku využívání elektřiny ve vozidlech. Je to nejrozšířenější zdroj energie pro startování spalovacích motorů v automobilech. Je určen k napájení elektrické sítě vozidla v době, kdy neběží spalovací motor. Důvodem pro jeho široké využívání je jeho relativně nízká cena a dobře zvládnutá technologie výroby, také schopnost dodávat velké startovací proudy a v našem zeměpisném pásmu pracovat v náročných podmínkách.

Rozvoj automobilismu, který vede ke stále narůstajícímu množství používaných automobilů, zvyšuje požadavky na počet vyrobených akumulátorů. Proto je třeba stále více brát zřetel na skutečnost, že suroviny pro jejich výrobu nejsou neomezené.

Dlouhodobá snaha výrobců akumulátorů užívat kvalitnější materiály a zlepšovat konstrukci akumulátorů nestačí. Je třeba také usilovat o jejich nejefektivnější využití. K tomu může přispět rozšíření poznatků o chování akumulátorů při jejich nabíjení a vybíjení a s tím souvisejícími možnostmi jejich dobíjení v průběhu jejich technického života.

V teoretické části této práce jsou popsány nejdůležitější součásti konstrukce, princip funkce oloveného akumulátoru a je vypracován přehled procesů probíhajících v automobilových akumulátorech.

Další část práce přináší přehled možností nabíjení, dobíjení a údržby akumulátorů. Dále je také uveden přehled zařízení pro udržování akumulátorů s jejich provozními vlastnostmi a technickými parametry.

Experimentální část práce se zaměřuje na ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života a obsahuje navrženou metodiku měření zkoušených akumulátorů využívající zátěžový tester řízený mikroprocesorem. Součástí práce je i přehled dosahovaných hodnot technického života měřených akumulátorů.

2 Olověné startovací akumulátory

Olověné startovací akumulátory, správně nazývané olověné akumulátorové baterie [10] (dále jen krátce “akumulátory”), jsou elektrochemické zdroje elektrické energie. Akumulátory jsou sestaveny z elektrochemických sekundárních článků, které jsou řazeny do série. Tyto akumulátorové články (dále jen „články“) umožňují vratnou přeměnu elektrické a chemické formy energie při jejich vybití a následném nabíjení a toto lze mnohonásobně opakovat.

Naproti tomu v primárních elektrochemických člancích dochází při vybití k nevratné přeměně materiálu elektrod, po vybití jsou nezpůsobilé dalšího využití a stávají se odpadem [1], [11].

Akumulátory jsou využívány pro startování spalovacích motorů a pro napájení elektrické sítě vozidla v době, kdy neběží spalovací motor. Mají nízký vnitřní odpor, jsou schopny krátkodobě dodávat vysoký proud potřebný pro start automobilu nebo motocyklu a mají schopnost zvládat poměrně náročné provozní podmínky ve vozidle. Využívání vylepšených materiálů a výrobních technologií umožnilo snížit spotřebu olova a aktivních hmot, a tak snížit hmotnost a cenu akumulátorů. Proto je jejich používání ve srovnání s jinými druhy akumulátorů nejvýhodnější [1], [7], [11]. Příklad akumulátoru znázorňuje obrázek 1.



Obr. 1 Bezúdržbový olověný akumulátor [38]

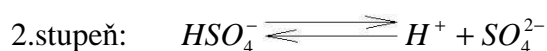
2.1 Princip funkce akumulátoru

Princip a uspořádání akumulátoru jsou známy přibližně od poloviny devatenáctého století. V praxi využitelný olověný akumulátor poprvé sestrojil v roce 1859 francouzský badatel Gaston Planté.

Nejdůležitějšími součástmi článku, který je základní funkční jednotkou akumulátoru, jsou olovené desky (elektrody) a elektrolyt, který obklopuje elektrody a je tvořen vodným roztokem kyseliny sírové.

Princip funkce článku spočívá v chemických reakcích probíhajících mezi elektrolytem a materiálem elektrod při vybíjení a nabíjení [1], [4], [8].

V prostředí vody, jako polárního rozpouštědla, dochází k elektrolytické disociaci, to je štěpení molekul kyseliny sírové za vzniku elektricky nabitých částic (iontů). Proces disociace kyseliny sírové má rovnovážný charakter a probíhá ve dvou stupních, jak lze popsat v následujících rovnicích:



Vznikají tak síranové ionty se záporným elektrickým nábojem a vodíkové ionty s kladným elektrickým nábojem. Disociace kyseliny sírové je tedy dána rovnicí:



Při vybíjení dochází na záporné elektrodě k oxidaci porézního olova za vzniku kladných olovnatých iontů a uvolnění dvou elektronů:



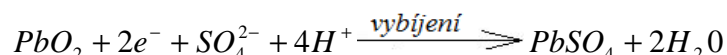
Vznikající olovnaté ionty reagují se síranovými ionty a vzniká síran olovnatý:



Elektrony uvolněné při reakci na záporné elektrodě putují vnějším uzavřeným elektrickým okruhem ke kladné elektrodě, na které probíhá při vybíjení redukce kladného čtyřmocného olova aktivní hmoty na olovo dvojmocné:



Redukcí vzniklé olovnaté ionty reagují se síranovými ionty za vzniku síranu olovnatého. Děj probíhá podle rovnice:



Při vybíjení tedy dochází k vázání síranových iontů na aktivní hmotu kladné a záporné elektrody v podobě síranu olovnatého a tím klesá hustota elektrolytu.

Při nabíjení je směr probíhající reakce opačný. Dochází k přeměně síranu olovnatého na aktivní hmotu tak, že na kladné elektrodě se tvoří červenohnědý oxid olovičitý a na záporné

elektrodě šedé houbovitě olovo. Do elektrolytu se vylučuje kyselina sírová a jeho hustota se tak zvyšuje [1], [4], [5], [11].

Chemické reakce probíhající při nabíjení a vybíjení akumulátorů, včetně ekvivalentních množství materiálů potřebných k jejich průběhu, zjednodušeně znázorňuje tabulka 1.

Tabulka 1 Schéma průběhu chemických reakcí při vybíjení a nabíjení akumulátorů, včetně ekvivalentního množství reagujících materiálů pro 1Ah [4]

Elektroda +	Elektrolyt	Elektroda -	Směr chemických reakcí	Elektroda +	Elektrolyt	Elektroda -
$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb \begin{matrix} \xrightarrow{\text{vybíjení}} \\ \xleftarrow{\text{nabíjení}} \end{matrix} PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$						
4,46 g	3,66 g	3,87 g	=	5,66 g	0,67 g	5,66 g
Celkem		11,99 g	=	11,99 g	Celkem	

Princip funkce akumulátoru, to znamená princip akumulace a výdeje energie, je tedy založen na přeměně elektrické energie v chemickou při nabíjení a na přeměně chemické energie na elektrickou při vybíjení.

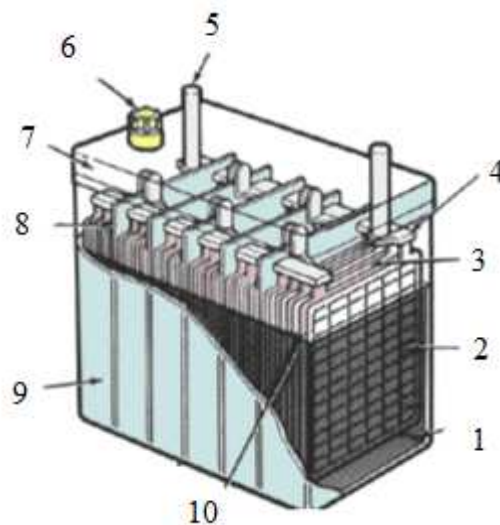
2.2 Konstrukce akumulátoru

Akumulátory jsou sestaveny z jednotlivých sériově spojených článků a napětí článků se sčítá. Dvanáctivoltový akumulátor je tvořen šesti články a jmenovité napětí každého článku má hodnotu 2 V. Článek obsahuje vždy sadu kladných (anodových) a sadu záporných (katodových) elektrod. Sada je paralelním spojením elektrod a umožňuje potřebné zvětšení kapacity článku. Jmenovité napětí článku se při změně počtu elektrod v sadě nemění a zůstává 2 V [1], [4].

Konstrukční součásti akumulátoru lze tedy rozdělit na díly pro sestavu článků (tj. elektrody, separátory, pólové můstky, článkové nádoby, víka, zátky nebo ventily), dále díly pro sestavu akumulátoru (tj. spojky, svorky, bateriové skříně nebo nosiče) a elektrolyt (kyselina sírová a destilovaná nebo deionizovaná voda).

Materiály použité pro výrobu tohoto typu akumulátoru musí být odolné proti dlouhodobému působení kyseliny sírové. Tuto podmínku dobře splňuje olovo. Proto všechny části akumulátoru, které vedou proud, jsou vyrobeny z olova nebo jeho slitin [1], [10], [11].

Konstrukce klasického akumulátoru je znázorněna na obrázku 2. Sestava elektrod je umístěna v nádobě zhotovené z izolačního materiálu. Krajní elektrody jsou vždy záporné. Elektrody jsou přivařeny k můstkům článků, které jsou opatřeny proudovými vývody. Kladné a záporné elektrody jsou odděleny separátory a na spodní straně jsou postaveny na opěrné hranoly vystupující ze dna nádoby a vytvářející prostor, kde se shromažďují aktivní hmoty spadlé z elektrod.



Obr. 2 Konstrukce klasického akumulátoru [47]

1- elektrolyt, 2 – desky, 3 – články, 4 – spojovací můstek, 5 – pólový nástavec, 6 – zátka, 7 – víko, 8 - buňka pro článek, 9 – obal, 10 - separátory

Nádoba je opatřena víkem. Jeho vzdálenost od horních hran elektrod musí být minimálně 20 mm, neboť dochází při vybíjení a nabíjení ke změnám hladiny elektrolytu a musí být umožněno oddělení kapiček elektrolytu při silném plynování na konci nabíjení. Víko má dva otvory pro proudové vývody a je opatřeno ventilační zátkou pro únik plynů během samovybíjení i malého přebíjení. Zátka též zamezuje vylití elektrolytu při nevelkých sklonech akumulátoru. Otvor pro ventilační zátka slouží též k doplňování elektrolytu, určení hladiny a koncentrace elektrolytu a umožňuje únik plynu při značném přebíjení. Jednotlivé články jsou spojeny olověnými spojkami [1], [11]. Dále jsou popsány jednotlivé konstrukční součásti akumulátoru.

2.2.1 Elektrody

Na funkci akumulátoru se podstatnou měrou podílejí aktivní hmoty elektrod. Proto jsou elektrody nejdůležitější konstrukční součástí akumulátoru a jsou určující pro jeho elektrické, rozměrové a hmotnostní parametry a mají významný vliv též na jeho životnost.

Elektrody jsou většinou plochého obdélníkového tvaru a nazývají se desky. Podle elektrického náboje se rozdělují na kladné a záporné. Pro speciální účely se používají také tzv. bipolární elektrody, jejichž jedna strana je nositelem kladného a druhá záporného náboje [1],[4].

Existují však i jiná, ne tak častá, konstrukční řešení elektrod, jako jsou například elektrody spirálové, trubkové a diskové. Tyto typy elektrod nacházejí využití především v trakčních a staničních akumulátorech.

Spirálové elektrody mají tvar tenkých ohebných pásů, stočených po proložení separátory do sviteků, které jsou uloženy do článkových nádob tvaru válce. Akumulátory obsahující tyto elektrody mají nižší vnitřní odpor a snášejí vybíjení mnohem vyššími proudy než klasické startovací akumulátory.

Trubkové elektrody, zvané též pancéřové, sestávají z olověného hřebene, zasunutého svými trny do trubic z textilního kyselinovzdorného materiálu a prostor kolem olověných trnů vyplňuje aktivní hmota. Akumulátory s trubkovými elektrodami mají v provozu trvalého dobíjení životnost až 20 let. Pro vyšší vnitřní odpor nejsou však vhodné pro vybíjení velkými proudy.

Diskové kladné a záporné elektrody jsou uspořádány do sloupců a uloženy ve válcových článkových nádobách. Akumulátory obsahující tyto elektrody mají podle výsledků urychlených zkoušek životnost minimálně 30 let [4].

2.2.1.1 Kladné elektrody

Kladné elektrody jsou při provozu více namáhány. Může více docházet k uvolnění aktivní hmoty a k jejímu usazování na dně článku. Proto mají kratší životnost než elektrody záporné a jsou limitující pro životnost olověných akumulátorů.

V současné době se nejčastěji používají elektrody mřížkové. Na rozdíl od dříve častých velkopovrchových (Plantého) elektrod jsou výhodné pro efektivnější využití olověného materiálu a tím i nižší hmotnost, objem a cenu. Nevýhodou může být jejich kratší životnost.

Výroba mřížkových elektrod spočívá v odlévání mřížek z olova legovaného antimonem, který zlepšuje licí vlastnosti a zvyšuje mechanickou pevnost elektrod. Část obsahu antimonu v olovu bývá nahrazena jinými prvky, např. vápníkem, selenem, arzenem, které umožňují významně snížit korozi olověných mřížek a samovybíjení akumulátorů.

Do mřížky desky je vpraven (vmazáván) aktivní materiál v podobě pasty. Složení pasty tvoří převážně tribázický síran olovnatý $3\text{PbO}\cdot\text{PbSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a tetrabázický síran olovnatý $4\text{PbO}\cdot\text{PbSO}_4$. Po ukončení pastování se pasta vypeče a pevně se spojí s mřížkou. Po vyžrání se provádí tzv. formování elektrod v roztoku kyseliny sírové, při kterém se pasta změní na tmavě hnědý oxid olovičitý PbO_2 a tím dojde k vytvoření aktivní hmoty. Po formování se elektrody perou a suší [1], [4], [6].

Kladné elektrody pro akumulátory s dlouhou životností jsou konstruovány jako trubkové nebo tyčové s kapsovými separátory. Těmito konstrukcemi je podpořena soudržnost elektrod a eliminováno vypadávání aktivních hmot [11].

2.2.1.2 Záporné elektrody

Záporné elektrody jsou v současné době konstruovány jako mřížkové a materiálem pro jejich odlévání je tzv. tvrdé olovo ve formě slitin. Po pastování a vyžrání pasty se elektrody formují ve zředěné kyselině sírové. Vyformováním se pasta mění na aktivní hmotu, kterou je tmavě šedé porézní olovo obsahující stopy PbSO_4 . Následně se elektrody perou a suší. Pro výrobu akumulátorů za sucha nabitých se suší za nepřístupu vzdušného kyslíku v inertní atmosféře [4], [6], [11].

2.2.2 Separátory

Separátory jsou konstrukční části článku vyrobené z materiálu propustného pro ionty, který uvnitř článku zabraňuje elektrickému kontaktu mezi elektrodami opačné polarity [10].

Separátory jsou vloženy mezi kladné a záporné desky a slouží k jejich oddělení. Musí zajišťovat dobrou průchodnost iontů elektrolytu a mít nízký elektrický odpor.

Používají se plošné separátory překrývající celou plochu elektrod, vyrobené z různých materiálů. Může to být zvlněná perforovaná folie z polypropylenu nebo PVC, pryž nebo netkaná textilie ze skleněných vláken a také papír s vysokým obsahem dlouhovláknenné celulózy, impregnovaný většinou formaldehydovými pryskyřicemi za účelem zvýšení odolnosti vůči kyselině sírové [4], [6].

2.2.3 Pólové můstky a pólové vývody

Pólové můstky umožňují paralelní spojení elektrod do jednotlivých sad. Sady kladných desek a sady záporných desek, přivařené k můstkům, jsou do sebe v článcích zasunuty tak, že se kladné a záporné desky střídají. Pólový můstek kladných desek prvního článku a pólový můstek záporných desek posledního článku jsou opatřeny pólovými vývody vyvedenými na víko akumulátoru. Pólové vývody slouží k připojení akumulátoru k nabíjecím zdrojům a spotřebičům ohebnými vhodně dimenzovanými izolovanými kabely, které jsou v závislosti na konstrukci pólových vývodů zakončeny oky nebo svorkami.

Kladné a záporné pólové vývody akumulátorů mohou mít stejný tvar i rozměry, pak ale musí být označena jejich polarita, aby se zamezilo prepólování. Nebo jsou kladné pólové vývody jiného průměru než záporné.

Pólové vývody jsou olovené, nejčastěji kuželovitého tvaru nebo ploché. Mohou být doplněny vložkou z mechanicky pevnějšího kovu (např. měděnou), která má závit umožňující připojení kabelového oka. Na kuželovité pólové vývody bez závitové vložky se kabely připojují stahovatelnou sponou [3], [4], [10].

2.2.4 Akumulátorové nádoby

Akumulátorové nádoby mohou být jednokomorové, to znamená, že každému článku přísluší vlastní článková nádoba. Nejčastěji jsou tyto nádoby řešeny jako vícekomorové bloky pro několik článků, kde sousední článkové komory mají vždy společné stěny.

Důležitým požadavkem je, aby nádoba byla odolná proti poškození a vibracím. Materiály pro výrobu akumulátorových nádob jsou proto v dnešní době především termoplasty, mezi něž patří akrylonitril-butadien-styren (ABS), polypropylen a polyetylen. Výjimečně se ještě vyrábějí nádoby z tvrzené gumy nebo z vrstvených materiálů s asfaltovými pojidly a asfaltem zalitými články [4], [11].

2.2.5 Víka

Víka uzavírají nádoby jednotlivých článků nebo celých akumulátorů a obvykle mají otvory umožňující plnění, dolévání, únik plynu a otvory pro pólové vývody [10].

Víka se vyrábějí ze stejných materiálů jako akumulátorové nádoby a ve spojení s nádobou mohou být utěsněny těsníci vložkami z pryže nebo zalévací hmotou (například asfaltem). Nejčastěji se však lepí nebo přivařují [10], [11].

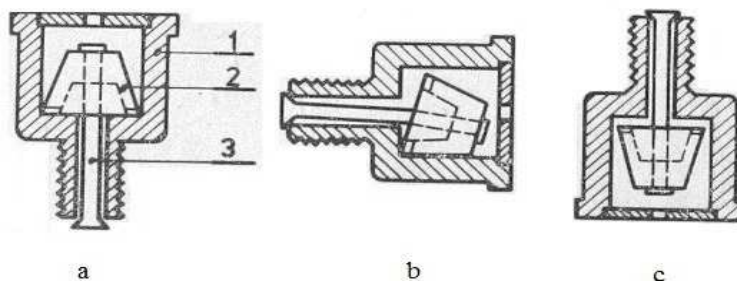
2.2.6 Zátky a ventily

Na víkách článků jsou umístěny vyjímatelné zátky nebo ventily, jejichž funkce jsou pro akumulátor velmi důležité:

- umožňují doplnění elektrolytu
- uzavírají plnicí otvory a brání úniku elektrolytu
- chrání elektrolyt před vnikem nečistot a cizích těles z okolí
- snižují ztráty vody odpařováním a únik aerosolu kyseliny sírové z článku do ovzduší.

Ventily jsou konstrukčním řešením, které dovoluje, aby plyn proudil pouze jedním směrem, a mají charakteristický větrací nebo otevírací tlak [4], [7].

Speciální konstrukce zátek napomáhají plnit další jejich funkce. Jsou to například zátka uzavírané při překlopení ventilkem, umožňující krátkodobě práci akumulátoru v libovolné poloze. Tento druh zátka je znázorněn na obrázku 3. Při vychýlení ze svislé polohy stahuje závažíčko v zátce pryžový ventilek a ten uzavře otvor pro průchod plynů a elektrolytu zátkou. Po vrácení akumulátoru do svislé polohy je pryžový ventilek uvolněn a umožňuje opět únik plynů otvorem zátka.



Obr. 3 Princip zátka uzavírané při překlopení ventilkem [4]

a – normální poloha (zátka otevřena)

b, c – polohy, při kterých je zátka uzavřena

1 – těleso zátka, 2 – olůvko, 3 – pryžový těsnící ventilek

Články mívají odvětrávání řešeno vyvedením do kanálku umístěného pod společným krytem článků. V případě vznícení unikajících plynů to brání vniknutí plamene do článku [11].

Speciální zátka fungující jako jednosměrný přetlakový ventil mají ventilem řízené akumulátory. Zátka je vybavena porézní vložkou bránící úniku elektrolytu a membránovým systémem, který nepropouští vzduch z vnějšího prostředí [11].

Využívá se též kombinace zátky s katalyzátorem, nejčastěji z paladia, pro rekombinaci (slučování) vodíku a kyslíku na vodu, neboť při provozu akumulátorů, zejména při jejich nabíjení, dochází k úbytkům vody způsobeným její elektrolýzou (rozkladem) na vodík a kyslík. Děj probíhá podle rovnice:



a vzniklé plyny mohou tvořit výbušnou směs [4], [11].

2.2.7 Elektrolyt

Elektrolyt je látka obsahující pohyblivé kladné a záporné ionty, jejichž prostřednictvím umožňuje vedení elektrického proudu a účastní se chemických reakcí v článku. Může být tekutý, pevný nebo gelový.

V akumulátorech se jako elektrolyt používá vodný roztok dostatečně čisté kyseliny sírové (H_2SO_4), na trhu dostupný jako tzv. akumulátorová kyselina [1], [6], [10], [11]. Hustota elektrolytu u všech uzavřených větraných akumulátorů v plně nabitém stavu musí být při teplotě 25 °C v rozmezí 1,27 až 1,30 g.cm⁻³, pokud není výrobcem stanoveno jinak [7].

Pro přípravu elektrolytu a pro doplňování úbytku vody v člancích nevyhovuje voda pitná, užitková nebo změkčená, protože obsahuje rozpuštěné chemické látky škodící akumulátoru. Používá se jediné voda destilovaná nebo demineralizovaná [4], [11].

V případě potřeby připravit elektrolyt ředěním koncentrované kyseliny sírové vodou je nutno řídit se zásadou, že se lije kyselina do vody. Za stálého míchání se do předem připraveného množství vody pozvolna přilévá potřebné odměřené množství koncentrované kyseliny. Nádobu, ve které se kyselina ředí, se doporučuje zvenčí chladit (může být umístěna ve vodní lázni) a při práci je nezbytné používat předepsané ochranné pomůcky.

Mísení koncentrované kyseliny s vodou je provázeno uvolněním tím většího množství tepla, čím je kyselina koncentrovanější. Proto se nesmí lít voda do kyseliny, neboť by se při rychlém uvolnění tepla změnila na páru a ta by spolu s koncentrovanou kyselinou prudce vystříkla a mohla tak způsobit vážné popálení a poleptání kůže [4].

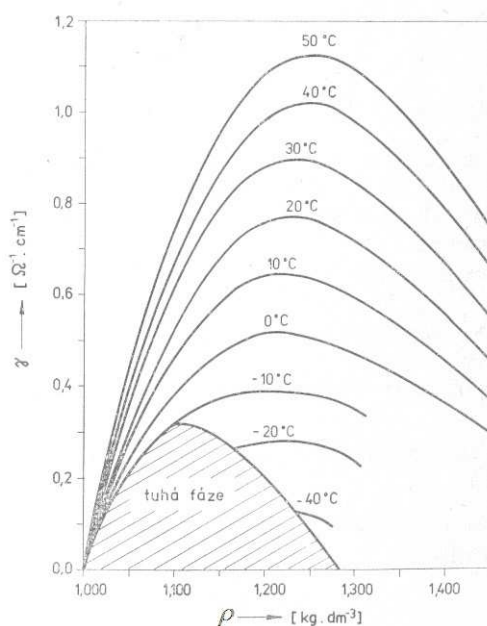
Poměry pro ředění kyseliny sírové s vodou pro přípravu elektrolytů určených pro různé typy akumulátorů jsou uvedeny v tabulce 2.

Na hustotě elektrolytu je závislá řada vlastností akumulátoru. Například při změně hustoty o 0,01 g.cm⁻³ se změní kapacita akumulátoru o více než 3 %. To ukazuje, že zanedbání péče o správnou hustotu kyseliny urychluje zničení akumulátoru.

Tabulka 2 Příprava 100 l elektrolytu ředěním kyseliny sírové o různé hustotě [4]

Požadovaná hustota elektrolytu [g.cm ⁻³]	Litrů při 20 °C	Hustota kyseliny sírové použité k ředění [g.cm ⁻³]											
		1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	1,84
1,18	kyseliny	89,5	80,8	73,6	67,4	62,2	57,7	53,7	50,3	47,0	44,5	42,1	16,1
	vody	10,7	19,5	26,8	33,1	38,5	43,1	47,2	50,7	53,9	56,7	59,2	88,5
1,20	kyseliny	100	90,3	82,3	75,4	69,5	64,5	60,1	56,2	52,8	49,8	47,1	18,0
	vody	0	9,8	18,0	25,1	31,1	36,3	40,8	44,8	48,3	51,2	54,2	86,9
1,24	kyseliny			100	91,7	54,6	78,4	73,2	68,3	64,2	60,5	57,2	22,0
	vody			0	8,5	15,8	22,1	22,7	32,5	36,8	40,6	44,0	83,3
1,26	kyseliny				100	9,2	85,5	79,7	74,5	70,0	66,0	62,4	24,1
	vody				0	7,9	14,8	20,9	26,2	30,8	35,0	38,7	81,5
1,285	kyseliny						94,6	88,1	82,4	77,4	72,9	69,0	26,5
	vody						5,6	12,3	18,1	23,3	27,9	32,0	79,3

Na hustotě a teplotě elektrolytu také závisí jeho elektrický odpor. Protože se hustota elektrolytu mění v závislosti na stupni nabití akumulátoru, dochází při vybíjení ke zvýšení elektrického odporu elektrolytu a tím klesá jeho vodivost. Závislost elektrické vodivosti γ elektrolytu H₂SO₄ na jeho hustotě ρ při různých teplotách ukazuje obrázek 4 [1], [4], [6].



Obr. 4 Závislost elektrické vodivosti elektrolytu H₂SO₄ na jeho hustotě při různých teplotách [4]

Vlastnosti elektrolytu jsou také podstatou odolnosti proti mrazu u olověných akumulátorů. Plně nabitý akumulátor se správnou hustotou kyseliny nezamrzne ani při teplotě $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zatímco vybitý akumulátor, u něhož může hustota elektrolytu klesnout až na $1,15$ až $1,11\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ nebo při hlubokém vybití ještě více, může zmrznout již při teplotě těsně pod bodem mrazu. Větší objem vzniklého ledu uvnitř článků vede většinou k mechanickému poškození akumulátoru a k poškození elektrod [1], [4].

2.3 Rozdělení akumulátorů

Akumulátory lze klasifikovat podle řady hledisek. Může to být podle jejich použití, podle provedení nádoby, dále dle způsobu uvedení do činnosti a podle náročnosti na údržbu.

2.3.1 Rozdělení podle použití a podle provedení nádoby

Podle možnosti použití rozlišuje norma ČSN EN 50342-1 následující skupiny akumulátorů:

- pro osobní automobily
- pro nákladní a průmyslová vozidla pro běžný provoz
- pro nákladní a průmyslová vozidla pro provoz v náročných podmínkách [7].

Touto normou se klasifikují akumulátory jako:

- uzavřené větrané (s volným elektrolytem), které mají kryt s jedním nebo více otvory pro únik plyných zplodin
- ventilem řízené (s rekombinací plynu), označované zkratkou VRLA (Valve regulated lead-acid), které jsou za normálních podmínek uzavřeny, ale jejich uspořádání umožňuje unikat plynu, jestliže vnitřní tlak přesáhne předem určenou hodnotu. Tento druh akumulátorů nelze doplňovat elektrolytem [7].

Podle provedení nádoby mohou být akumulátory rozděleny takto:

- otevřené
- uzavřené
- ventilem řízené
- hermeticky uzavřené.

Otevřené akumulátory, jsou typické tím, že článkové nádoby nejsou uzavřeny víky. Ve skleněné nebo plastové nádobě jsou elektrody zavěšeny na nosném izolačním systému. Povrch elektrolytu většinou kryje plovací folie. Tyto akumulátory byly využívány dříve, především pro staniční účely a z bezpečnostního hlediska není dnes toto provedení již přípustné [4], [11].

Uzavřené akumulátory mají víko, kde jsou otvory pro vývody a otvory se zátkami. Jsou to uzavřené větrané akumulátory (s volným elektrolytem).

Ventilem řízené akumulátory mají ventily, které umožňují unikání plynu, pokud vnitřní tlak přesáhne stanovenou hodnotu. Jejich články jsou většinou vliesového nebo gelového typu, a tím je umožněn provoz akumulátoru v jakékoliv poloze [6], [10], [11].

Hermeticky uzavřené akumulátory jsou konstruovány tak, aby elektrolyt i plyny byly po dobu celé životnosti uvnitř článků [4]. V poslední době se akumulátory tohoto typu stále více používají, neboť mají řadu výhod. Uzavřená konstrukce umožňuje jejich práci v libovolné poloze. Neuniká z nich elektrolyt, což je velmi příznivé z ekologického hlediska. Dalšími výhodami jsou jednoduchá manipulace a nulové požadavky na údržbu. Díky obalu z vysoce odolného nevodivého plastu výborně odolávají rázům, vibracím, chemikáliím i teplotě. Mají dlouhou životnost, podle typu to může být 5 až 15 let. Mohou být provozovány ve velmi širokém rozsahu teplot, tj. od -60 do +60 °C [11].

2.3.2 Rozdělení podle způsobu uvedení do činnosti

Podle způsobu uvedení do činnosti je možné akumulátory rozdělit na následující typy:

- naplněné - nabité
- suché - nenabité
- za sucha nabité
- za sucha nabité aktivované vodou

Naplněné – nabité akumulátory jsou okamžitě použitelné. Jejich naplnění a nabití je zajištěno před vlastní expedicí výrobcem.

U suchých – nenabitých akumulátorů je před jejich použitím nezbytné naplnit články elektrolytem o výrobcem předepsané hustotě a ponechat po dobu 3 hodin nasáknout separátory a aktivní hmoty elektrod. Je třeba je nabíjet, až se dosáhne plného nabití, tj. přibližně po dobu 50 hodin.

Akumulátory za sucha nabité jsou vybaveny elektrodami, které byly při výrobě po vyformování sušeny v inertní atmosféře. Pokud nejsou uskladněny déle, než je doporučeno výrobcem (bývá to 6 měsíců), po naplnění elektrolytem a nasáknutí separátorů a aktivních hmot elektrod dosahuje jejich jmenovitá kapacita až 70%. To umožňuje zkrátit dobu prvního nabíjení zhruba na 5 hodin.

V případě akumulátorů za sucha nabitých aktivovaných vodou je v článkových komorách uložena koncentrovaná kyselina sírová, která může být například ve formě gelu, absorbovaná v porézní hmotě nebo vázána v komplexu. K aktivaci dojde naplněním článků destilovanou nebo deionizovanou vodou, která poskytne s kyselinou elektrolyt o požadované hustotě. Tyto akumulátory jsou provozuschopné za 20 minut po aktivaci [4].

2.3.3 Rozdělení podle náročnosti na údržbu

Akumulátory v současné době nejvíce používané se z hlediska náročnosti na údržbu rozdělují na dvě skupiny:

- akumulátory se sníženou údržbou
- bezúdržbové akumulátory.

Akumulátory se sníženou údržbou mají elektrody ze slitin olova s velmi nízkým obsahem antimonu nebo bez antimonu. Mají proto menší samovybíjení a nižší úbytky vody oproti klasickým. Jsou též vybaveny zátkami pro rekombinaci vodíku a kyslíku na vodu a mohou mít automatické doplňování vody do článků [4].

Bezúdržbové akumulátory jsou ventilem řízené akumulátory hermetického typu (VRLA). Pro jejich kvalitu je nejdůležitější konstrukce jejich elektrod. Jsou vyrobeny z bezantimonového olovo – kalciového kompozitu, kde obsažený vápník poskytuje materiálu vysokou pevnost a odolnost proti korozi. V nabitém stavu je záporná elektroda pokryta vrstvou čistého olova a kladná elektroda vrstvou oxidu olovičitého (PbO_2). Obě elektrody jsou porézní, což zaručuje maximální povrch jejich aktivních hmot. Většinou užívané sklotextilové separátory jsou zároveň absorberem elektrolytu. Rekombinaci plynů vznikajících při přebíjení akumulátoru zajišťuje tzv. kyslíkový cyklus. Využívá toho, že kapacita záporné elektrody je větší než elektrody kladné. Při dobíjení je proto kladná elektroda nabita dříve než záporná. Kyslík, který se potom vyvíjí, reaguje s olovem na záporné elektrodě a nedochází tak k vyvíjení vodíku. Voda, která je součástí elektrolytu, se tím nerozkládá, a tak se nemění množství elektrolytu. V případě, že rychlost vyvíjení kyslíku přesáhne absorpční schopnost záporné elektrody, přebytečné plyny vypustí bezpečnostní přetlakový ventil [1], [4].

2.4 Základní vlastnosti akumulátorů

Vlastnosti akumulátorů mohou být charakterizovány celou řadou parametrů, které lze měřit, nebo jsou stanoveny výrobcem v příslušné technické specifikaci, případně jsou dány normou. Tyto parametry jsou ovlivňovány mnoha faktory, z nichž nejvíce se uplatňují teplota,

provozní podmínky, počet cyklů nabíjení a vybíjení, stáří akumulátorů a další. Základní vlastnosti článků a akumulátorů lze rozdělit na vlastnosti elektrické a mechanické.

2.4.1 Elektrické vlastnosti

Pro funkci a použití akumulátorů jsou zásadní jejich vlastnosti elektrické.

2.4.1.1 Napětí

Napětí se měří na svorkách akumulátoru a uplatňují se následující druhy této veličiny.

Jmenovité napětí U je definováno jako vhodná přibližná hodnota napětí, používaná k označení nebo identifikaci článku i akumulátoru [10], [11]. Hodnota jmenovitého napětí pro olovený článek je 2,0 V a používá se při výpočtech jmenovitého napětí akumulátorů.

Automobilový startovací akumulátor má jmenovité napětí 12,0 V, tj. je sestaven ze šesti sériově spojených článků. Motocyklový akumulátor má 3 články a jeho jmenovité napětí tedy je 6,0 V [7].

Sériové spojení článků je uspořádání, kde každý kladný pólový vývod článku je připojen k zápornému vývodu dalšího článku v řadě [10].

Napětí naprázdno U_0 se definuje jako napětí článku nebo akumulátoru při nulovém vybíjecím proudu. Je to tedy napětí při rozpojeném elektrickém obvodu [4], [10]. Protože je napětí článku naprázdno ovlivněno hustotou elektrolytu, je možné pro praxi dostatečně přesně vypočítat podle vzorce (1):

$$U_0 = 0,84 + \rho \quad (1)$$

kde: U_0 je napětí článku naprázdno [V], ρ je hustota elektrolytu při 20 °C [g.cm^{-3}].

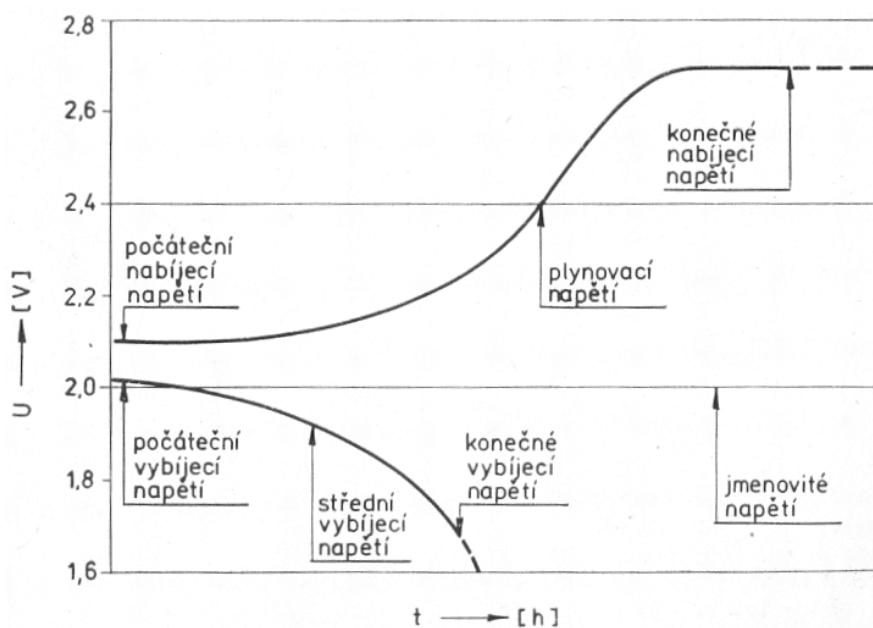
Pro plně nabitý článek (s hustotou elektrolytu $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$) podle vzorce (1) bude mít napětí $U_0 = 0,84 + 1,28 = 2,12 \text{ V}$ a u vybitého článku (s hustotou elektrolytu $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$) bude napětí $U_0 = 0,84 + 1,13 = 1,97 \text{ V}$.

Přesné hodnoty napětí naprázdno mohou být získány jedině měřením nejdříve jednu hodinu po ukončení nabíjení nebo vybíjení, až se vyrovnají hodnoty hustoty elektrolytu v aktivních hmotách a jejich okolí [4]. Napětí naprázdno pro plně nabité akumulátory, po minimálně 24 hodinách klidu a bez zatížení, při teplotě 25 °C, musí být pro uzavřené větrané typy akumulátorů v rozpětí 12,70 až 12,90 V a pro ventilem řízené akumulátory minimálně 12,80 V, pokud není výrobcem stanoveno jinak [7].

Vybíjecí napětí U_v , dříve nazývané napětí při zatížení, je definováno jako napětí mezi pólovými vývody článku nebo akumulátoru při vybíjení. Vybíjecí napětí je vždy nižší než napětí nabitého článku nebo akumulátoru naprázdno [4], [10].

Analogicky lze popsat nabíjecí napětí U_n jako napětí měřené mezi pólovými vývody článku nebo akumulátoru při jejich nabíjení. Je vždy vyšší než napětí naprázdno [4], [10].

Typický průběh napětí článku nabíjeného a vybíjeného konstantním proudem je znázorněn na obrázku 5.



Obr. 5 Základní údaje na napěťových charakteristikách při nabíjení a vybíjení olověného článku [4]

2.4.1.2 Kapacita

Kapacita je elektrický náboj, který může článek nebo akumulátor dodat za stanovených podmínek vybíjení. Jednotkou SI elektrického náboje nebo množství elektřiny je coulomb ($1C = 1As$), v praxi je ale kapacita vyjádřena obvykle v ampérhodinách [Ah] [10], [11].

Kapacita akumulátoru je dimenzována pro teplotu $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a může být uváděna jako jmenovitá kapacita C [Ah] nebo jako jmenovitá rezervní kapacita C_r [min].

Hodnoty jmenovité kapacity a jmenovité rezervní kapacity musí u všech akumulátorů odpovídat hustotě elektrolytu nebo napětí naprázdno, jak je stanovuje norma [7]. Jsou to hodnoty garantované výrobcem [1].

Jmenovitá dvacetihodinová kapacita C_{20} je definována jako elektrický náboj v ampérhodinách [Ah], který může akumulátor dodat při proudu $I = \frac{C}{20}$ [A] do konečného napětí $U_f = 10,50$ V [7]. V praxi se užívá i obdobně definovaná jmenovitá desetihodinová kapacita C_{10} v ampérhodinách [11].

Jmenovitá rezervní kapacita C_r je časový interval vyjádřený v minutách, po který akumulátor může vydržet vybíjení proudem 25 A do dosažení konečného napětí $U_f = 10,50$ V [7].

2.4.1.3 Elektrický proud

Stojnosměrný elektrický proud, který dodává akumulátor při vybíjení, tj. při dodávání elektrické energie do vnějšího elektrického obvodu, je vybíjecí proud I_v [A].

Vybíjecí proud je závislý na odporu vnějšího obvodu R_{ex} a podle Ohmova zákona platí:

$$I_v = \frac{U_v}{R_{ex}} \text{ [A]} \quad (2)$$

kde U_v je vybíjecí napětí.

Maximální hodnota vybíjecího proudu je výrobcem stanovený trvalý vybíjecí proud a jeho překročení může způsobit poškození akumulátoru [1], [10], [11].

Startovací proud I_s je vybíjecí proud definovaný jako proud, který může akumulátor dodávat při teplotě -18 °C po dobu 10 sekund při minimálním napětí $U_f = 7,50$ V. Požadované teploty se dosáhne umístěním akumulátoru v chladicí komoře s nucenou cirkulací vzduchu minimálně po dobu 24 h [7].

2.4.1.4 Vnitřní odpor

Vnitřní odpor R_i [Ω] olověného akumulátoru závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Jeho hodnota je velmi malá, řádově 0,001 Ω .

U všech akumulátorů je vyžadován co nejnižší vnitřní elektrický odpor, aby při zatížení vlivem vysokých startovacích proudů byl pokles napětí akumulátoru co nejmenší.

Protože se u akumulátorů hustota elektrolytu mění podle stupně jeho nabití, při nabíjení se vnitřní odpor akumulátoru zmenšuje (elektrolyt houstne a jeho vodivost se zvyšuje) a při vybíjení dochází k jeho vzestupu (elektrolyt řídne a klesá jeho vodivost). Vnitřní odpor vybitého akumulátoru je přibližně dvakrát větší než u akumulátoru nabitého.

Při snižování teploty se s každým stupněm Celsia vnitřní odpor akumulátoru zvyšuje přibližně o 0,4 % [1], [4].

2.4.1.5 Energetická účinnost

Energetická účinnost se definuje jako poměr elektrické energie za stanovených podmínek odebrané z akumulátoru při jeho vybíjení k elektrické energii, která byla akumulátoru dodána při předcházejícím nabíjení. Jednotkou SI energie je joule ($1\text{J} = \text{Ws}$), v praxi se ale energie akumulátoru vyjadřuje ve watthodinách ($1\text{Wh} = 3600\text{J}$) [10].

2.4.2 Mechanické vlastnosti

Důležitou charakteristickou mechanickou vlastností akumulátoru je odolnost proti vibracím, což je schopnost zachovat funkčnost při působení zrychlujících sil a prověřuje se zkouškou pomocí zkušební vibrační stolice [7].

Velmi významná je také schopnost akumulátoru udržet elektrolyt, tzv. uchování elektrolytu, při stanovených mechanických podmínkách a zkouší se normovanými metodami [7].

2.5 Procesy probíhající v automobilových akumulátorech

Základními procesy probíhajícími v akumulátorech jsou opakované nabíjení a vybíjení. Jejich podstata je popsána v čl. 2.1 této práce. V akumulátorech však probíhají také procesy do značné míry nežádoucí, jako sulfatace, samovybíjení, případně mohou nastat zkraty. Znalosti těchto procesů a podmínek, které na ně mají vliv, mohou významně přispět k dosažení optimální životnosti používaných akumulátorů.

2.5.1 Nabíjení a vybíjení

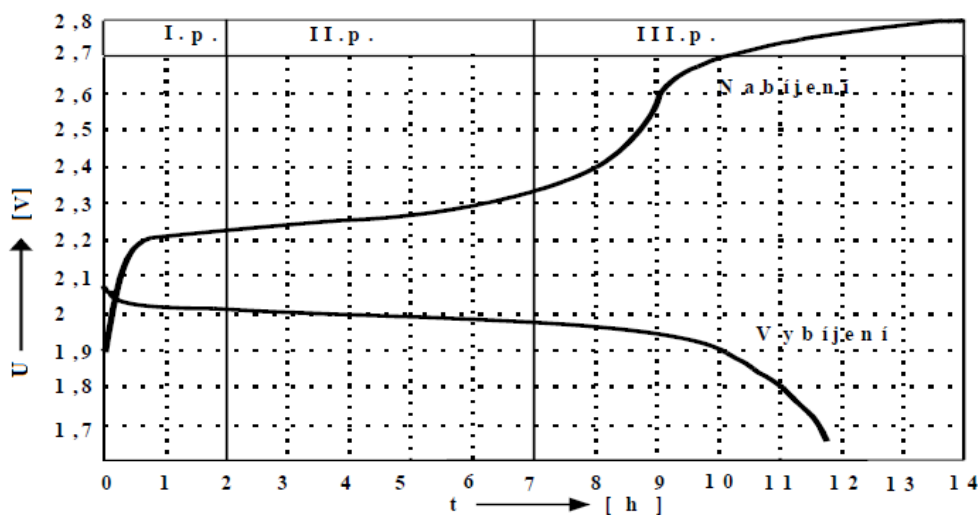
Nabíjením se obnovuje elektrický náboj akumulátoru, dodává se do akumulátoru energie, kterou lze při následném vybíjení využívat. Podle podmínek nabíjení lze zaznamenat několik druhů tohoto procesu.

Nabíjení vybitého akumulátoru může být tak zvaně normální (s dobou nabití 7 až 15 hodin), zrychlené (prováděné 3 až 5 hodin) a rychlé (trvajících nejdéle 1 hodinu).

Trvalé dobíjení je časově neomezené dobíjení doplňující pouze úbytek energie samovybíjením a udržující akumulátor v plně nabitém stavu.

Dále se rozlišuje nabíjení prvotní (při počátečním uvádění akumulátoru do činnosti), regenerační a též oživovací (u hluboce nebo úplně vybitého akumulátoru) [11].

Průběh nabíjení a vybíjení článku vystihují typické charakteristiky, zobrazené na obrázku 6.



Obr. 6 Vybíjecí a nabíjecí charakteristika olověného článku [1]

Z obrázku je patrné, že při nabíjení probíhá charakteristika napětí třemi pásmy. V prvním pásmu, po připojení nabíjecího proudu, roste napětí v souvislosti s tvorbou kyseliny v pórech olověných desek. Je to oblast od 1,75 do 2,2 V, kde se hustota elektrolytu zvětšuje z hodnoty $0,95 \text{ g.cm}^{-3}$ na $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$.

Druhé pásmo přeměny síranu olovnatého je vymezeno napětím 2,2 až 2,45 V. Hustota kyseliny vzroste na hodnotu $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$. Dosáhne-li napětí článku hodnoty 2,45 V, začne docházet také k rozkladu vody na vodík a kyslík. Uvolňování těchto plynů je průvodním jevem, pro který se používá termín plynování.

Ve třetím pásmu, po rozložení veškerého síranu, může podle vnitřního elektrického odporu článku, teploty a intenzity elektrického proudu napětí dosáhnout maximální hodnoty 2,7 až 2,8 V. Další přiváděná energie se spotřebovává pouze na rozklad vody, napětí se již nezvyšuje a akumulátor intenzivně plynuje.

Při vybíjení, kdy se spotřebovává kyselina sírová a tvoří se voda, se elektrolyt silně zředí. Charakteristika vybíjení prochází také třemi pásmy vymezenými hodnotami napětí nabitého článku 2,06 až 2,15 V a konečným vybíjecím napětím 1,75 až 1,8 V [1], [4].

2.5.1.1 Nabíjecí charakteristiky

Průběh nabíjení je znázorňován typickými charakteristikami. V průběhu nabíjení akumulátorů se jako důležité faktory uplatňují napětí článku, velikost proudu a teplota článků.

Napětí článku během nabíjení postupně narůstá a do jeho hodnoty 2,4 V se v článku uvolňuje jen minimální množství plynů. Po překročení tohoto napětí (tzv. hrany plynovacího napětí) dochází k intenzivnímu plynování, tlak plynů v nádobě rychle narůstá a zvyšuje se teplota článku. Vývin plynů lze omezit snížením nabíjecího proudu.

Velikost proudu při nabíjení do dosažení napětí 2,4 V by mohla být teoreticky libovolná, za předpokladu, že teplota článku nestoupne nad hodnotu povolenou výrobcem (většinou to je 40 °C). V praxi tento proud omezuje maximální proud povolený výrobcem a maximální proud použité nabíječky [11].

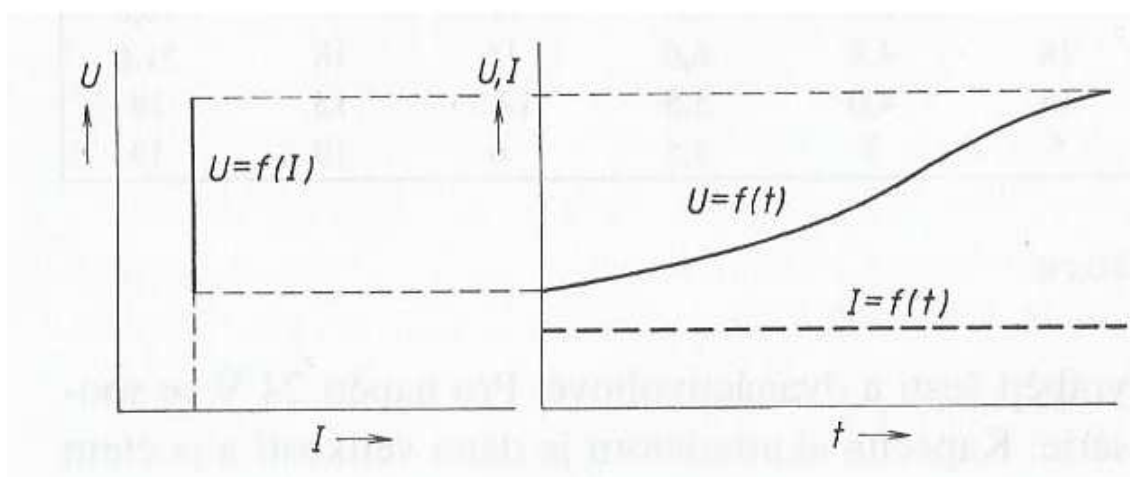
Pro nabíjení akumulátorů je podstatný tvar nabíjecího proudu, dále plynulost procesu nabíjení a rychlost obnovy kapacity akumulátoru. Od toho se odvíjí jednoduché nabíjecí charakteristiky, označované jako:

I – nabíjení konstantním proudem

U – nabíjení při konstantním napětí

W – nabíjení klesajícím proudem.

Charakteristika I nemá omezen vzestup napětí nabíjeného akumulátoru a závisí na typu akumulátoru a intenzitě nabíjecího proudu. Tato charakteristika je vidět na obrázku 7.



Obr. 7 Nabíjecí charakteristika I [18]

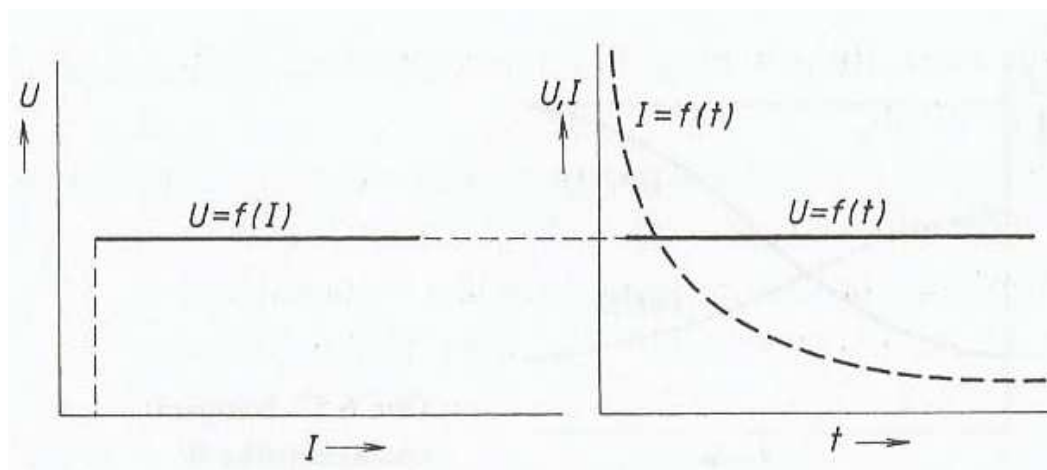
Výrobci akumulátorů u této charakteristiky udávají normální nabíjecí proud. Například 0,1 C₂₀ [A], kde C₂₀ je číselná hodnota jmenovité ampérhodinové kapacity, znamená, že

akumulátor se jmenovitou kapacitou 100 Ah se bude nabíjet proudem $0,1 \cdot 100 = 10$ A. Protože oloveným akumulátorům je třeba dodat 120% z vybité kapacity, bude nabíjení trvat 12 h.

Výhodou této charakteristiky je lineární závislost získané kapacity na době nabíjení. V kterékoliv době nabíjení tak lze snadno určit, jaká kapacita byla akumulátoru dodána. K nabíječce, která pracuje podle charakteristiky I s dostatečným napětím, mohou být sériově připojovány na nabíjení akumulátory stejné ampérhodinové kapacity, jejichž napětí nemusí být stejné. Při sériovém spojení akumulátorů se jejich kapacita nemění a napětí se sčítá.

Nabíječky s konstantním výstupním proudem se používají při nabíjení malých akumulátorů a startovacích akumulátorů [1], [4], [6].

Při nabíjení podle charakteristiky U, znázorněné na obrázku 8, je po připojení vybitého akumulátoru ke zdroji patrný velký počáteční nabíjecí proud. Doporučuje se jeho omezení na 0,6 až 1,2 C_{20} [A]. S pokračujícím nabíjením proud rychle a následně pozvolna klesá. Při úplném nabití akumulátoru se proud ustálí na nejnižší hodnotě (menší než 0,002 C_{20} [A]).



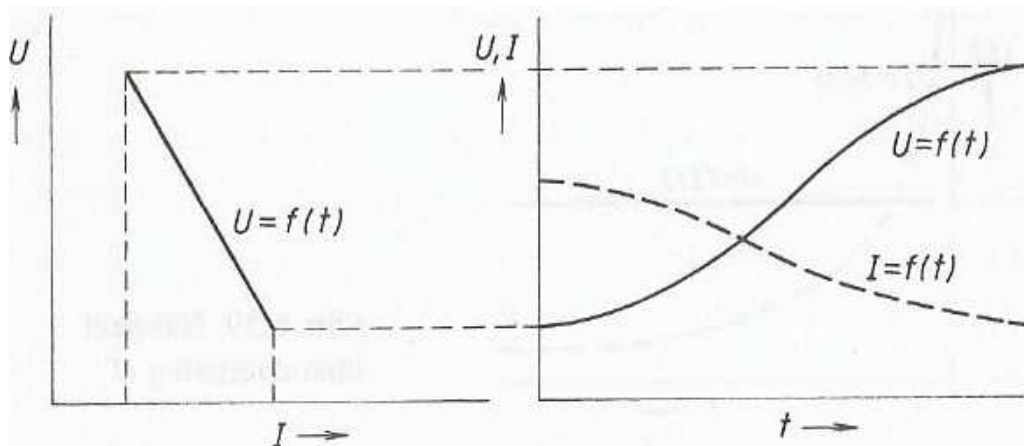
Obr. 8 Nabíjecí charakteristika U [18]

Výhodou charakteristiky U je rychlá obnova počáteční kapacity akumulátoru a nízký nabíjecí proud ke konci nabíjení, který nepoškozuje akumulátory. Nevýhodou je zdlouhavé nabíjení posledních 10 až 20 % kapacity. Doba potřebná k nabití je 10 až 15 h v závislosti na počátečním proudu a druhu akumulátoru. Nevýhodná je též nutnost volit nabíječky takového výkonu, aby odolaly bez poškození počátečním vysokým proudům nabíjených akumulátorů.

K nabíječkám pracujícím v charakteristice U, pokud mají dostatečnou proudovou rezervu, lze paralelně připojit akumulátory na nabíjení až do plného zatížení. Jejich kapacita nemusí být stejná, musí ale mít stejné jmenovité napětí. Při paralelním zapojení akumulátorů se

napětí nemění a jejich kapacita se sčítá. Nabíjení s konstantním napětím se využívá především u startovacích akumulátorů [1], [4], [6].

Pro nabíjecí charakteristiku W je příznačné, že se zvětšujícím se svorkovým napětím na akumulátoru během nabíjení úměrně klesá nabíjecí proud. Toto je patrné z obrázku 9. Poměr mezi počátečním a konečným nabíjecím proudem se nazývá strmost nabíječky.



Obr. 9 Nabíjecí charakteristika W [18]

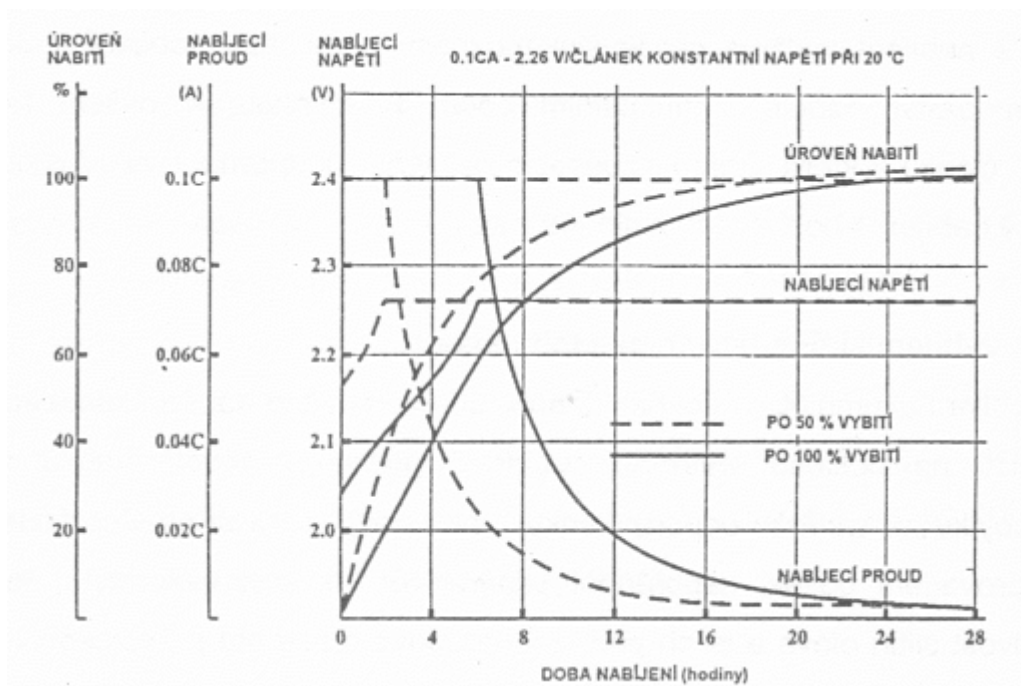
Pro olověné akumulátory je vyhovující počáteční nabíjecí proud $0,2 C_{20}$ [A] a konečný nabíjecí proud $0,05 C_{20}$ [A]. Takto pracující nabíječka má strmost $0,2 : 0,05 = 4 : 1$. Nabíjecí charakteristiky s klesajícím proudem s výhodou využívají jednoduché levné nabíječky, které jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Různé druhy akumulátorů mají pro optimální nabíjení různý sklon charakteristiky, proto je obtížné konstruovat tyto nabíječky jako univerzální.

Nevýhodou takovýchto nabíječek je také závislost nabíjecího proudu na kolísání napětí elektrické sítě a tím značné výkyvy v době nabíjení akumulátoru. Nabíjení může trvat 10 až 13 hodin [1], [4], [6].

Aby se odstranily nedostatky jednotlivých nabíjecích technik, používají se v praxi často kombinované nabíjecí postupy. Typická, nejčastěji používaná, je kombinace IU.

Nabíjecí charakteristiky IU olověného článku zachycuje obrázek 10, kde plné čáry příslušejí charakteristikám vybitého článku a čárkované čáry charakteristikám článku zpola vybitého. Nabíjení se realizuje ve dvou fázích. V první fázi se provádí nabíjení konstantním proudem hodnoty $0,1$ až $0,2 C_{20}$ [A], při kterém napětí roste až k hodnotě $2,4$ V a článek získá 60 až 80 % jmenovité kapacity.

V další fázi nabíjení proud postupně klesá, a tak je i pomalejší ukládání energie do akumulátoru.



Obr. 10 Nabíjecí charakteristiky IU olověného článku [11]

Charakteristiky naznačují, že plné nabití článku trvá velmi dlouho. Proto, není-li vyžadováno plné nabití, je možno nabíjení ukončit např. za 12 hodin, a tak dosáhnout 85 až 90 % kapacity. Dále je možno využít některou další charakteristiku pro zvýšení napětí až nad hranu plynovacího napětí a dosáhnout plného nabití akumulátoru [11].

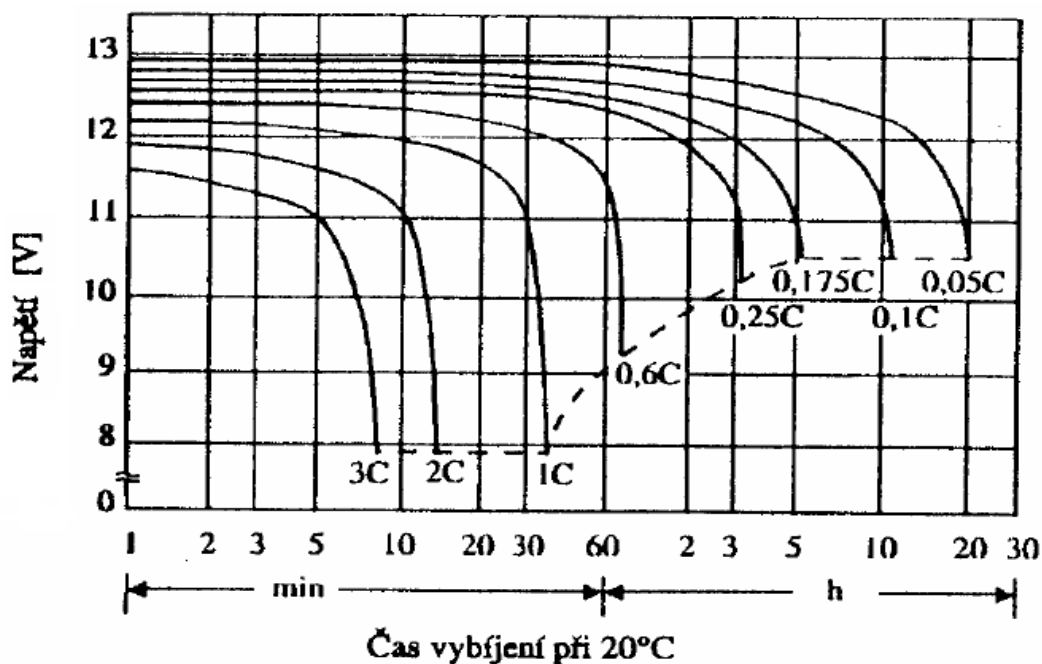
2.5.1.2 Vybíjecí charakteristiky

Akumulátory různých typů mají různé předepsané způsoby vybíjení. Jejich kapacita závisí na odebíraném proudu, teplotě při vybíjení, konečném napětí a jejich aktuálním stavu.

Je-li akumulátor zatížen jiným než jmenovitým zatěžovacím proudem, mění se nepřímě úměrně se zatěžovacím proudem i kapacita akumulátoru.

Vybíjecí charakteristiky znázorňující časový průběh napětí pro různé zatěžovací proudy ukazuje obrázek 11. Odtud je patrné, že při vybíjení proudem rovným kapacitě bude akumulátor plně vybit přibližně po třiceti minutách a jeho napětí bude 1,5 V/článek. Pokud by se akumulátor vybíjel takto vysokým proudem dále, nedojde k vyčerpání veškeré kapacity. Může se tedy bez problémů dobít a toto zatěžování významně nesníží jeho životnost. Zatímco při zatěžování proudem rovným jedné setině kapacity bude akumulátor plně vybit za sto hodin vybíjení a jeho konečné napětí bude přibližně 1,75 V/článek. Takovéto vybíjení až do nulového napětí by trvalo ještě více než 100 hodin, což

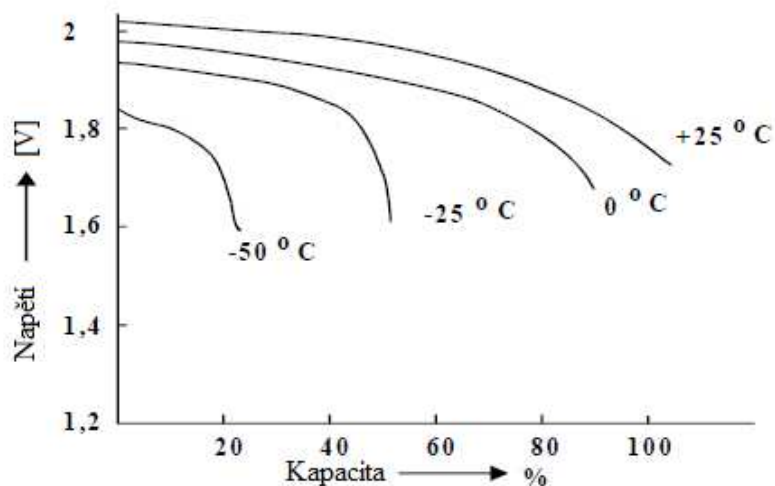
by mohlo způsobit poškození akumulátoru nevratnými změnami na materiálu elektrod. Pro větší vybíjecí proudy jsou proto přípustná nižší konečná napětí a naopak [17].



Obr. 11 Vybíjecí charakteristiky pro různé zatěžovací proudy [17]

Napětí akumulátoru není na začátku vybíjení příliš stálé. Za výchozí hodnotu napětí se proto považuje napětí po odebrání přibližně 10% kapacity. [1], [17]

Vliv teploty na kapacitu akumulátoru při vybíjení je též velmi významný. Vybíjecí charakteristiky olověného akumulátoru při různých teplotách ukazuje obrázek 12.



Obr. 12 Vybíjecí charakteristiky olověného akumulátoru při různých teplotách [17]

Například při vybíjení akumulátoru proudem rovným $0,1 C_{20}$ při teplotách nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pokles teploty o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ sníží kapacitu o 0,6 až 0,7 % a při teplotách pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ještě více [17].

2.5.2 Sulfatace

Sulfatace je velmi nežádoucí proces, který probíhá na elektrodách (především záporných) v případě, že akumulátor je trvale nedostatečně nabíjen nebo se skladuje ve vybitém stavu. Sulfataci může také způsobovat vybíjení akumulátoru pod konečné vybíjecí napětí stanovené výrobcem. Při tomto ději se postupně mění jemně zrnitý síran olovnatý a vytváří nepropustnou tvrdou vrstvu hrubozrnného síranu olovnatého.

Poškozená struktura elektrod pak vede při nabíjení k většímu vývinu vodíku na záporné elektrodě oproti potřebné redukci síranu olovnatého a akumulátor se tak nabíjí velmi obtížně. Sulfataci elektrod lze účinně bránit, pokud se akumulátor pravidelně dobíjí [1], [4].

2.5.3 Samovybíjení

Podstatou samovybíjení je možnost vzniku reakce mezi elektrodami olověného akumulátoru a elektrolytem a uvolňování vodíku na záporné elektrodě a kyslíku na kladné elektrodě. Dále může chemicky reagovat oxid olovičitý s olověnou mřížkou.

Samovybíjení nového nabitého akumulátoru během skladování představuje 2 až 3 % ztráty kapacity za měsíc, což je prakticky zanedbatelné, roste však, pokud se zvyšuje teplota a koncentrace kyseliny sírové. Stoupá též s cyklováním akumulátoru. Může být výrazně ovlivněno i rozpouštěním antimonu při korozi mřížky kladné elektrody. Antimon se pak vylučuje na aktivní hmotě záporné elektrody, což vede ke snadnějšímu vývinu vodíku a tím podporuje korozi olova. U akumulátorů, které mají mřížky obsahující velké množství antimonu, může samovybíjením dojít až ke ztrátě 30% kapacity za měsíc. Samovybíjení může být též podporováno přítomností různých látek v elektrolytu, například stopami solí železa [1].

2.5.4 Zkraty

Zkraty jsou dalším možným nežádoucím jevem, který může nastat při práci akumulátoru. Při jeho činnosti se mohou mezi elektrodami vytvořit olověné můstky způsobující zkraty, vyvolané například deformací elektrod nebo nakupením vysoké vrstvy kalu [1]. Projevem vnitřního zkratu je zvýšená teplota článku, pokles hustoty elektrolytu a ztráta napětí. Pro odstranění zkratu je zpravidla nutné článek demontovat, neboť zkrat poškozuje elektrody nevratnou sulfatací [4].

2.6 Označování akumulátorů předepsanými údaji

Podle normy ČSN EN 50342-1 musí být na akumulátoru uvedeny následující údaje:

- a) identifikace výrobce nebo dodavatele
- b) jmenovité napětí (tj. 12 V nebo 6 V)
- c) jmenovitá kapacita v ampérhodinách nebo jmenovitá rezervní kapacita v minutách
- d) jmenovitý startovací proud
- e) ventilem řízené akumulátory musí být označeny “VRLA”
- f) značení pro oddělený odběr odpadu a recyklace
- g) šest barevných značek, jak jsou uvedeny na obrázku 13 [7].



Obr. 13 Bezpečnostní štítkování akumulátorů barevnými značkami [7]

Vyobrazené barevné značky musí mít shodné rozměry o minimální velikosti 10 x 10 mm a mají význam popsáný v tabulce 3. Musí být umístěny ve skupině na vrchní části akumulátoru a nesmí být doprovázeny žádným textem v jakémkoliv jazyce.

Tabulka 3 Význam barevných značek na akumulátorech [7]

ČERVENÁ	Zákaz kouření, otevřeného ohně a jisker
MODRÁ	Chraňte oči
ČERVENÁ	Udržujte mimo dosah dětí
ŽLUTÁ	Pozor kyselina
MODRÁ	Věnujte pozornost návodu a obsluze
ŽLUTÁ	Výbušný plyn

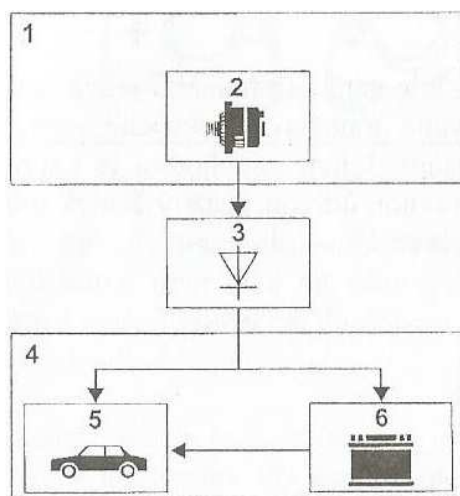
Význam značek musí být uveden v průvodní dokumentaci dodávané k akumulátoru a uvádí se v příručce k vozidlu ve vhodném jazyce. Tato dokumentace obsahuje mimo jiné vždy informace o záručních podmínkách a návod k použití a bezpečné manipulaci [7].

3. Provoz a údržba akumulátorů

Provoz akumulátoru je závislý na funkci celé elektrické soustavy motorového vozidla, kde dochází k jeho střídavému vybíjení a nabíjení. Od způsobu provozování akumulátoru se odvíjí i nutný rozsah jeho údržby, kam především patří kontrola stavu akumulátoru a nutnost jeho nabíjení, případně dobíjení.

3.1 Provoz akumulátoru ve vozidle

Akumulátor je zdrojem stejnosměrného proudu, a proto jsou i všechny elektrospotřebiče v motorovém vozidle uzpůsobeny pro využívání stejnosměrného proudu, kromě žárovek, které fungují na střídavý i stejnosměrný proud. Při chodu motoru zajišťuje dodávku proudu pro spotřebiče a zároveň dobíjení akumulátoru alternátor, poháněný klínovým řemenem od klikového hřídele. Alternátor vyrábí střídavý proud, který musí být v usměrňovači převeden na proud stejnosměrný. Princip výroby elektrického proudu u motorových vozidel ukazuje obrázek 14 [19].



Obr. 14 Princip výroby elektrického proudu u motorových vozidel [19]

1 – trojfázový střídavý proud, 2 – alternátor, 3 – usměrňovač, 4 – stejnosměrný proud, 5 – elektrické přístroje, 6 – akumulátor

Na provozních podmínkách závisí doba života akumulátoru. Akumulátor za provozu ve vozidle nepracuje v úplných cyklech a způsob jeho zatěžování se mění podle provozu vozidla. Pokud není akumulátor poškozen nesprávným zacházením, má vydržet minimálně 3 roky. Je-li akumulátor dlouhodobě nedostatečně nabíjen nebo zůstává delší dobu nenabíten mimo provoz, dochází k sulfataci desek. Pokročilou sulfataci již nelze odstranit. Pokud je akumulátor ponechán vybitý v zimě (zcela vybitý má hustotu elektrolytu menší než

1,14 g.cm⁻³), může dojít ke zmrznutí elektrolytu a tím porušení desek, někdy i roztržení akumulátorové nádoby. Akumulátor se tak nevratně poškodí.

Soustava elektrických zdrojů i spotřebičů a vlastnosti vozidla mají vzájemně vyhovovat většině provozních podmínek tak, aby byl akumulátor udržován v dostatečně nabitém stavu bez dobíjení mimo vozidlo [18].

3.2 Údržba akumulátoru

Při nepříznivých podmínkách provozu, například pokud je vozidlo využíváno na krátké jízdy, při dlouhých obdobích stání a při častém startování, je problematické zachovat akumulátor v plně nabitém stavu. Akumulátor proto musí být dobíjen v rámci údržby mimo vozidlo [18].

U klasických akumulátorů je nutné kontrolovat hustotu elektrolytu, jejíž nízká hodnota je známkou nedostatečného nabití. Plně nabitý akumulátor má při 25 °C hustotu elektrolytu 1,285 g.cm⁻³. Při zjištěných nižších hodnotách hustoty je nutné akumulátor dobít. U zcela vybitého akumulátoru je při 25 °C hustota elektrolytu 1,12 g.cm⁻³ [23].

Pro udržení dobrého stavu akumulátoru je nutné též věnovat pozornost hladině elektrolytu, kterou je vhodné kontrolovat na jaře a před zimou. Do článků akumulátoru se doplňuje destilovaná voda. Nemá-li akumulátor značku pro maximální výšku hladiny elektrolytu, doporučuje se dolít na úroveň 5 až 10 mm nad separátory [18].

U hermeticky uzavřených akumulátorů, kde nelze kontrolovat hustotu elektrolytu, se měří jejich napětí. U plně funkčního nezatíženého akumulátoru by měla být hodnota napětí 12,6 V. Je-li napětí naprázdno menší než 12,2 V, je nutno akumulátor dobít [23].

K běžné údržbě akumulátoru patří čištění jeho povrchu a pólových vývodů. Povrch akumulátoru je nutno udržovat čistý a suchý, aby nedocházelo k vybíjení svodem po povrchu článků mezi vývody a ke kostře. Kovové části se ošetřují slabou vrstvou tuku [18].

Vlivem samovybití ztrácí akumulátor denně přibližně 1% své kapacity. Zcela nabitý akumulátor by tak byl po ponechání v klidu přibližně za tři měsíce vybitý. Proto, pokud není akumulátor delší dobu používán, má být uložen v suchém chladném prostředí a pravidelně dobíjen po třech měsících [18], [24].

3.3 Měření prováděná na akumulátorech v souvislosti s údržbou

V souvislosti s údržbou akumulátoru je nezbytné věnovat pozornost zjištění jeho elektrického stavu, tj. stupně nabití.

Stupeň nabití akumulátoru je množství elektrického náboje odpovídající danému stavu akumulátoru a vyjadřuje, kolika procentům jmenovité kapacity akumulátoru daná hodnota odpovídá. Je to okamžitá schopnost akumulátoru poskytovat elektrický výkon.

Stupeň nabití olověného akumulátoru se stanovuje měřením hustoty elektrolytu nebo měřením napětí akumulátoru.

3.3.1 Měření hustoty elektrolytu

Metoda je použitelná pro akumulátory se zaplavenými elektrodami, kde je možný odběr elektrolytu. Využívá skutečnosti, že během vybíjení dochází k reakci iontů kyseliny sírové s aktivními hmotami elektrod a hustota elektrolytu tak klesá téměř lineárně s klesajícím stupněm nabití akumulátoru.

Měření hustoty se nejčastěji provádí pomocí speciálního akumulátorového hustoměru s násoskou, který má rozsah měření 1,100 až 1,300 g.cm⁻³. Po nasátí elektrolytu z akumulátoru pomocí balónku do hustoměru se hodnota hustoty odečte na stupnici [12], [15].

Na základě známých hodnot hustoty elektrolytu, odpovídajících různému stupni nabití akumulátoru, uvedených v tabulce 4, se z naměřené hustoty interpolací určí množství elektrického náboje v akumulátoru. Měření se provede pro každý článek a výsledný stupeň nabití akumulátoru je průměrná hodnota těchto měření [12], [15].

Tabulka 4 Závislost mezi stupněm nabití akumulátoru a hustotou elektrolytu [12]

Stupeň nabití [%]	Hustota elektrolytu při 25 °C [g.cm ⁻³]
100	1,28
70	1,24
50	1,22
20	1,15
0	1,12

Při měření hustoty elektrolytu je nutné zohlednit jeho teplotu. Se zvyšující se teplotou elektrolyt zvětšuje svůj objem a jeho hustota klesá přibližně o 0,01 g.cm⁻³ za každých 15 °C. S poklesem teploty naopak hustota elektrolytu vzrůstá. [4].

Korekci hodnoty hustoty změřené při teplotě odlišné od 25 °C lze vypočítat podle vztahu (3) nebo (4).

Pro hustotu elektrolytu měřenou při teplotě $t > 25$ °C

$$\rho_{25} = \rho_t + \left(\frac{0,01}{15}\right) \times (t - 25) \quad (3)$$

a pro hustotu elektrolytu měřenou při teplotě $t < 25$ °C

$$\rho_{25} = \rho_t - \left(\frac{0,01}{15}\right) \times (25 - t) \quad (4)$$

kde: ρ_t je hustota elektrolytu změřená při teplotě t a ρ_{25} je hledaná hustota při 25 °C.

Hustotu elektrolytu je též možno měřit pomocí refraktometru. Je to optická metoda založená na měření indexu lomu měřené kapaliny. Pro měření se odebírá velmi malé množství (1 až 2 kapky) elektrolytu, umístí se na optický hranol a přiklopí krycím sklíčkem. Pohledem proti světlu se na stupnici z rozhraní mezi světlou a tmavou částí obrazu přímo odečítá hodnota hustoty elektrolytu [23].

3.3.2 Měření napětí akumulátorů

Měření napětí naprázdno má největší význam u bezúdržbových akumulátorů se zaplavenými elektrodami a akumulátorů řízených ventilem, kde není možný odběr elektrolytu. Lze však využívat u všech typů olověných akumulátorů.

Toto měření se provádí voltmetrem se zatěžovacím odporem [15]. Měření se častěji provádí paralelně připojeným multimetrem. Takto zapojený multimetr má velký odpor, aby jím neprotékal velký proud a aby nedocházelo k úbytku napětí mezi měřenými místy. Ze změřených hodnot napětí naprázdno lze vyhodnotit stupeň nabití akumulátoru podle tabulky 5.

Tabulka 5 Přibližné napětí startovacích akumulátorů v závislosti na stupni nabití [15]

Stupeň nabití [%]	100	90	80	70	60	50	40	30	20
Napětí článku [V]	2,14	2,12	2,10	2,08	2,06	2,03	2,00	1,98	1,97
Napětí akumulátoru [V]	12,84	12,72	12,60	12,48	12,36	12,18	12,00	11,88	11,82

3.3.3 Požadavky na měřicí přístroje

Pro zaručení přesnosti a reprodukovatelnosti výsledků měření je třeba používat měřicí přístroje, které splňují požadavky stanovené normou ČSN EN 50342-1. Tato norma požaduje:

- pro měření napětí digitální voltmetry s přesností $\pm 0,04$ V nebo lepší
- pro měření proudu digitální ampérmetry s přesností 1% nebo lepší
- teploměry s vhodným rozsahem a hodnotou každého dílku stupnice nepřesahující 1 K, přičemž přesnost kalibrace přístroje nesmí být horší než 0,5 K
- hustoměry, které mají dělenou stupnici, hodnota hustoty na dílek nesmí přesáhnout $0,005 \text{ g.cm}^{-3}$, přičemž přesnost kalibrace musí být $0,005 \text{ g.cm}^{-3}$ nebo lepší
- měřidla času s údaji v hodinách, minutách a sekundách s přesností nejméně ± 1 % [7].

3.4 Přehled možností nabíjení a dobíjení akumulátoru

Nabíjení akumulátoru je proces, v jehož průběhu je akumulátoru dodávána z vnějšího obvodu elektrická energie, která vyvolá v jeho člancích chemické změny a tím akumulaci energie ve formě chemické energie [10].

Plně nabití akumulátoru je stav nabití, ve kterém je všechen dostupný aktivní materiál ve stavu, kdy nabíjení za vybraných podmínek nezpůsobuje výrazný nárůst kapacity [10].

Z hlediska praxe lze nabíjení chápat jako postup, kterým je dodávána energie akumulátoru vybitému nebo novému, při jeho uvádění do provozu tak, aby byl plně nabit.

Dobíjení je doplňování energie akumulátoru po jeho částečném vybití.

Dobře seřízená nabíjecí soustava vozidla udržuje akumulátor blízko plně nabitého stavu. Používání vozidla v městském provozu s častým rozjížděním a velké množství energeticky náročných zařízení ve vozidle vyžadují údržbu akumulátoru nabíjením. Péče o akumulátor dodatečným nabíjením zvyšuje jeho životnost. Dodatečné nabíjení je též nezbytné provádět v případě poruchy dobíjení, kdy akumulátor není zcela dobíjen alternátorem [18], [25].

3.4.1 Možnosti nabíjení akumulátorů

V současnosti se pro nabíjení akumulátorů používají metody využívající jednoduché voltampérové charakteristiky a mnohem častěji i charakteristiky kombinované. Kromě symbolů pro jednoduché charakteristiky (I, W, U) se označují i malými písmeny následujícího významu:

- o – automatické přepnutí na jinou nabíjecí charakteristiku
- a – automatické vypnutí nabíjení [4], [20].

Metoda s charakteristikou W, příp. Wa je nejstarší, často používaná u amatérských nabíječek. Během nabíjení proud se stoupajícím napětím klesá, a to až na ustálenou hodnotu konečného nabíjecího proudu. Průběh této charakteristiky ukazuje obrázek 9. Nabíječky pracující podle této charakteristiky mají za jednoduchým usměrňovačem zařazený přepínatelný odpor, který umožňuje nastavit intenzitu nabíjení. Doba nabíjení je 8,5 až 10 hodin. Rychlost nabíjení značně ovlivňuje kolísání síťového napětí. Akumulátor může poškodit i nadměrné plynování. Proto je nutné nabíjecí zdroj včas vypnout [4], [20], [50].

Metoda s charakteristikou WoWa patří mezi nejrozšířenější. Metoda spočívá v tom, že při dosažení plynovacího napětí se zdroj automaticky přepne na druhou část charakteristiky a tím klesne nabíjecí proud. Když napětí akumulátoru dosáhne hodnoty 2,6 V na článek, tj. 15,6 V, nabíjení se automaticky vypne. Doba nabíjení je 5 až 6 hodin. Toto nabíjení vyžaduje zajištění stálého síťového napětí (s odchylkami maximálně $\pm 3\%$) [20], [50].

Metoda s charakteristikou I, příp. Ia, znázorněná na obrázku 7, spočívá v nabíjení akumulátoru konstantním proudem o volitelné velikosti po předem stanovenou dobu, po které se zařízení vypne. Tento způsob nabíjení lze také využívat, pokud je nabíjení z vnějších důvodů přerušováno. Doba nabíjení je přibližně 8 hodin. Metodu lze používat i pro nabíjení malými proudy při regeneraci sulfatovaných akumulátorů. Při charakteristice Ia se zdroj automaticky vypne po překročení plynovacího napětí. Nehrozí zde poškození akumulátoru přebíjením, nenabije se ale na 100 % a nabíjení trvá kratší dobu než v předchozím případě [20],[50].

Metoda s charakteristikou IUa je moderní a poměrně rychlou nabíjecí metodou. Vybitý akumulátor se nabije za 1,5 hodiny na 90 % a zcela nabitý je za 4 až 5 hodin. Nabíjení probíhá ve třech fázích. Nejprve se udržuje konstantní nabíjecí proud velikosti dvouhodinového vybíjecího proudu, až stoupne napětí akumulátoru na 14,4 V (tj. 2,4 V na článek). V druhé fázi se nabíjí tímto konstantním napětím, dokud proud neklesne na hodnotu dvacetipětihodinového vybíjecího proudu, který je ve třetí fázi nabíjení akumulátoru konstantní. S pokračujícím nabíjením stoupá napětí až k dosažení hodnoty 15,9 V (tj. 2,65 V na článek) a pak se vypne. Zdroj pro tuto metodu je vybaven výkonnými tyristory a má polovodičovou automatiku. Plynovací napětí se hlídá s přesností $\pm 1\%$. Metoda je nezávislá na obsluze a nezkracuje životnost akumulátoru [20], [50].

Metoda s charakteristikou IU je přechodem k rychlonabíjecím metodám a používá se velmi často. Akumulátor se nabíjí konstantním proudem a od počátku plynování konstantním napětím. Vybitý akumulátor se na 98 % kapacity nabije za 2,5 hodiny. Zbývajících 2 % náboje, pokud je požadováno 100% nabití, by se doplnila nabíjením trvajícím až 16 hodin. Metoda má

výhodu, že akumulátor může být připojen na zdroj i několik dní bez jeho poškození a lze ji použít také k regenerování sulfatovaných akumulátorů [18], [20].

Metoda pulzního rychlonabíjení má podstatu ve střídání nabíjecích impulzů s klidem nebo s impulzy vybíjecími. Umožňuje to zvýšit nabíjecí proudy a tím zkrátit dobu nabíjení. Výrobci akumulátorů však tento způsob nabíjení většinou nedoporučují [4], [18]. Akumulátory by měly být vždy nabíjeny jen schválenými nabíjecími zdroji a podle pokynů výrobce nabíječky i výrobce akumulátoru.

3.4.2 Možnosti dobíjení akumulátorů

Automobily jsou v současnosti vybaveny alternátory, které mají elektronický regulátor dobíjení. Při běhu motoru je na kontaktech akumulátoru napětí 13,8 až 14,4 V a regulátor napětí nedovolí, aby napětí přesáhlo 14,4 V. Tak je zabráněno přebíjení akumulátoru a s tím souvisejícímu úbytku elektrolytu [45].

Dobíjení akumulátorů, nazývané též pohotovostní provoz, se používá u akumulátorů ponechaných v nečinnosti déle než jeden měsíc. Zajišťuje pohotovost akumulátoru k okamžitému provozu s kapacitou minimálně 70 %. Dobíjení chrání olověné akumulátory proti vzniku nevratné sulfatace.

Rozlišuje se dobíjení trvalé (nepřerušované) a dobíjení.

Trvalé dobíjení může být: konzervační, vyrovnávací nebo dobíjení na konstantní napětí.

Konzervační dobíjení je vhodné pro všechny typy olověných akumulátorů. Po nabití se akumulátor odpojí od zátěže nabíječky a připojí se na malý dobíječ, kterým se dobíjí na napětí 2,18 až 2,23 V na článek (tj. 13,08 až 13,38 V).

Vyrovňovací dobíjení probíhá za trvalého spojení akumulátoru s usměrňovačem a spotřebičem. Protože usměrňovač je dimenzován na průměrný odběr proudu a pracuje v charakteristice W, při zvýšeném odběru proudu spotřebičem se akumulátor částečně vybíjí a v době minimálního odběru proudu se opět dobije. Napětí akumulátoru tak kolísá od 2,0 do 2,3 V na článek (tj. od 12,0 do 13,8 V).

Dobíjení na konstantní napětí zajišťuje usměrňovač s přesností 1 %. Napětí pro trvalé dobíjení akumulátorů se nastavuje od 2,20 do 2,25 V na článek (tj. 13,2 až 13,5 V).

Intervalové dobíjení se provádí v denních až týdenních intervalech do dosažení napětí 2,35 až 2,40 V na článek (tj. 14,1 až 14,4 V). Možné je i dobíjení po ztrátě přibližně 30 % kapacity, což odpovídá poklesu hustoty elektrolytu na $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$ a době jednoho měsíce [4].

4 Technický život akumulátorů

U technických zařízení se velmi často používá termín životnost, což je schopnost vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do dosažení mezního stavu [48]. Normou ČSN EN 13306 je též definována užitečná doba života daného objektu (zařízení) jako časový interval od daného časového okamžiku do okamžiku, kdy se dosáhne mezního stavu [48]. Mezní stav je ovlivněn řadou faktorů, jako například fyzický stav, intenzita poruch, požadavky na zajištění údržby, hospodárnost a stáří zařízení.

Technický život akumulátoru lze tedy popsat jako časový interval, po který akumulátor plní svoji funkci.

Životnost akumulátorů je z velké části ovlivněna faktory, které souvisejí s jejich konstrukcí a materiály použitými pro výrobu. Jsou to především:

- korozní odolnost olova a jeho slitin tvořících nosné a elektricky vodivé části konstrukce elektrod
- tloušťka elektrod (elektrody menší tloušťky se opotřebovávají rychleji)
- soudržnost aktivních hmot na elektrodách (přidávají se zlepšující přísady pro zvětšení mechanické pevnosti a pro zvýšení vodivosti nebo pórovitosti)
- druh použitých separátorů (zlepšení vlastností akumulátorů umožnilo použití mikroporézních separátorů z plastů a separátory ze speciálních papírů)
- hustota použitého elektrolytu (vyšší než předepsaná hustota elektrolytu urychluje průběh všech nežádoucích chemických reakcí v akumulátoru) [4], [18].

Důležitými negativními faktory, které mají vliv na dobu života akumulátorů a které je třeba maximálně eliminovat, jsou:

- nadměrné nabíjecí a vybíjecí proudy
- hluboké vybíjení a přebíjení akumulátorů
- vysoké provozní teploty
- použití znečištěného elektrolytu
- nízká hladina elektrolytu
- silné otřesy, nárazy a vibrace [4].

Akumulátory různých výrobců mají často rozdílnou kvalitu, což se odráží na jejich životnosti. Větší nároky na akumulátory kladou také současné moderní automobily vybavené mnohem větším počtem elektrických a elektronických zařízení. Běžná životnost akumulátorů v našich podmínkách v závislosti na jejich typu a konstrukci je 4 až 6 let [17], [31].

5 Zařízení pro ošetřování akumulátorů

Dobře seřízená nabíjecí soustava vozidla udržuje startovací akumulátor blízko plně nabitého stavu. Používání vozidla v městském provozu na krátké jízdy s častým rozjížděním a velké množství energeticky náročných zařízení ve vozidle vyžadují údržbu akumulátoru nabíjením.

Zařízení používaná pro nabíjení olověných akumulátorů mimo vozidlo jsou nabíječky. Nejdůležitější součástí nabíječky je síťový transformátor, který odděluje síťové napětí od nabíjecího okruhu a síťové napětí transformuje na napětí potřebné k nabíjení. Nabíječka dále obsahuje polovodičový usměrňovač v jednocestném nebo dvoucestném zapojení. Transformátor a usměrňovač jsou dimenzovány pouze na proud určité velikosti, proto se do série k akumulátoru zařazuje ještě rezistor, který omezuje proud při počátku nabíjení. K plnému nabití klasického olověného akumulátoru je třeba napětí 2,75 V na článek, to je 16,5 V u dvanáctivoltového akumulátoru. Pro nabíjení bezúdržbových dvanácti voltových akumulátorů smí být napětí 2,4 V na článek což je 14,4 V [18], [25].

Jelikož akumulátor je tedy v praxi častěji poškozován nedokonalým nabíjením než vybíjením, je třeba klást velký důraz též na kvalitu nabíječky. Největší vliv na špatné nabití akumulátoru mají: kolísavé napětí v síti, špatná kabeláž a nedbalá kontrola při procesu nabíjení [26].

Mezi zařízení pro ošetřování akumulátorů se řadí také v současné době hodně využívané moderní testery, které umožňují provádět diagnostiku akumulátorů a zjišťovat stav jejich nabití [51].

5.1 Nabíječky

Nabíječky mění střídavý elektrický proud z rozvodné sítě na proud stejnosměrný o napětí a výkonu, které jsou potřeba pro nabíjení a dobíjení akumulátorů. Tato zařízení mohou být též používána pro spouštění motoru automobilů v zimních měsících nebo při nedostatečné startovací schopnosti akumulátorů, a to pokud snesou usměrňovače nabíječky krátkodobé přetížení a mají dostatečný výkon [4].

Základním rozlišujícím hlediskem nabíječek je způsob nabíjení daný nabíjecí charakteristikou přístroje. Může to být nabíjení konstantním proudem (charakteristika I), konstantním napětím (charakteristika U) nebo klesajícím proudem (charakteristika W). Velmi

často pracují nabíječky podle složitějších charakteristik, které jsou kombinací uvedených způsobů [18], [23], [26].

5.2 Přehled nabíječek

Nabíječky pro nabíjení akumulátorů a spouštění motorů dopravních prostředků lze prakticky členit do tří skupin:

- malé nabíječky motocyklových a startovacích akumulátorů
- středně výkonné nabíječky startovacích akumulátorů
- výkonné usměrňovače pro nabíjení akumulátorů a pomoc při spouštění motorových vozidel

Malé nabíječky motocyklových a startovacích akumulátorů mají jednoduchou konstrukci, aby byly snadno přenosné a levné. Jsou využívány většinou soukromými uživateli k nabíjení akumulátorů o jmenovitém napětí 6 V a 12 V. Jejich nabíjecí proudy jsou nejvýše 10 A.

Středně výkonné nabíječky startovacích akumulátorů jsou přenosné a vhodné především pro dílenské účely. Mohou pracovat v rozsahu napětí 6 - 12 - 18 - 24 V. Jejich proudy mohou dosahovat několika desítek ampér.

Výkonné usměrňovače pro nabíjení akumulátorů a pomoc při spouštění motorových vozidel jsou nejčastěji univerzální stejnosměrné zdroje, které mohou sloužit ke spouštění motorových vozidel s 12 V nebo 24 V spouštěčem a umožňují též nabíjení většího počtu akumulátorů současně [4].

Nabídka nabíječek pro olovené akumulátory je velice rozsáhlá na českém i světovém trhu. Z tohoto důvodu jsou v přehledu uvedeny pouze některé. Používají se nabíječky manuálně ovládané nebo automatické, elektronicky řízené [23].

5.2.1 Nabíječky manuálně ovládané

Tento druh nabíječek tvoří podstatně menší část trhu. U manuálně ovládaných nabíječek se nabíjecí proud a napětí nastavují ručně na základě předem provedených měření akumulátoru. Je zde nutné sledovat čas nabíjení, aby nedošlo ke škodlivému přebíjení akumulátoru [23].

Příkladem této kategorie je nabíječka ELECTROMEM Start 320, vhodná pro typy akumulátorů GEL (gelový)/WET (klasický) /AGM (Absorbed glass material), kterou ukazuje obrázek 15. Nabíječka je určena především pro samotné majitele motorových vozidel.

Výrobce nabíječky je společnost ELECTRO MEM s.r.l. (Itálie). Nabíječka má technické parametry uvedené v tabulce 6 a plní tyto funkce:

- nabíjení podle charakteristiky W
- startér 300/160A
- tepelná ochrana proti přebití
- dvojitá ochrana proti přepólování
- ochrana proti zkratu
- nastavitelný nabíjecí proud (0-6A)
- tepelná ochrana proti přetížení
- je vybavena ampérmetrem na měření proudu



Obr. 15 Nabíječka ELECTROMEM Start 320 [49]

Tabulka 6 Parametry nabíječky ELECTROMEM Start 320 [27]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hmotnost	kg	10
Jmenovité napětí akumulátoru	V	12
Kapacita nabíjeného akumulátoru	Ah	30-350
Nabíjecí proud	A	45-30-6
Rozměry (d x š x v)	mm	150 x 265x 335
Startovací proud	A	300-160
Síťové napětí	V	230
Výstupní napětí	V	12/24

Manuálně ovládané nabíječky jsou spotřebiteli stále méně žádané vzhledem k cenové dostupnosti i technickým možnostem, které nabízejí nabíječky automatické.

5.2.2 Nabíječky automatické

Automatické nabíječky jsou řízeny elektronicky, za pomoci vloženého programu regulují nabíjecí proud a napětí a jsou schopny přepínat mezi různými nabíjecími charakteristikami [18], [23].

Automatické nabíječky jsou konstruovány jako univerzální, vhodné pro všechny typy akumulátorů se jmenovitým napětím 12 V a 24 V, to je údržbové i bezúdržbové, akumulátory s tekutým elektrolytem (WET), akumulátory s gelovým elektrolytem (GEL) a s elektrolytem absorbovaným ve sklovláknitém materiálu (AGM). Samozřejmou součástí jejich vybavení je elektronická ochrana proti přetížení, přepólování a zkratu i bezpečnostní vypnutí.

Tato kategorie nabíječek je určena pro servisní i dílenské využití a pro obchody s akumulátory. Přístroje menších rozměrů jsou vhodné a často využívané při domácí údržbě automobilů a jejich akumulátorů.

S ohledem na vysoký počet nabízených typů nabíječek jsou v přehledu uvedeny nabíječky na českém trhu nejvíce zastoupené [28], [29]. Vybrané typy nabíječek jsou uspořádány podle jejich velikosti:

- nabíječky velkých rozměrů
- nabíječky středních rozměrů
- nabíječky malé

Mezi nabíječky velkých rozměrů, zachycené na obrázku 16, patří:

- DECA SC 3300B , výrobce Deca Spa (San Marino)
- BOSCH BAT 490, výrobce Robert Bosch GmbH (Německo)

Technická data nabíječek velkých rozměrů uvádí tabulka 7.



Obr. 16 Ukázka nabíječek velkých rozměrů [30], [40]

1 - DECA SC 3300B, 2 - BOSCH BAT 490

Tabulka 7 Technická data pro nabíječky velkých rozměrů [28], [29],[30], [32]

Parametr	Jednotka	DECA SC 3300B	BOSCH BAT 490
Jmenovité napětí akumulátoru	V	6, 12, 24	12, 24
Nabíjecí charakteristika	-	IUoU, IUIoU, IU	IUI, IUoU
Síťové napětí	V; Hz	230; 50 - 60	230; 50 - 60
Hmotnost	kg	20,0	10,5
Rozměry (d x š x v)	mm	450 x 222 x 285	300 x 200 x 390
Nabíjecí proud	A	max. 60	max. 90
Kapacita nabíjeného akumulátoru	Ah; V	5 - 800	14 -230; 12 14- 120; 24

Nabíječky středních rozměrů jsou zachyceny na obrázku 17.

- ACCTIVA Professional Flash, výrobce Fronius (Rakousko)
- EPRONA NB 10, výrobce EPRONA, a.s. (Česká republika)

Technická data nabíječek středních rozměrů uvádí tabulka 8.



Obr. 17 Ukázka nabíječek středních rozměrů [34],[42]

1 - ACCTIVA Professional Flash, 2 - EPRONA NB 10

Tabulka 8 Technická data pro nabíječky středních rozměrů [28], [29], [33], [34]

Parametr	Jednotka	ACCTIVA Professional Flash	EPRONA NB 10
Jmenovité napětí akumulátoru	V	12	12, 24
Nabíjecí charakteristika	-	IUoU	WU
Síťové napětí	V; Hz	230; 50	230, 50
Hmotnost	kg	5,0	2,7
Rozměry (d x š x v)	mm	315 x 110 x 200	180 x 89 x 166
Nabíjecí proud	A	2 – 70	10, 8
Kapacita nabíjeného akumulátoru	Ah	10 – 250	24 – 75

Nabíječky malé jsou zachyceny na obrázku 18.

- BOSCH C7, výrobce Robert Bosch GmbH (Německo)
- CTEK MULTI XS 7000, výrobce CTEK SWEDEN AB (Švédsko)
- ACCTIVA Easy 1206, výrobce Fronius (Rakousko)

Technická data malých nabíječek uvádí tabulka 9.



Obr. 18 Ukázka malých nabíječek [42],[43],[44]

1 - BOSCH C7, 2 - CTEK MULTI XS 7000, 3 - ACCTIVA Easy 1206

Tabulka 9 Technická data pro nabíječky malé [28], [29], [35], [36], [37]

Parametr	Jednotka	BOSCH C7	CTEK MULTI XS 7000	ACCTIVA Easy 1206
Jmenovité napětí akumulátoru	V	12, 24	12	12
Nabíjecí charakteristika	-	IUoU	IUoU	IUoU
Síťové napětí	V; Hz	220 – 240; 50/60	230; 50	230; 50
Hmotnost	kg	1,05	0,8	0,25
Rozměry (d x š x v)	mm	200 x 80 x 50	191 x 89 x 48	119 x 72 x 52
Nabíjecí proud	A	7	max. 7	6
Kapacita nabíjeného akumulátoru	V; Ah	12; 14 – 230 24; 14 – 120	14 – 225	3 -200

Příklady nabíječek uvedené v přehledu ukazují, že tato zařízení jsou konstruována tak, aby nedošlo k poškození akumulátoru a zároveň, aby splňovala požadavky na jednoduchou a bezpečnou obsluhu. Komfortnější služby poskytují ty nabíječky, které mohou sloužit i jako testovací zařízení akumulátorů.

5.3 Testery akumulátorů

Testery akumulátorů jsou většinou digitální přístroje, které umožňují rychlé orientační měření svorkového napětí akumulátoru a bývají vybaveny ochranou proti přepólování. Mohou pracovat jako zátěžové i bezzátěžové. Tyto přístroje jsou schopny analyzovat průběh nabíjení i vybíjení akumulátoru, zjišťovat okamžitý (reálný) startovací proud a stav nabití akumulátoru [51].

Příklady testerů jsou zachyceny na obrázku 19.

- ACT IBT 6V/12V GOLD-PLUS, výrobce: Act Metres Ltd (Velká Británie)
- B 200, Výrobce: Exide (USA)
- BT 111 DHC, výrobce GYS France (Francie)
- TBP 500, výrobce: GYS France (Francie)



Obr. 19 Ukázka vybraných testerů [52], [53],[54],[56]

1 - Gold – Plus, 2 - B 200, 3 - BT 111 DHC, 4 - TBP 500

Technické parametry testerů shrnuje tabulka 10.

Tabulka 10 Technická data pro vybrané testery [52],[53],[54],[55],[56]

Parametr	Jednotka	Gold - Plus	B 200	BT 111 DHC	TBP 500
Elektrolyt akumulátoru	-	tekutý	tekutý	tekutý i gelový	tekutý
Kapacita testovaných akumulátorů	Ah	1,2 – 100	30 – 200	20 – 120	10 – 160 Ah
Jmenovité napětí akumulátorů	V	6, 12	6, 12	12	6, 12
Rozměry (d x š x v)	mm	210 x 110 x 41	288 x 260 x 117	120 x 70 x 15	270 x 260 x 130

6 Ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života

V průběhu technického života akumulátorů podléhají jejich konstrukční materiály i vlastnosti změnám. Mění se tak i schopnost akumulátoru být dobíjen. Ani dokonalá péče o akumulátor nemůže zaručit trvalou schopnost doplňovat kapacitu dobíjením na 100%. Proto je důležité rozšiřovat poznatky o průběhu těchto změn.

Možnost dobíjení akumulátorů lze posuzovat pomocí nabíjecích a vybíjecích charakteristik.

6.1 Měření akumulátorů při nabíjení a vybíjení

Měření akumulátorů při nabíjení lze provádět pomocí testovacího přístroje spojeného s nabíječkou akumulátoru. Měření akumulátoru v průběhu vybíjení do zátěže provádí samotný testovací přístroj.

Výstupem měření v obou případech je grafický záznam průběhu proudu a závislosti napětí na čase, který se též ukládá v paměti testeru nebo je vytištěn pomocí připojeného počítače.

6.2 Použité přístroje

Pro experimentální část práce byla navržena metodika využívající tester akumulátorů řízený mikroprocesorem v součinnosti s automatickou nabíječkou.

6.2.1 Tester akumulátorů AlfaBat Pro

Pro testování akumulátorů byl zvolen přístroj AlfaBat Pro (výrobce: EMROL BVBA, Belgie), který je vidět na obrázku 20. Je to zátěžový tester řízený mikroprocesorem, určený k testování olověných akumulátorů. Přístroj pracuje s vybíjením akumulátoru do zátěže a měří data potřebná pro stanovení kapacity v závislosti na čase.

Přístroj umožňuje testovat olověné akumulátory (zaplavené, AGM nebo gelové) a nabíječky. Výsledky testu lze sledovat přímo na přístroji nebo na monitoru počítače nebo je do počítače dodatečně stáhnout [14].

Nastavení testů se provádí pomocí volitelného programu, změny nastavení se provádějí v režimu off-line a následně se nahrají do přístroje [14].

LCD display přístroje je schopen o možných závadách akumulátoru nebo nabíječky zobrazit tyto informace:

- akumulátor není dostatečně nabit před spuštěním testu
- kapacita akumulátoru je nedostatečná
- akumulátor má vadný článek nebo jinou vnitřní závadu (výrobní vada)
- nabíječka nedostatečně nabíjí nebo přebíjí akumulátor [14].



Obr. 20 Tester akumulátorů a nabíječek AlfaBat Pro [46]

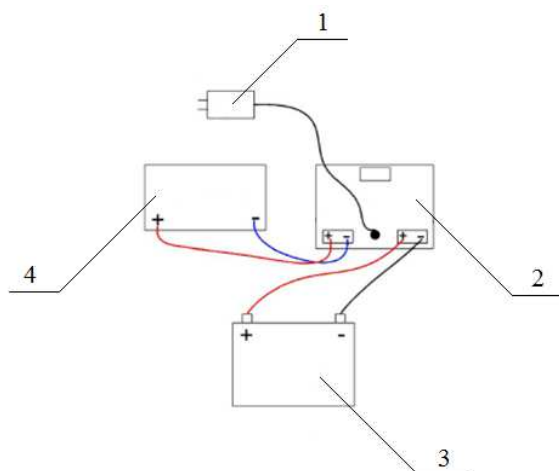
Přístroj lze používat jako zcela mobilní, kdy pro provoz využívá energii z testovaného akumulátoru. Častější a výrobcem doporučená je možnost napájet přístroj za použití externího napájecího adaptéru prostřednictvím 9V DC (direct current) vstupu na přístroji. Adaptér se využívá též při nastavení programů přístroje a stahování dat do počítače [14]. Technické specifikace přístroje AlfaBat Pro shrnuje tabulka 11.

Tabulka 11 Technické specifikace přístroje AlfaBat Pro [13]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Jmenovité napětí akumulátoru	V	6, 12, 24
Nabíjecí napětí	V	0 - 30
Nabíjecí proud	A	max. 50
Vybíjecí proud	A	max. 30
Výkon	W	max. 360
Klidový proud	A	max. 0,06
Přesnost měření	%	1
Kapacita nabíjeného akumulátoru	Ah	0,8 - 400
Okolní teplota	°C	0 - 40

Pro nastavení testování akumulátoru při nabíjení se použije schéma podle obrázku 21.

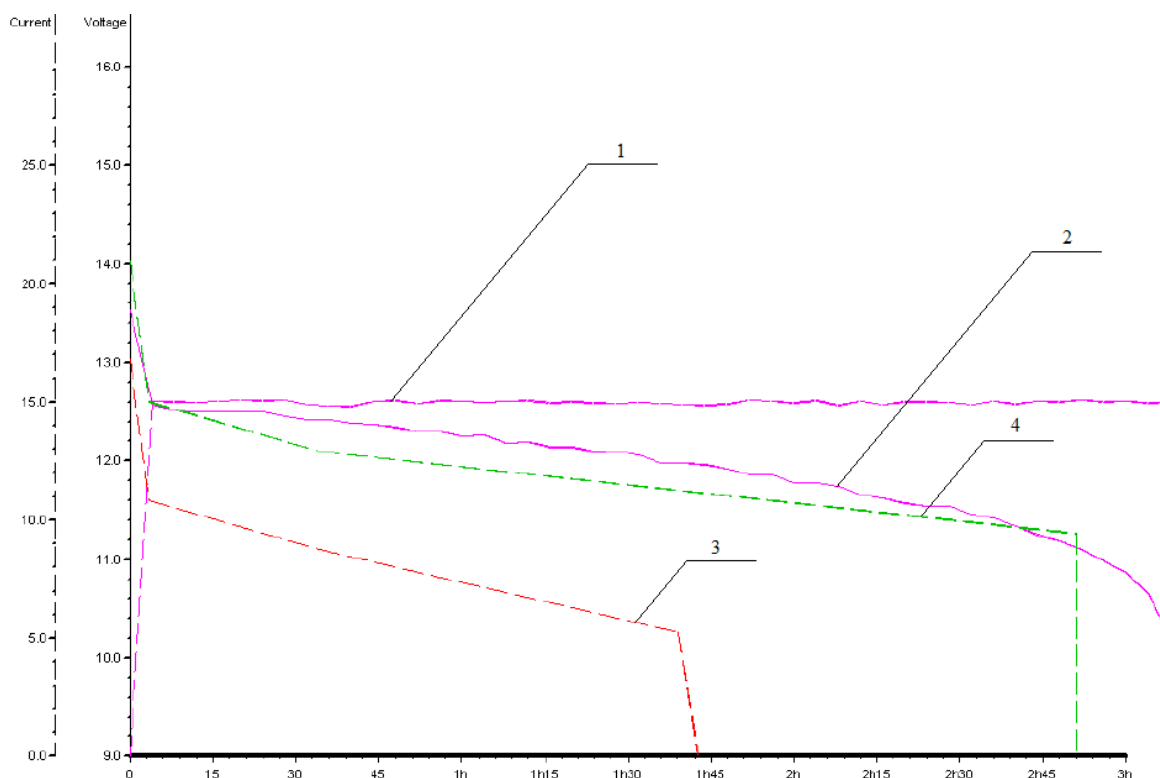
Z tohoto obrázku je patrné, že je nutno dbát na správné připojení svorek k akumulátoru, červená na kladný pól a černá na záporný. Pro testování musí být použita nabíječka odpovídající dvanáctivoltovému akumulátoru a nastavení pracuje pouze s použitím adaptéru.



Obr. 21 Schéma zapojení pro práci přístroje [13]

1 - adaptér, 2 - AlfaBat Pro, 3 - akumulátor, 4 - nabíječka nebo zátěž

Pro testování vybití akumulátoru se použije taktéž zapojení podle obrázku 21, ve kterém je nabíječka nahrazen zátěží [13].



Obr. 22 Příklad záznamu vybíjecího cyklu [16]

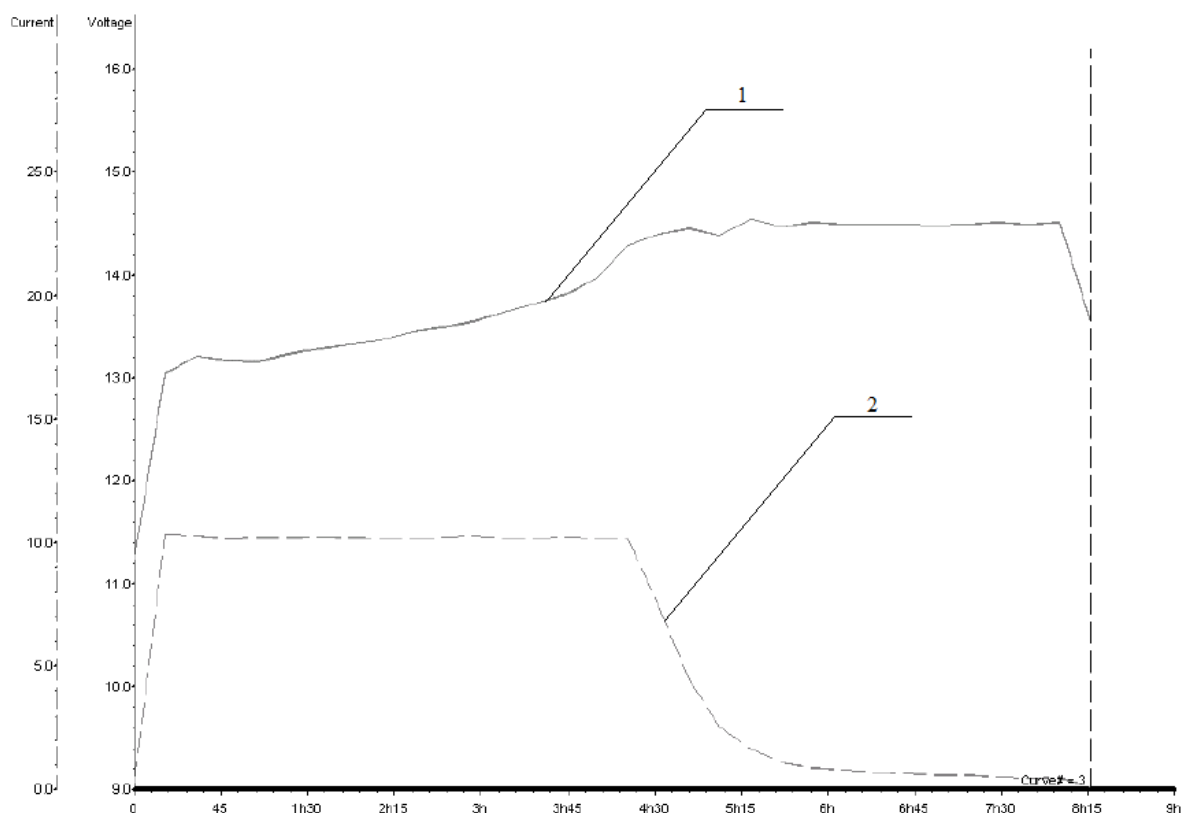
1 - charakteristika vybíjecího proudu, 2 - vybíjecí charakteristika napětí, 3 - předpokládaný pokles napětí při 60 % kapacitě měřeného akumulátoru, 4 - předpokládaný pokles napětí při 100 % kapacitě měřeného akumulátoru

Vlastní měření probíhá tak, že po nastavení na vybíjecí cyklus a zvolení velikosti vybíjecího proudu v rozsahu 3 až 30 A proběhne vybíjení akumulátoru, jehož výstupem je grafický záznam změn napětí v závislosti na čase. Současně je vyhodnocen stav kapacity měřeného akumulátoru.

Vždy po ukončení testu nabíjení nebo vybíjení se mohou vytisknout výsledky měření na tiskárně přímo připojené k přístroji AlfaBat Pro.

Příklad záznamu vybíjecího cyklu uvádí obrázek 22. Po vybití akumulátoru přístroj automaticky přepne na nabíjení, ze kterého se pořizuje záznam. Množství energie uložené do akumulátoru je vyjádřeno jako tzv. nabíjecí faktor. Do akumulátoru je třeba uložit více energie, než bylo vyčerpáno. Plně nabitý akumulátor vykazuje nabíjecí faktor 1,08 až 1,25.

Příklad záznamu na obrázku 23 zachycuje průběh proudu a napětí při nabíjení v závislosti na čase [13].



Obr. 23 Příklad záznamu nabíjecího cyklu [16]
1 - charakteristika napětí, 2 - charakteristika proudu

Z pořízených diagramů lze zjistit potřebné měřené hodnoty napětí nebo proudu v libovolném čase v rozsahu diagramu [13].

6.2.2 Automatická nabíječka Fairstone ABC 1220D

Pro nabíjení akumulátorů při experimentu byla zvolena nabíječka Fairstone ABC 1220D, znázorněná na obrázku 24. Výrobce nabíječky, společnost Fairstone (Taiwan) uvádí k výrobku parametry uvedené v tabulce 12.



Obr. 24 Nabíječka Fairstone ABC 1220D [39]

Tabulka 12 Parametry nabíječky FAIRSTONE ABC 1220D [39]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hmotnost	kg	1,2
Kapacita nabíjeného akumulátoru	Ah	30 - 400
Jmenovité napětí akumulátoru	V	12, 24
Nabíjecí proud	A	20
Rozměry (d x š x v)	mm	190 x 118 x 58
Nabíjecí charakteristika	-	IU
Síťové napětí	V	220 - 240
Výstupní napětí	V	12

Nabíječka je určena pro všechny typy olovených akumulátorů a je vybavena ochranou proti otočení polarity, proti přetížení a proti zkratu.

6.3 Metodika měření testovaných akumulátorů

Skutečný stav nabití akumulátoru lze spolehlivě určit pouze s použitím kvalitního měřicího přístroje, který simuluje proces vybíjení, tzn. skutečný odběr proudu. Pomocí přístroje AlfaBat Pro byly provedeny testy kapacity a testy nabíjení u akumulátorů v různém stadiu technického života. Pro měření bylo použito schéma uvedené na obrázku 21.

Nejprve bylo u akumulátoru vždy změřeno napětí naprázdno pomocí voltmetru. Pak byl akumulátor dobit do stavu úplného nabití s použitím nabíječky Fairstone ABC 1220D.

Nabitý akumulátor byl připojen k zátěžovému testeru AlfaBat Pro. Byla zadána hodnota jmenovité kapacity deklarované výrobcem, podle které tester vždy automaticky nastavil hodnotu vybíjecího proudu, kterou uvádí tabulka 13.

Tabulka 13 Nastavení vybíjecího proudu testeru AlfaBat Pro podle jmenovité kapacity akumulátoru [13]

Jmenovitá kapacita akumulátoru C_{20} [Ah]	Vybíjecí proud I_V [A]
10 – 49	15
50 - 400	30

Test kapacity vybíjením akumulátoru do zátěže probíhal, dokud svorkové napětí nekleslo na 10,5 V. Test trval několik minut až hodin v závislosti na stavu a kapacitě akumulátoru. Pokles napětí v závislosti na čase byl graficky zaznamenán v připojeném počítači. Příklad záznamu je zachycen na obrázku 22. Spolu s vyhodnocením kapacity akumulátoru byl záznam vytištěn. Pokud akumulátor obsahoval méně než 60 % kapacity, přístrojem AlfaBat Pro byl vyhodnocen jako nevyhovující.

Dalším krokem postupu měření bylo nabíjení akumulátoru, při kterém byla nabíječka spojena s testerem pořizujícím záznam průběhu nabíjení. Automaticky řízenou nabíječkou se akumulátor nejprve nabíjel podle charakteristiky I s nabíjecím proudem 18 A, a to až do dosažení počátku plynování. Poté došlo k přepnutí na nabíjení podle charakteristiky U při napětí 14,4 V. Toto nabíjení probíhalo do poklesu proudu na hodnotu 0,1 C_{20} a následovně automaticky přešlo na udržovací režim nabíjení konstantním proudem o hodnotě 0,1 C_{20} , který tester po 30 minutách ukončil.

Průběh napětí, proudu a doba nabíjení byly zaznamenány v připojeném počítači a záznam byl vytištěn. Příklad záznamu zachycuje obrázek 23.

Poté byl nabitý akumulátor ponechán v klidu do druhého dne (minimálně však 12 hodin). Každý akumulátor byl takto proměřen třikrát. Měření probíhalo za normální teploty [13].

Z pořízených grafických záznamů byly odečteny hodnoty měřených veličin, které byly zapsány do tabulky a následně vyhodnoceny.

6.4 Měřené akumulátory

Možnosti dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života byly ověřovány na akumulátorech se jmenovitým napětím 12 V a s různou jmenovitou kapacitou. Pro měření byly použity jednak akumulátory zapůjčené majiteli automobilů, dále akumulátory nové a též akumulátory, které byly předmětem reklamačního řízení.

Základní údaje měřených akumulátorů jsou uvedeny v tabulce 14. Akumulátory jsou v tabulce seřazeny chorologicky podle jejich měření a označeny pořadovými čísly (číslo vzorku). Průzkum dosahovaných hodnot technického života měřených akumulátorů je zahrnut v tabulce jako informace o stáří akumulátorů.

Tabulka 14 Základní údaje měřených akumulátorů

Číslo vzorku	Typ akumulátoru	U [V]	C_{20} [Ah]	I_S [A]	Stáří vzorku [roky]	Poznámka
1	VARTA Start-stop *	12	75	730	1,5	(²)
2	Starter Plus **	12	75	720	3,5	(³)
3	AKUMA Comfort *	12	74	680	4	
4	AKUMA **	12	55	480	4	
5	AKUMA **	12	44	420	0,75	
6	BANNER **	12	44	220	0,5	
7	VARTA Blue Dynamic **	12	44	440	0	(¹)
8	DELPHI **	12	45	330	11	(⁴)
9	AKUMA Comfort **	12	62	510	6	(⁵)
10	AKUMA **	12	45	330	7	(⁵)
11	VARTA Start-stop **	12	75	730	1,5	
12	AKUMA Comfort **	12	74	640	6	
13	VARTA Start-stop **	12	75	730	3	
14	Combatt Plus **	12	44	360	2,5	
15	VARTA Blue Dynamic **	12	44	440	2	
16	VARTA Black Dynamic **	12	45	400	4,5	
17	ECO POWER	12	74	680	3	
18	VARTA Black Dynamic **	12	45	400	2	
19	AKUMA **	12	44	220	4	
20	VARTA Blue Dynamic **	12	44	440	1,5	
21	AKUMA Comfort **	12	44	390	3,5	
22	AKUMA Comfort **	12	44	420	4	
23	BOSH S4 001**	12	44	440	0	(¹)
24	VARTA Blue Dynamic **	12	44	440	0	(¹)

* - údržbový akumulátor

** - bezúdržbový akumulátor

U - jmenovité napětí v ustáleném stavu

C_{20} - jmenovitá kapacita nabitého akumulátoru

I_s - vybíjecí proud při teplotě $-18\text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 10 s, aniž poklesne napětí pod 7,5 V

(¹) - nový akumulátor

(²) - vadný akumulátor

(³) - akumulátor nebyl řádně dobíjen

(⁴) - dosud používaný, správně dobíjený akumulátor s odstavkami v zimním období

(⁵) - starý, již nepoužívaný akumulátor

6.5 Výsledky experimentu

Aktuální stupeň nabití každého měřeného akumulátoru byl orientačně zjištěn podle změřených hodnot napětí naprázdno U_0 a zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15. Při stanovení stupně nabití akumulátoru se vycházelo z hodnot uvedených v tabulce 5.

Tabulka 15 Hodnoty stupně nabití akumulátorů odpovídající jejich napětí naprázdno

Číslo vzorku	U_0 [V]	Stupeň nabití [%]
1	12,20	51
2	11,94	35
3	12,52	73
4	12,48	70
5	12,80	97
6	12,74	92
7	12,83	99
8	11,76	10
9	11,85	25
10	11,58	17
11	12,67	86
12	11,78	14
13	12,36	60
14	12,37	61
15	12,67	86
16	12,10	46
17	12,43	66
18	12,60	80
19	12,46	68
20	12,50	72
21	12,42	65
22	12,53	74
23	12,78	95
24	12,82	98

U_0 – změřené napětí naprázdno

Výsledky testů kapacity, získané odečtením měřených veličin z pořízených grafických záznamů, jsou pro každý měřený akumulátor uvedeny v tabulce 16. V tabulce je uvedena hodnota vybíjecího proudu I_V a doba vybíjení stanovená pro 100 % hodnoty kapacity, která byla vždy vyhodnocena přístrojem AlfaBat Pro a plně koresponduje s hodnotou, kterou je možné odečíst pro daný vybíjecí proud z obrázku 11. Dále tabulka zahrnuje změřené doby vybíjení t_V , pro tři provedená měření a jim odpovídající hodnoty stupně nabití akumulátoru X v procentech.

Tabulka 16 Hodnoty naměřené při testu kapacity akumulátorů

Číslo vzorku	I_V		$t_{100\%}$ [min.]	1. měření		2. měření		3. měření	
	[A]			t_{V1} [min.]	X_1 [%]	t_{V2} [min.]	X_2 [%]	t_{V3} [min.]	X_3 [%]
1	30	0,40 C_{20}	97	46	47,4 *	52	52,7 *	56	56,1 *
2	30	0,40 C_{20}	97	31	31,9 *	31	32,3 *	35	35,7 *
3	30	0,41 C_{20}	97	76	78,1	81	83,8	84	86,5
4	15	0,55 C_{20}	68	46	67,6	48	70,2	49	72,0
5	15	0,34 C_{20}	120	120	100,2	127	105,9	128	107,6
6	15	0,34 C_{20}	120	124	103,5	128	107,5	128	107,4
7	15	0,34 C_{20}	120	120	100,8	108	90,4	92	77,4
8	15	0,33 C_{20}	148	26	18,3 *	26	18,6 *	27	19,4 *
9	30	0,48 C_{20}	77	22	28,6 *	23	30,3 *	25	32,3 *
10	15	0,33 C_{20}	142	16	11,3 *	17	11,8 *	17	12,3 *
11	30	0,40 C_{20}	97	90	92,5	90	92,8	91	93,6
12	30	0,41 C_{20}	120	14	11,9 *	15	12,3 *	16	13,0 *
13	30	0,40 C_{20}	97	68	69,9	71	72,8	74	76,0
14	15	0,34 C_{20}	120	83	69,3	90	75,2	88	73,4
15	15	0,34 C_{20}	120	106	88,0	112	93,3	112	93,6
16	15	0,33 C_{20}	148	79	53,6 *	86	58,2 *	88	59,7*
17	30	0,41 C_{20}	83	60	72,1	63	75,9	65	77,8
18	15	0,33 C_{20}	148	132	89,5	135	91,2	140	94,5
19	15	0,34 C_{20}	120	80	66,7	80	66,5	82	68,2
20	15	0,34 C_{20}	120	103	85,5	108	89,8	110	91,1
21	15	0,34 C_{20}	120	86	71,8	89	73,9	91	76,2
22	15	0,34 C_{20}	120	89	74,3	94	78,0	97	80,9
23	15	0,34 C_{20}	120	120	100,1	113	93,8	105	87,2
24	15	0,34 C_{20}	120	120	100,3	117	97,3	109	90,6

I_V - vybíjecí proud

$t_{100\%}$ - doba vybíjení stanovená pro 100% hodnoty kapacity

t_V . doba vybíjení

X – stupeň nabití akumulátoru

* - akumulátor vyhodnocen jako nevyhovující

Výsledky měření získané z grafických záznamů pořízených při nabíjení akumulátorů jsou pro každý měřený akumulátor uvedeny v tabulce 17. V tabulce je uvedena hodnota

nabíjecího proudu I_N a pro tři provedená měření hodnoty pro dobu nabíjení t_{IN} podle charakteristiky I, pro dobu nabíjení t_{UN} podle charakteristiky U a pro celkovou dobu nabíjení t_c .

Tabulka 17 Hodnoty naměřené při nabíjení akumulátorů

Číslo vzorku	I_N [A]	1. měření			2. měření			3. měření		
		t_{IN1} [min.]	t_{UN1} [min.]	t_{c1} [min.]	t_{IN2} [min.]	t_{UN2} [min.]	t_{c2} [min.]	t_{IN3} [min.]	t_{UN3} [min.]	t_{c3} [min.]
1	0,24 C_{20}	54	126	180	61	135	196	65	141	206
2	0,24 C_{20}	37	103	140	38	107	145	39	116	155
3	0,24 C_{20}	76	88	164	77	91	168	79	98	177
4	0,33 C_{20}	36	104	140	43	113	156	46	122	168
5	0,41 C_{20}	50	106	156	51	120	171	51	125	176
6	0,41 C_{20}	56	87	143	56	96	152	55	101	156
7	0,41 C_{20}	47	113	160	40	100	140	31	98	120
8	0,40 C_{20}	5	49	54	5	49	54	6	46	52
9	0,29 C_{20}	30	98	128	31	101	132	31	102	133
10	0,40 C_{20}	4	47	51	5	52	57	4	54	58
11	0,19 C_{20}	84	99	183	85	106	191	86	118	204
12	0,24 C_{20}	14	86	100	14	87	101	15	87	102
13	0,19 C_{20}	70	88	158	73	91	164	76	95	171
14	0,41 C_{20}	29	84	113	32	90	122	30	89	119
15	0,41 C_{20}	41	99	140	43	103	146	45	104	149
16	0,40 C_{20}	19	85	104	21	88	109	22	88	110
17	0,24 C_{20}	71	87	158	75	90	165	76	94	170
18	0,40 C_{20}	42	101	143	44	101	145	47	107	154
19	0,41 C_{20}	28	87	115	28	89	117	29	90	119
20	0,41 C_{20}	39	98	137	40	100	140	43	104	147
21	0,41 C_{20}	29	88	117	30	91	121	32	95	127
22	0,41 C_{20}	30	90	120	33	96	129	36	97	133
23	0,41 C_{20}	47	114	161	43	103	146	41	98	139
24	0,41 C_{20}	48	113	161	45	106	151	42	101	143

I_N - nabíjecí proud

t_{IN} - doba nabíjení podle charakteristiky I

t_{UN} - doba nabíjení podle charakteristiky U

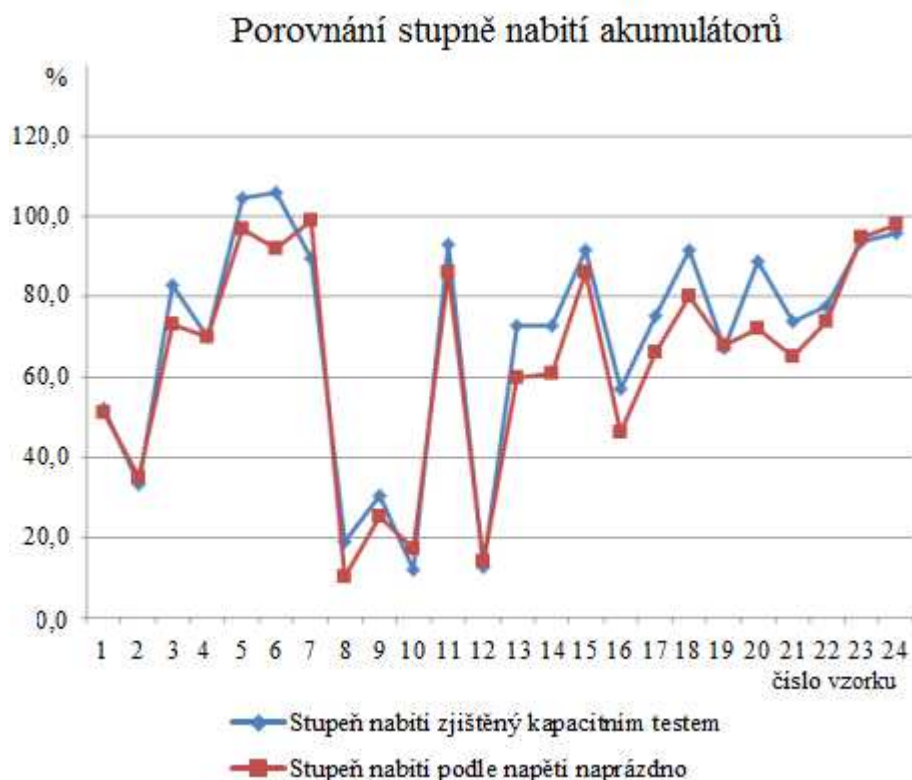
t_c - celková doba nabíjení

Výsledky měření uvedené v tabulkách 15, 16 a 17 byly následně graficky zpracovány a dále analyzovány.

7 Analýza výsledků

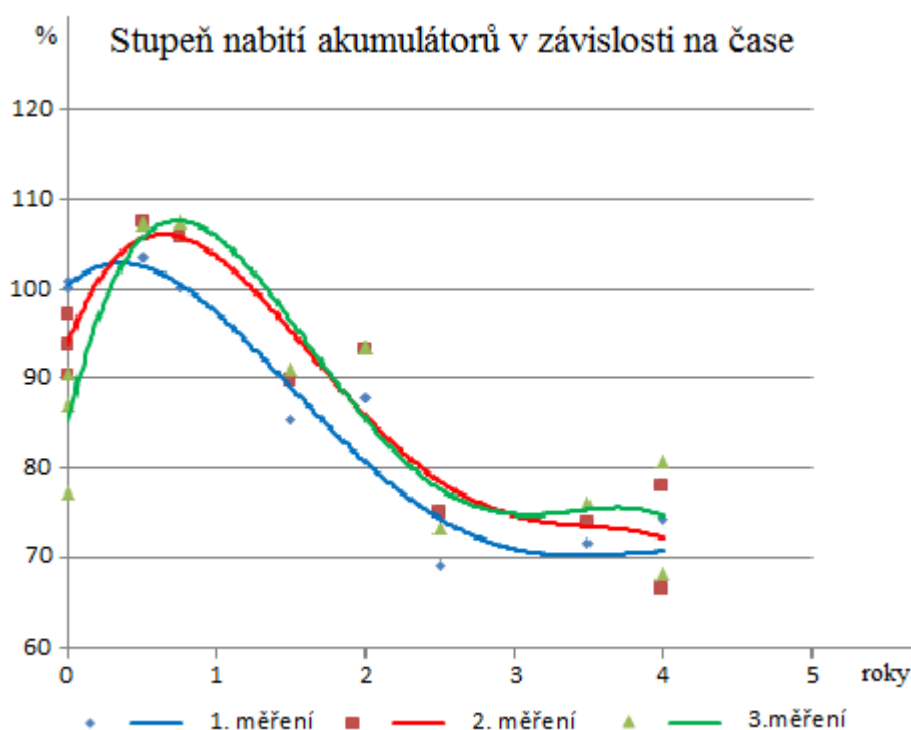
Z porovnání hodnot stupně nabití jednotlivých akumulátorů, získaných v prvním až třetím měření testu kapacity (uvedených v tabulce 16), vyplývá, že stupeň nabití akumulátoru, tedy použitelné procento jeho kapacity, ve většině případů mírně stoupal po vybití akumulátoru do zátěže a jeho následném nabití. Výjimku tvoří akumulátory zcela nové, kde stupeň nabití klesal. Může to být způsobeno změnami propustnosti separátorů.

Dále byly porovnány hodnoty stupně nabití akumulátorů, zjištěné na základě změřeného napětí naprázdno (uvedené v tabulce 15), s průměrnými hodnotami stupně nabití, získanými prvním až třetím měřením testu kapacity (uvedenými v tabulce 16). Zjištěné výsledky, zachycené na obrázku 25, ukazují, že hodnoty stupně nabití zjištěné podle napětí naprázdno se zcela neshodují s přesně změřenými hodnotami stupně nabití zjištěnými kapacitním testem. Z obrázku je patrné, že zjišťování stavu akumulátoru, to je jeho stupně nabití, podle napětí naprázdno, poskytuje hodnoty pouze informační. Pro potřeby péče o akumulátor jsou tyto údaje však dostačující.



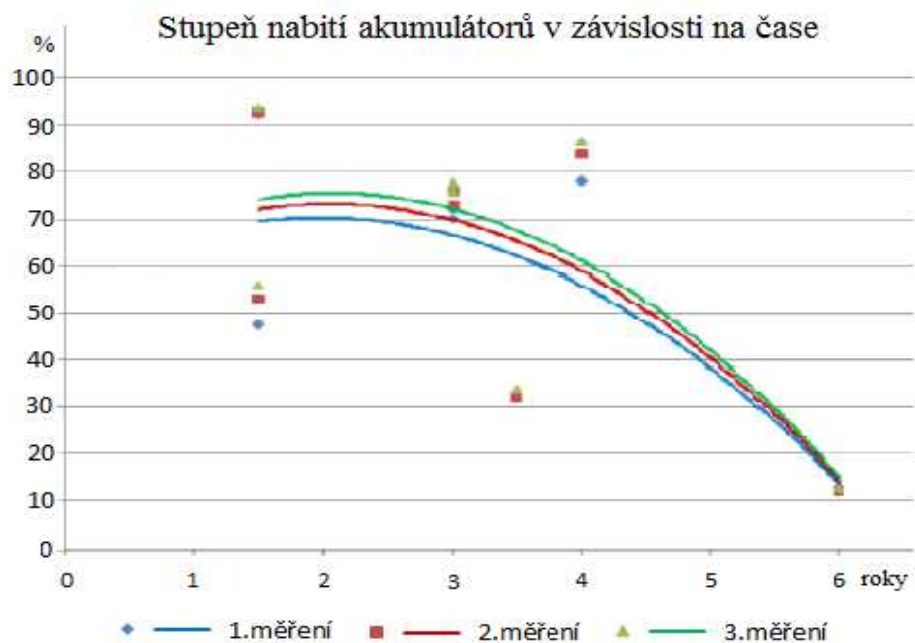
Obr. 25 Porovnání hodnot stupně nabití akumulátorů zjištěných podle napětí naprázdno a hodnot zjištěných kapacitním testem

Pro výběr akumulátorů se jmenovitou kapacitou 44 Ah byly do grafu na obrázku 26 vyneseny kapacitním testem zjištěné hodnoty stavu nabití akumulátorů podle jejich stáří. Tyto hodnoty byly pořízeny ve třech po sobě následujících měřeních. Obrázek ukazuje, že stupeň nabití se mění se stářím akumulátorů. Přibližně během prvního roku provozu akumulátoru se jeho stupeň nabití zvyšuje. Je to ovlivněno zlepšováním zformování činné hmoty elektrod opakovaným nabíjením a vybíjením článků akumulátoru. Po dosažení maxima stupeň nabití akumulátorů postupně klesá, což je způsobeno změnami ve struktuře činné hmoty. Dochází k postupné sulfataci desek, tj. přechodu síranu olovnatého na krystalickou strukturu s malou pórovitostí. Kvalita elektrod se dále zhoršuje odpadáváním činné hmoty a jejím usazováním na dně nádoby akumulátoru.



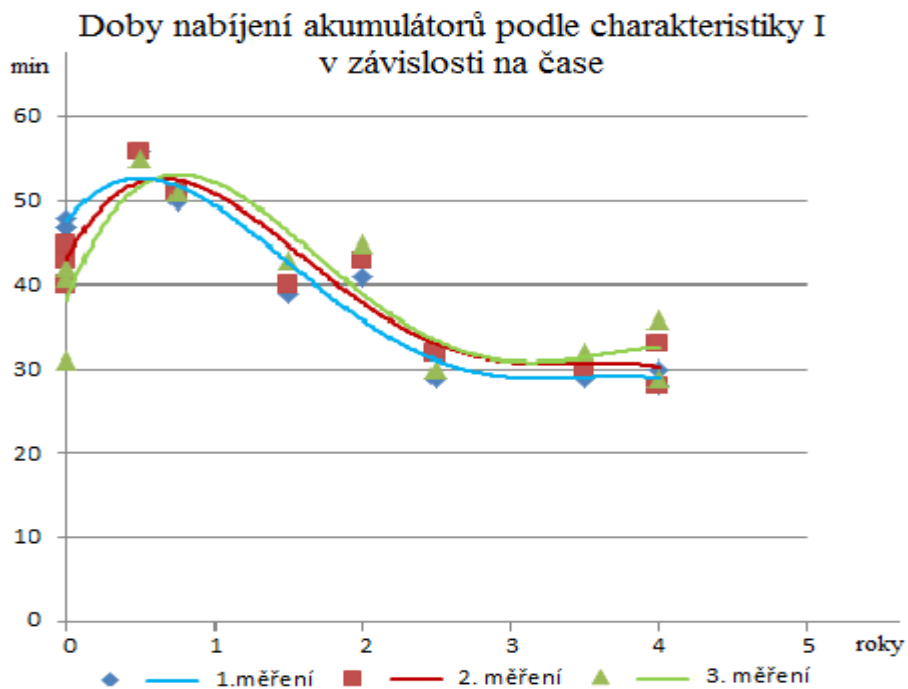
Obr. 26 Změny stupně nabití akumulátorů o jmenovité kapacitě 44 Ah v závislosti na čase

Do grafu na obrázku 27 byly vyneseny kapacitním testem zjištěné hodnoty stavu nabití pro výběr akumulátorů se jmenovitou kapacitou 74 Ah a 75 Ah. Obrázek obdobně ukazuje, že přibližně od stáří jednoho roku stupeň nabití akumulátorů s vyšším počtem roků klesá. Změny stupně nabití v prvním roce provozu akumulátorů nejsou v grafu zachyceny, protože nebyly k dispozici vzorky nových akumulátorů s uvedenou jmenovitou kapacitou.



Obr. 27 Změny stupně nabití akumulátorů o jmenovité kapacitě 74 Ah a 75 Ah v závislosti na čase

Doby nabíjení podle charakteristiky I u akumulátorů se jmenovitou kapacitou 44 Ah, zjištěné během tří po sobě následujících testů nabíjení, zahrnuté v tabulce 17, byly vyneseny do grafu, který je znázorněn na obrázku 28.



Obr. 28 Doby nabíjení akumulátorů o jmenovité kapacitě 44 Ah podle charakteristiky I v závislosti na čase

Podobnost obrázků 28 a 26 ukazuje, že možnost dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života koresponduje se změnami stupně nabití akumulátorů v čase.

Zjištěné výsledky měření akumulátorů při jejich nabíjení a vybíjení ukazují, že možnost dostatečného dobíjení a zároveň dobu používání akumulátoru je možné správnou péčí prodloužit.

8 Doporučení a závěry

Základní podmínky efektivního využívání akumulátorů po celou dobu jejich fungování spočívají v dodržování pokynů výrobce vozidla o zatěžování akumulátoru a dodržování pokynů výrobce akumulátoru o jeho údržbě. Akumulátor nesmí být v žádném případě ponecháván nenabitý. V případě delší odstávky bez dobíjení se i kvalitní akumulátor nenávratně poškodí. Nevratné poškození hrozí nenabitému akumulátoru zvláště v zimním období. Chceme-li, aby akumulátor vydržel co nejdéle, je tedy třeba jej udržovat v nabitém stavu. Toho lze dosáhnout, buď častým používáním vozidla na delší vzdálenosti, nebo dobíjením akumulátoru pomocí externí nabíječky.

Cílem této práce bylo ověření možností dobíjení akumulátorů v různém stadiu technického života. Navržená metodika, založená na použití zátěžového, mikroprocesorem řízeného, testeru AlfaBat Pro, využívá hodnot měření zjištěných ze záznamu průběhu proudu a napětí během vybíjecího a nabíjecího cyklu.

Z porovnání hodnot stupně nabití akumulátorů, získaných měřeními při vybíjení akumulátorů a měřeními napětí naprázdno, vyplynulo, že měřeními napětí naprázdno lze získat hodnoty pouze informační, pro potřeby péče o akumulátor však dosatačující.

Výsledky prováděných testů ukazují na mírné zlepšení stupně nabití akumulátoru po několikerém opakování procesu vybíjení a nabíjení i u starších akumulátorů. Opakování tohoto procesu a jeho dodržování akumulátoru prospívá. Včasné a dostatečné dobíjení i starších akumulátorů, případně několikeré následné opakování tohoto dobíjení, může tedy přinášet efekt ve zvýšení aktuálního stupně nabití akumulátoru a viditelně prodloužit dobu, po kterou je akumulátor schopen sloužit.

Závěrem je možné konstatovat, že vymezený čas pro tuto práci je podstatně kratší, než doba, po kterou je akumulátor běžně provozován. Zajímavé výsledky by proto jistě přineslo prověřování možností dobíjení zvoleného počtu konkrétních vzorků akumulátorů, realizované od jejich uvedení do provozu, za shodných podmínek, po celou dobu jejich života.

9 Použité prameny

- [1] HAMMERBAUER, J. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň, ZČU, 1996. 181s
- [2] ARENDÁŠ, M. a RUČKA, M. *Nabíječe a nabíjení*. 2. přepracované vydání Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987. 213 s.
- [3] KHOL, J. *Akumulátory motorových vozidel*. 2., přepracované. vydání Praha: Nakladatelství technické literatury, 1974. 101 s. Knižnice motoristy.
- [4] KOZUMPLÍK, J. *Akumulátory motorových vozidel*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1985. 236 s.
- [5] MALÍK, J. *Olověný akumulátor*, Vyd. 1. Praha: Naše vojsko, 1953. 510 s.
- [6] REDDY, Thomas B. *Linden's handbook of batteries*. Editor: David Linden, editor emeritus. 4th ed. McGraw-Hill. New York, 2011. ISBN 978-0-07-162421-3.
- [7] ČSN EN 50342-1 (36 4310) Olověné startovací baterie – Část 1: Všeobecné požadavky metodika zkoušek. Český normalizační institut, 2006
- [8] JIČÍNSKÝ, Š. *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*. Praha, Grada, 2006, ISBN 80-247-1417-5
- [9] KREIDL, M. a ŠMÍD, R. *Technická diagnostika – senzory, metody, analýza signálu*. BEN – technická literatura, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [10] ČSN IEC 60050 482 (33 0050) Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 482: Primární a akumulátorové články a baterie. Český normalizační institut, 2005
- [11] CETL, T.: *Aplikace elektrochemických zdrojů*. Praha, ČVUT, 2004, ISBN 80-01-02859-3
- [12] VIDNER, V. - MICHAL, J. – VÁCLAVÍK, J. *Údržba a provoz olověných startovacích akumulátorů*. Liberec, Dům techniky ČVTS, 1974. 68 s.
- [13] AlfaBat Alfabat Pro tester akumulátorových baterií a nabíječů. Návod k obsluze
- [14] Tester AlfaBat [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: < <http://www.battery-import.cz/testery-2/tester-alfabat>>
- [15] CENEK, M. – JINDRA, J. JON, M.- KAZELLE, J.- KOZUMPLÍK, J.- VRBA, J. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha, FCC PUBLIC, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0
- [16] EMROL – Battery cycling [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: < http://www.emrol.be/docs/Creation_of_professional_test-reports_battery_cycling.pdf>
- [17] HAMMERBAUER, J. *Olověné akumulátory* [online]. [cit. 2013-08-20]. Dostupné z: < <http://www.renerga.cz/content/file/AKUMUL%C3%81TORY%20TEORIE%202.PDF>>

- [18] ŠŤASTNÝ, J. – REMEK, B. *Autoelektrika a autoelektronika*. 6. vydání Praha, T. Malina nakladatelství, 2003. 315 s.
ISBN 80-86293-02-5
- [19] VLK, F. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. Brno, vlastním nákladem, 2005. 251 s.
ISBN 80-239-3718-9
- [20] HAMPL, J. – KLEINHAMPL, Z. V. *Základy elektrotechniky elektrická zařízení automobilů*. Praha, NADAS, 1978. 237 s.
- [21] KUBÍN, P. *Elektrická zařízení osobních automobilů*. 2. upravené a doplněné vydání. Praha, SNTL 1985. 248 s.
- [22] PAVLIS, S. *Elektrotechnika motorových vozidel*. 3. vydání Praha, Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, 1994. 103 s.
- [23] VLASÁK, Z. *Olověné akumulátory ošetřování, opravy* [online], [cit. 2013-08-20].
Dostupné z: < http://www.zvlasak.net/bat_opr_s.pdf>
- [24] Užitocné rady, údržba a nabíjenie [online], [cit. 2013-08-21].
Dostupné z: < <http://www.akuma.sk/radime-Vam/52/UDRZBA-A-NABIJANIE/>>
- [25] Nabíjení baterií [online], Autobaterie – PK Technik [cit. 2013-08-21].
Dostupné z: < <http://www.autobaterie-pktechnik.cz/content/13-nabijeni-autobaterii>>
- [26] ULVER, L. *Nabíjení a nabíječe – jaký nabíječ vybrat*. *Autoexpert*, 2007 č.11,[online], [cit. 2013-09-01].
Dostupné z: <<http://www.autopress.cz/?page=41.nabijeni-a-nabijece-jaky-nabijec-vybrat>>. ISSN 1211-2380
- [27] Nabíječka autobaterií Start 320 se startérem (Booster) [online], [cit. 2013-09-02].
Dostupné z: <<http://www.kufry-svitilny.cz/664-nabijecka-autobaterii-start-320-se-starterem-booster.html>>
- [28] ŠVAMBERG, L. *Mapujeme trh – přehled nabíječek akumulátorů – 1*. *Autoexpert*, 2012 č.11, [online], [cit. 2013-09-02].
Dostupné z: <<http://www.autopress.cz/?page=336.mapujeme-trh-prehled-nabijecek-akumulatoru-1>>. ISSN 1211-2380
- [29] ŠVAMBERG, L. *Mapujeme trh – přehled nabíječek akumulátorů – 2*. *Autoexpert*, 2012 č.12, [online], [cit. 2013-09-02].
Dostupné z: <<http://www.autopress.cz/?page=342.mapujeme-trh-prehled-nabijecek-akumulatoru-2>>. ISSN 1211-2380
- [30] Nabíječka Deca SC 3300B (Smart 3300) [online], [cit. 2013-09-27].
Dostupné z: <<http://eshop.micronix.cz/akumulatory-a-baterie/nabijecky-akumulatoru-a-baterii/startovaci-voziky/sc3300b.html>>

- [31] VACULÍK, M. *Autobaterie: Čím nás mohou (nejen v zimě) zaskočit?* [online], Auto.cz, 2012 [cit. 2013-09-30]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/autobaterie-udrzba-vyber-nabijeni-zivotnost-64786>>
- [32] Profesionální nabíjení Bat 490 [online], Auto.cz, 2012 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: <<http://aa.bosch.cz/download/automobilova-diagnostika/bat490.pdf>>
- [33] ACCTIVA Professional Flash [online], [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: <http://www.fronius.cz/cps/rde/xchg/SID-58E33BCB-70306639/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_7812.htm#.UwXkWIV9B3B>
- [34] Nabíječ Startovacích akumulátorů NB 10 [online], [cit. 2013-10-13]. Dostupné z: <<http://www.eprona.cz/cz/nb10.html>>
- [35] Návod k obsluze pro nabíječky startovacích akumulátorů C7 [online], [cit. 2014-13-02]. Dostupné z: <http://akushop.cz/navody/bosch_c7.pdf>
- [36] Conrad CTEK multi XS 7000 [online] [cit. 2013-10-20]. Dostupné z: <<http://www.mall.cz/nabijecky-autobaterie/conrad-ctek-multi-xs-7000>>
- [37] ACCTIVA Easy [online], [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-C3AEDB20-8DDCC6EC/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_7816.htm#.UwXkrIV9B3A>
- [38] Akumulátor AKUMA Komfort [online], [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: <<http://www.akuma.sk/autobateria/1/Komfort/>>
- [39] Automatický nabíječ olověných akumulátorů FAIRSTONE ABC 1220D návod k použití
- [40] Bosch na veletrhu Autotec 2010 [online] Motornews [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <<http://www.motorinfo.cz/bosch-na-veletrhu-autotec-2010.html>>
- [41] ACCTIVA Professional Flash [online], [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <<http://www.v-techuk.com/english/products/diagnostics/ProfessionalFlash/index.asp>>
- [42] Akumulátortöltő Bosch C7 Flash [online], [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <http://jarmugyartoshop.hu/product-403-hu-akkumulatortolto_bosch_c7>
- [43] Mutli XS 700 [online], [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <<http://www.pneu-kvalitne.sk/multi-xs-7000.html>>
- [44] ACCTIVA Easy 1206 – pro motoristy [online], [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <<http://www.froweld.cz/svarovaci-technika/eshop/9-1-NABIJECI-TECHNIKA/287-3-Acctiva-Easy/5/293-Acctiva-Easy-1206-PRO-MOTORISTY>>
- [45] Nabíjení autobaterie [online], [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: <<http://www.jweb.cz/autobaterie.html>>

- [46] Tester AlfaBat Pro [online], [cit. 2014-02-20].
Dostupné z: <<http://www.battery-import.cz/testery-2/tester-alfabat-pro>>
- [47] VLASÁK, Z. *Olověné automobilové akumulátory konstrukce* [online], [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.zvlasak.net/baterie_s.pdf>
- [48] ČSN EN 13306 (01 0660) Údržba - Terminologie údržby. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [49] Start 320 [online], [cit. 2014-02-20].
Dostupné z: <<http://www.electromem.com/start-320>>
- [50] WEIGEL, D. *Nabíjení a nabíječe – jak dostat z akumulátoru maximum* Autoexpert, 2007. č.10, [online], [cit. 2014-03-20].
Dostupné z: <<http://www.autopress.cz/?page=17.nabijeni-a-nabijece-jak-dostat-z-akumulatoru-maximum>> ISSN 1211-2380
- [51] Testery autobaterií [online], [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: <<http://www.otos.cz/tester-autobaterie/>>
- [52] Tester autobaterií zátěžový TBP 500 6 - 12 V 480 A [online], [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: <<http://www.otos.cz/tester-autobaterie/tester-aku-tbp-500-zatezovy/>>
- [53] Zátěžový tester baterií řízený mikroprocesorem B 200 [online], [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: <<http://www.battery-import.cz/testery-2/zatezovy-tester-baterii-rizeny-mikroprocesorem-b200>>
- [54] Tester BT 111 DHC [online], [cit. 2014-03-30].
Dostupné z: <<http://www.battery-import.cz/testery-2/tester-bt-111-dhc>>
- [55] Návod k použití Gold – Plus inteligentní tester baterií 6 -12 V [online], [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <<http://eshop.micronix.cz/data/cz/att/002/679-2347.pdf>>
- [56] Tester akumulátorů ACT IBT 6V/12V GOLD–PLUS [online], [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <<http://eshop.micronix.cz/akumulatory-a-baterie/testery-akumulatoru-a-baterii/act-ibt-gold-plus.html>>