



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

VLIV PŘÍMĚSÍ ELEKTROLYTU NA VLASTNOSTI OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ

THE INFLUENCE OF ELECTROLYTE ADDITIVES TO LEAD-ACID BATTERIES PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Dohnal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Martin Dohnal

Ročník: 3

ID: 158119

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Vliv příměsí elektrolytu na vlastnosti olověných akumulátorů

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte literaturu a seznamte se s problematikou olověných akumulátorů pracujících v různých režimech provozu. Nastudujte problematiku elektrolytu - kyseliny sírové a komerčních aditiv do elektrolytu. Sestavte experimentální články s nespojitým systémem rovnoběžných žeborů a podrobně je různým režimům provozu. Výsledky vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:


Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 2. 6. 2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

V dnešní době je olověný akumulátor nejrozšířenější v automobilovém průmyslu. Ve kterém slouží jako zdroj energie při startování automobilu. Od nedávna je akumulátor používán nejen při startech, ale i při jízdě v městském provozu. Toto chování můžete znát pod pojmem hybridní automobil. U kterých je využíván elektromotor, který má v důsledku snížit produkci emisí stojících aut ve městech. Elektromotor je napájen olověným akumulátorem a to má za následek rychlé vybíjení i snížení životnosti baterie. Pro prodloužení života byly vyvinuty aditiva do elektrolytu. V bakalářské práci budou tyto přísady zkoumány. Jestli opravdu mají příznivé účinky na baterii.

KLÍČOVÁ SLOVA

Olověný akumulátor, automobilový průmysl, zdroj energie, startování, automobil, akumulátor, hybridní automobil, elektromotor, produkce emisí, životnost baterie, aditiva, elektrolyt

ABSTRACT

This day is a lead battery is most prevalent in the automotive industry. Which is a source of energy when starting the car. In recent times the battery is used not only for startups, but also when driving in city traffic. This behavior can know the concept of a hybrid car. Which is used an electric motor which as a result reduce emissions standing cars in cities. The electric motor is powered by lead-acid battery and a rapid discharging and reducing battery life. To extend the life developed additives to the electrolyte. In the thesis, these additives investigated. If they really have a positive effect on the battery.

KEYWORDS

Lead-acid battery, automotive, energy source, starting, automobile, battery, hybrid car, electric motor, emissions, battery life, additives, elektrolyte

DOHNAL, M. *Vliv příměsí elektrolytu na vlastnosti olověných akumulátorů.*
Brno :Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií. Ústav elektrotechnologie, 2016. 59 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce.
Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vliv příměsí elektrolytu na vlastnosti olověných akumulátorů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 2. června 2016

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat všem, co mě podporovali. Především své rodině za podporu při studiu. Také bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Bačovi, Ph.D. za odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 2. června 2016

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	8
1 Akumulátor	9
1.1 Historie	9
1.2 Zdroje elektrické energie	11
1.2.1 Olověný akumulátor	11
1.2.2 Ni-Cd (Nikl- kadmium)	11
1.2.3 Ni-MH (Nikl- metal- hydrid)	11
1.2.4 Li-Ion (Lithium- iont)	12
1.2.5 Li-Pol (Lithium- polymer)	12
1.3 Konstrukce olověného akumulátoru.....	13
1.3.1 Kryt.....	13
1.3.2 Článek.....	14
1.3.3 Elektrolyt	15
1.4 Aditiva do elektrolytu.....	16
1.4.1 Kyselina fosforečná (H_3PO_4)	16
1.4.2 ACCU CRAFT	16
1.4.3 Kyselina citrónová ($C_6H_8O_7$)	17
1.4.4 Amper plus.....	17
1.4.5 Mečta	18
1.5 Formace akumulátoru.....	19
1.5.1 Nabíjení.....	19
1.5.2 Vybíjení	20
1.6 Druhy nabíjení	21
1.6.1 Stálým proudem	21
1.6.2 Stálým napětím.....	22
1.6.3 Rychlé.....	22
1.6.4 Trvalé.....	22
1.6.5 Cyklické.....	23
1.6.6 Pulsační.....	23
1.7 Nežádoucí jevy.....	24

1.7.1	Samovybíjení	24
1.7.2	Sulfatace	24
1.7.3	Zkratky.....	25
1.7.4	Vypadávání aktivní hmoty.....	25
2	Výroba akumulátorů	26
2.1	Velkosériová výroba	26
2.2	Malosériová výroba.....	28
2.2.1	Stará forma.....	29
2.2.2	Nová forma	31
2.2.3	Forma na žebrování	32
2.2.4	Držák kabelu	32
2.3	Zalévací materiály.....	33
2.3.1	Epoxy 1200	33
2.3.2	Polyuretan F 180	34
3	Experiment	35
3.1	Formace	35
3.2	Doformovací cykly.....	38
3.3	Po přidání aditiv	40
3.4	Kapacita článků.....	43
3.5	Schopnost příjmu náboje	44
	Závěr	46
	Literatura	47
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	49
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	52
	Seznam příloh	53

ÚVOD

Tato práce pojednává o úložných zdrojích energie. Tyto zdroje jsou využívány nejen kolem nás, ale téměř každý využívá nějaký přenosný zdroj energie. Například v hodinkách, mobilních telefonech, či v automobilech a mnoha jiných zařízeních.

V dokumentu je zmíněno něco málo z historie zdrojů energie a také jak se zdroje za poslední dobu vyvíjely až do dnešních dnů. Z jakých komponentů je baterie složena. Popřípadě jaké nežádoucí jevy můžeme u olověných akumulátorů očekávat.

Poslední dobou je aktivně pracováno na vylepšení olověných akumulátorů a posouvání hranic v životnosti i kapacitě. K tomu mají sloužit aditiva. Cílem práce jak již plyne z názvu práce testování aditiv, které mají „údajně“ zlepšit, či prodloužit životnost akumulátorů. Pokud tyto příměsi budou prospěšné, mohou být nápomocná v hybridních automobilech v režimech STOP & START i rekuperaci. A mají být nápomocny oprostít se od neobnovitelných zdrojů energie a používat tzv. „čistou energii“.

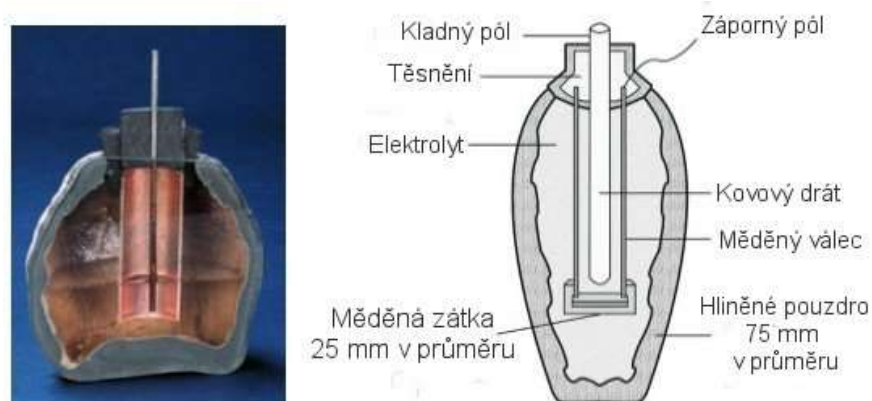
Dále je práce zaměřena na výrobu jak samotných elektrod, tak i nových přípravků a forem. Ty mají usnadnit a zvýšit produkci elektrod. Ale i také odstranit nežádoucí chyby a nedostatky v jejich výrobě. Také byly zkoušeny nové materiály, které by mohly být vhodnější a rychlejší při výrobě testovacích elektrod.

1 AKUMULÁTOR

1.1 Historie

Zdroje elektrické energie nejsou novinkou. Dle nejnovějších objevů, první sestrojený monočlánek je datován do doby před naším letopočtem mezi obdobími (140 př.n.l. až do doby 225 n.l.). Tento článek byl objeven německým archeologem Wilhelmem Königem. Objev byl učiněn v Bagdádu roku 1936 v oblasti Khujut Rabu [1].

První „baterie“ vypadala jako džbán a byla vysoká čtrnáct centimetrů a široká osm centimetrů. Hned po objevení nebylo jasné jak důležitý nález pro lidstvo objev byl. Až po čtyřech letech od objevu přišla teorie, že se jedná o elektrický článek. Tato teorie byla založena na hierarchickém uspořádání a složení obsahu nádoby. Až po konzultaci s odborníky na elektřinu König byl utvrzen ve svém názoru a mohl být veřejně prohlášen za pravý objev [1].



Obr. 1: Bagdádská baterie [2]

Od prvního monočláneku uběhala dlouhá doba, než kolem roku 1800 byl sestrojen Voltův sloup Alessandrem Voltem. Tento sloup sloužil k uchování elektrické energie a byl složen ze zinkových destiček. Destičky byly obaleny látkou napuštěnou kyselinou. A. Volta dělal pokusy s různými kovy i kyselinami a zkoumal jaký mají na sebe vliv. Z pokusů bylo zjištěno, že při reakci vzniká „přenosná“ elektrická energie. Souběžně na otázce monočláneků také pracoval Luigi Galvani.

Luigi používal stejný princip jako A. Volta, jen s rozdílem, že nepoužíval látku s kyselinou, ale jen vlhkou látku. Z důvodů, že L. Galvani viděl nejspíš nebezpečí kyselin, pokud by měla baterie využívat širší veřejnost. Tím chtěl nejspíše zabránit špatnému jménu bateriím, které by mohly nastat.

O téměř šedesát let poté se pokoušel zdokonalit primární články objevené A. Voltem a L. Galvanim francouzský fyzik Raymond Gaston Planté roku 1859. Nemohl unést, že dosavadní články byly jen na jedno použití a nedaly se nijak obnovit. Tak přišel s nápadem o inovaci. Která měla za následek využití olověných plátů ponořených do kyseliny sírové. Po testech R. G. Planté zjistil skutečnost, znovu nabití článků. Tak vznikl olověný akumulátor, který je využíván dodnes a pořád je zdokonalován [3].

1.2 Zdroje elektrické energie

Zdroje elektrické energie jsou děleny na více druhů. Tyto druhy vznikaly různými výzkumy, kde z jednotlivých objevů byly vyráběny komerční zdroje energie. Výzkumy probíhaly na popud omezení předešlých akumulátorů a proto byly testovány i jiné materiály než doposud. Níže je vypsáno pár zdrojů energie, které jsou v dnešní době využívány.

1.2.1 Olověný akumulátor

Akumulátor je tvořen dvěma olověnými elektrodami, které spojuje aktivní hmota. Tento celek je ponořen do kyseliny. Nejčastěji kyseliny sírové v zředěném stavu destilovanou vodou v poměru od 38 % do 41 %. Správným zacházením může být docílena životnost okolo tisíc cyklů, anebo doby tří let.

V dnešní době olověný akumulátor svými parametry, ale i cenou nejvíce vyhovuje požadavkům zákazníka. Jak již bylo dříve zmíněno. Tato práce pojednává o zlepšení těchto zdrojů aditivy. Pro lepší představu akumulátoru je níže vysvětlen princip zdroje.

1.2.2 Ni-Cd (Nikl- kadmium)

Nikl-kadmiový akumulátor jak napovídá název tvořen niklem a kadmium v hermeticky uzavřeném pouzdru. Na rozdíl od olověného akumulátoru tento zdroj umožňuje až dvanáctiset nabíjecích cyklů. Což je o dvě stě cyklů více. Také nikl-kadmium oproti olovu působí spolehlivěji, dá se rychleji nabíjet a může být použit pro komerční účely. Nabíjení je prováděno u lepších nabíjecích stanic, u kterých probíhá vyhodnocování pomocí dvou až tří metod. Nejčastěji pomocí časové, napětíové, proudové metody a také je hlídána teplota z důvodů možné exploze. Tyto metody mají být nápomocny k prodloužení životnosti baterie, ale i bezpečnosti uživatele [4].

1.2.3 Ni-MH (Nikl- metal- hydrid)

Tyto zdroje mají velkou podobnost s nikl-kadmiovými zdroji. Jelikož Ni-Cd baterie nebyly schopny vyšší kapacity, byl započat výzkum niklmetalhydridových baterií. Na konci experimentů byl zjištěn nárůst kapacity o čtyřicet procent oproti kadmium. Jediná nevýhoda těchto akumulátorů je omezená doba nabíjecích cyklů od pěti set až po šest set cyklů [5].

1.2.4 Li-Ion (Lithium- iont)

Lithium iontová baterie má vyšší jmenovité napětí, než výše jmenované zdroje. Napětí je zvýšeno z 1,2 V na 3,6 V na článek. Což má za následek vysoké pořizovací náklady, náročný provoz a jsou náchylné na špatné zacházení (přebíjení). Další nevýhodou je krátká životnost okolo tisíc nabíjecích cyklů a tím se vyrovná olověným zdrojům. Tyto baterie jsou využívány nejčastěji v mobilních zařízeních. U kterých je kladen největší důraz na rozměr, velikost a kapacitu [6].

1.2.5 Li-Pol (Lithium- polymer)

Nejnovějším zdrojem elektrické energie je lithiumpolymerový článek. Který má oproti lithiumiontovému článku menší hmotnost, vysokou kapacitu, více nabíjecích cyklů a v neposlední řadě velmi malou samovybíjecí schopnost. V brzké době je naplánováno nahrazení olověných akumulátorů právě Li-Pol akumulátory.

Jediná nevýhoda těchto článků spočívá v přesném snímání stavu nabití. Tato hodnota by neměla klesnout pod osmdesát procent. U poklesu pod onu hranici by došlo k nevratnému poškození článku. Z této skutečnosti plyne, že akumulátor co se ceny týče je nejdražší ze všech zmiňovaných zdrojů. Kvůli nutnosti použití řídicí jednotky k baterii, která musí zamezit podvybití baterie [6].

1.3 Konstrukce olověného akumulátoru

Akumulátor je složen ze tří částí. První část je složena z jednotlivých elektrod (článků). Ty jsou mezi sebou propojeny sendvičovou metodou. Na celý akumulátor je používán určitý počet, aby bylo dosaženo určitého charakteru akumulátoru. V další části musí být elektrody zapouzdřeny do bezpečného krytu. Kryt slouží nejen jako ochrana okolí, ale i jako nádoba na elektrolyt. Tato část je nezbytná pro celou funkci zařízení. Bez elektrolytu kyseliny sírové by nedocházelo k velmi dobré chemické reakci mezi kladnou a zápornou elektrodou.



Obr. 2: Složení baterie [7]

1.3.1 Kryt

Jak již dříve bylo řečeno, kryt slouží nejen jako ochrana, ale i jako nádoba na elektrolyt. Samotný kryt je rozdělen do několika částí. Jako hlavní část je samotná nádoba. Ta slouží jak na umístění samotných článků, tak i na samotný roztok kyseliny. Nádoba je opatřena na dně žebry. Žebra drží články zafixované v definované vzdálenosti od sebe. Nezbytnou součástí nádoby jsou přepážky, které rozdělují baterii na sekce. Tyto sekce jsou různě mezi sebou propojovány z důvodu změny vlastností. Změnou propojení může být navýšena kapacita, nebo zvýšeno či sníženo napětí.

Víko je nezbytná součást se kterou je přicházeno do styku. Jak při samotné montáži do automobilu, tak při údržbě. Nezbytnou součástí víka jsou zátky. Ty jsou navrženy pro zvýšení bezpečnosti. Hlavními výhodami je odplynění baterie při chemické reakci. U které dochází k uvolňování par. Zátka obsahuje přepad. Ten je nezbytný ke z kondenzování kyselinových par. Nahromaděné kapky kyseliny jsou vráceny zpět do nádoby na rozdíl od vodíku a kyslíku, ten je vypuštěn do okolí. Tímto je zabráněno poškození baterie a tím i jejímu znehodnocení [7].

U moderních baterií zátky obsahují granule na jejichž povrchu je nanesena vrstva paládia. U kterého dochází k přeměně na vodu. Po přeměně je voda navracena do baterie [7].



Obr. 3: Obal baterie s víkem [7]

1.3.2 Článek

Článek je tvořen kladnou a zápornou deskou. Tyto desky jsou vyrobeny ze slitiny olova obsahující prvky antimonu, vápníku a dalších legujících prvků. Desky nejsou celistvé z důvodu mechanickému pnutí v baterii. Vzhled elektrod je pravoúhle mřížkový, nebo roviny na sebe svírají patřičný úhel. Tento vzhled je u každého výrobce jiný.

Kladná deska obsahovala dříve 5 – 7 % antimonu. Tímto poměrem byla zajištěna nejen ekonomicky přijatelná cena, ale i výborná licí schopnost, pevnost a také dobrá odolnost chemickým vlivům. Nevýhodou příměsi je značné samovybíjení. Poté byl podíl antimonu snižován až na hodnotu 2,4 – 1,8 %, nebo byl nahrazen vápníkem. Výsledkem bylo snížení samovybíjení až pětkrát. Vývoj nadále pokračoval, ve kterém byla zjištěna ještě lepší vlastnost slitiny olova, vápníku a stříbra. V důsledku vývoje bylo zlepšeno startování velkým proudem, odolnost proti hlubokému vybití, delší životnost i lepší odolnost proti vysokým teplotám [7].

Záporné desky jsou vyráběny stejnou technologií i ze stejného materiálu. U těchto desek dochází k menšímu opotřebení, než je tomu u desek kladných. Jakmile je dosažen konec života desek jejich barva se změní na tmavě šedou barvu. V důsledku záporné desky jsou mnohokrát méně opotřebovány, nežli kladné články [7].



Obr. 4: Složení článku [7]

1.3.3 Elektrolyt

Elektrolyt je chemický roztok, ve kterém je obsaženo 64 % kyseliny sírové a 36 % destilované vody. V elektrolytu dochází k chemické reakci ve které jsou vyráběny kladné i záporné ionty. Chemickou reakci mezi elektrolytem a aktivní hmotou dochází u nabíjení k spotřebování proudu. Naopak při vybíjení je elektrický proud vytvářen. Hustota elektrolytu plně nabitého akumulátoru je 1,285 kg/l při pokojové teplotě.

Za celou dobu životnosti baterie není nutné nijak doplňovat kyselinu sírovou. Ta zůstává v nádobě po celou dobu. Na rozdíl od destilované vody, která je vypařována a je nutné ji doplnit. Do přesného poměru výše, aby bylo zajištěno bezchybné fungování akumulátoru ve všech teplotních podmínkách.

1.4 Aditiva do elektrolytu

Aditiva slouží jako přísada do elektrolytu. V důsledku aditivum má být prospěšné pro olovený akumulátor. Po použití by mělo nastat prodloužení životnosti, zvýšení kapacity a vylepšení všech vlastností baterie. V dokumentaci od výrobců aditiv je psáno, jak jsou právě jejich aditiva prospěšná. Pro porovnání jak se jednotlivé příměsi chovají při provozu je popsáno v kapitole Experiment.

Tato práce má vyhodnotit experimentálním testováním různé druhy aditiv. A zjistit nejlepší aditivum, které je možné použít pro akumulátor. Nejlepší aditivum má vyhovět požadavkům pro dnešní automobilový průmysl a rozšířit využití hybridních automobilů.

1.4.1 Kyselina fosforečná (H_3PO_4)

Kyselina fosforečná měla být dříve používána jako aditivum. Jenže kyselina byla jen testována a nedostala se do komerčního provozu. Proto nedávno proběhly opětovné testy, aby byl zjištěn nejlepší poměr pro tento experiment.

V experimentu byla testována látka v rozmezí 0 – 40 g/l v uzavřených akumulátorech. Po otestování této látky byl zjištěn nejlepší účinek při poměru 20 g/l.

Kyselina měla pozitivní účinek a zamezila vzniku vodíku v akumulátoru a zlepšit elektrochemické chování jednotlivých elektrod a akumulátoru jako celku [8].

1.4.2 ACCU CRAFT

Accu-craft je antislufatační aditivum, ve kterém je obsaženo třináct druhů kovových solí na metalicko-organické bázi o pH 3,5. Po použití má docházet k výraznému zefektivnění elektrochemického procesu v akumulátoru. Má být zabráněno sulfataci, také má dvojnásobně zvýšit nabíjecí cykly a rozpouštět různé soli v elektrolytu [9].

Výrobce je zaručeno prodloužení životnosti až o 100 % a snížení investice do nového akumulátoru až o 50 %. Také má být snížena po použití aditiva energie při nabíjení [9].



Obr. 5: Aditivum ACCU CRAFT [9]

1.4.3 Kyselina citrónová (C₆H₈O₇)

Kyselina citrónová byla dříve používána jako aditivum. Dříve nebylo jednoznačně řečeno v jakém množství a jestli vůbec tato přísada má pozitivní vliv na akumulátor. Proto nedávno byl vyzkoušen experiment.

V experimentu se pojednávalo o použití kyseliny citrónové jako o aditivum. Byla zjištěna ideální koncentrace 2 – 6 g/l. Z výsledků měření bylo zjištěno zvýšení kapacity akumulátoru. Kapacita byla zvýšená o 0,7 Ah z původních 2,7 Ah na 3,4 Ah. Také schopnost cyklování byla navýšena. Jedinou nevýhodou při použití je zvýšené množství vznikajícího vodíku [10].

1.4.4 Amper plus

Amper Plus (butyl hydroxytoluen), neboli krystalizovaný peroxid vodíku. Složení tohoto produktu je velice podobné dříve používanému aditivu Mečta. Výrobek je hlavním produktem firmy Actex International s.r.o. z Rožnova pod Radhoštěm. Balení je prodáváno po šesti sáčcích.

Výrobce je zaručeno prodloužení životnosti akumulátoru až o 60 %. Napomoci má proti samovybíjení, sulfataci a také má být navracena ztracená kapacita baterie.

Dávkování pro 6 V baterie s kapacitou 0-180 Ah je jeden sáček do každého článku. Do 12 V baterie o kapacitě 0-90 Ah má být použita dávka jednoho sáčku do článku. Jediný rozdíl, kde mají být použity sáčky dva je 12 V akumulátor s kapacitou od 90 do 190 Ah [11].



Obr. 6: Aditivum Amper Plus [12]

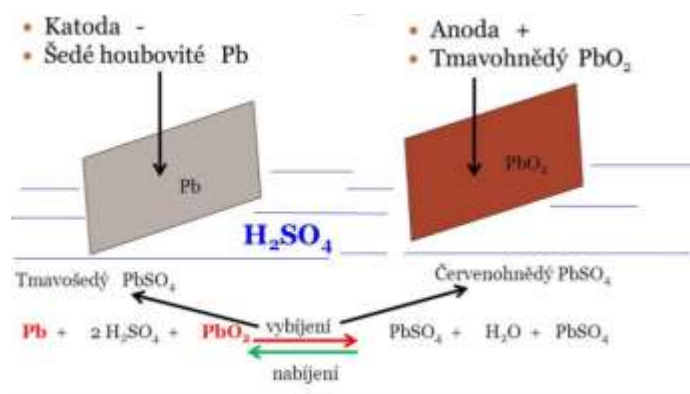
1.4.5 Mečta

Neboli Mečta Super byla vyvinuta ve vojenském výzkumu a používána v bývalém SSSR. Tato složka byla ve velkém používána, i když se jednalo jen o pevnou formu peroxidu vodíku. Který měl zamezit sulfataci na člancích, rozpustit síran olovnatý a lépe formovat články. Mečta hlavně byla používána jen na zničené baterie sulfatací. Po několika minutách působení chemikálie byla baterie oživena a motor byl schopen nastartovat z akumulátoru.

Výrobek už není možné zakoupit a běžně není k dostání. Jak již byla dříve zmíněna velká podobnost s aditivem Amper plus. Který se stal komerčním aditivem [13].

1.5 Formace akumulátoru

Akumulátor je tvořen dvěma olovenými destičkami, které jsou ponořené do koncentrátu kyseliny sírové. Následně je způsobena disociace kyseliny sírové na ionty. Po této reakci jsou uvolňovány kationty olova. Následně je po obou destičkách vytvářena vrstva síranu olovnatého PbSO_4 . Tímto je akumulátor připraven k dalšímu postupu a to je formátování pomocí nabíjecích a vybíjecích cyklů. Ty způsobí zprovoznění a fungování celého akumulátoru. Celý proces nabíjení a vybíjení je popsán na obrázku (obr. 7). Jednotlivé nabíjecí a vybíjecí cykly jsou popsány níže.



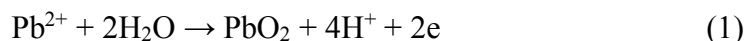
Obr. 7: Chemická reakce při formaci [14]

1.5.1 Nabíjení

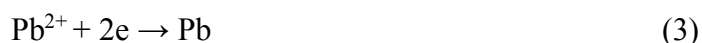
Samotné nabíjení spočívá v připojení nabíječky na napájecí svorky. Při tomto procesu dochází k samotnému formování akumulátoru. Ve kterém jsou utvořovány molekuly kyseliny sírové a tím se stává elektrolyt hustější.

Proces spočívá v přeměně síranu olovnatého PbSO_4 na aktivní hmotu. Kladná elektroda je potažena červenohnědým oxidem olovičitým PbO_2 . Záporná elektroda je naopak potažena šedým „houbovitým“ povlakem. Při této reakci je do elektrolytu vylučována kyselina sírová H_2SO_4 . Touto reakcí elektrolyt houstne. Celkový popis chemického děje je možné popsat rovnicí, která se nachází níže.

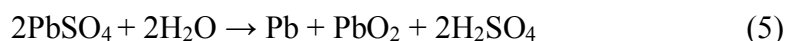
Reakce na kladné elektrodě:



Reakce na záporné elektrodě:



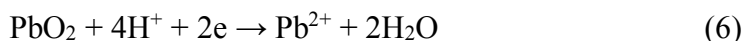
Celkový zápis vybíjecího procesu:



1.5.2 Vybíjení

Procesem vybíjení prochází proud od záporné elektrody přes elektrolyt až do kladné elektrody. Tento proces je započat připojením zátěže na akumulátor. Tím nastává opačná chemická reakce než je tomu u nabíjení. Při tomto jevu jsou elektrody pokrývány vrstvou PbSO_4 a elektrolyt se stává kapalnější.

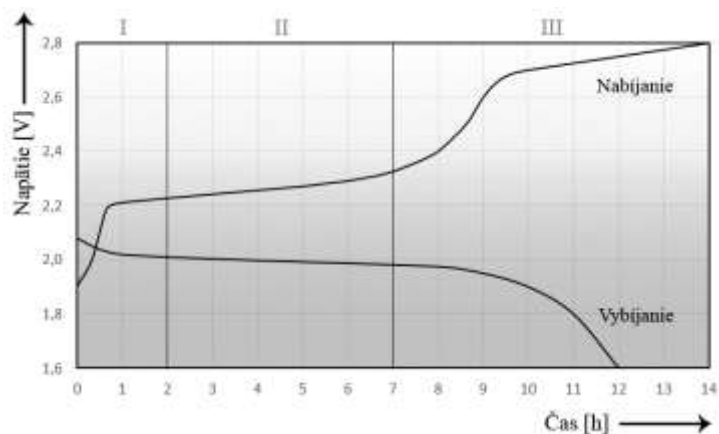
Reakce na kladné elektrodě:



Reakce na záporné elektrodě:



Celkový zápis vybíjecího procesu:



Obr. 8: Nabíjecí a vybíjecí charakteristika [15]

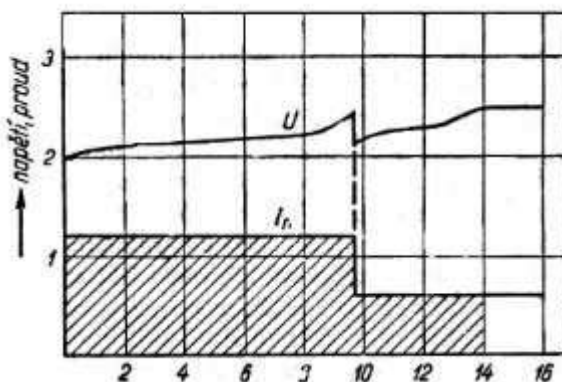
1.6 Druhy nabíjení

Nabíjení je děleno na více typů. Různé typy nabíjení jsou charakterizovány pro určitý akumulátor. Nabíjecí cyklus může být zaměřen na nabíjecí cyklus pomocí napětí a nebo pomocí proudu, cyklické a další typy popsané níže.

1.6.1 Stálým proudem

U nabíjení stálým proudem je připojen akumulátor k nabíjecí stanici, která udržuje konstantní proud. Na rozdíl od napětí, to je postupně zvyšováno až na konečné napětí článku. Zvyšování není pro všechny typy baterií stejné. Pro každý typ baterie existuje určitý cyklus tzv. nabíjecí mapa. Mapy mají prodloužit životnost baterie a tím zvýšit počet nabíjecích cyklů.

Nabíjení je rozděleno na různé stupně. V jednostupňovém nabíjení je dodáván proud o stejné hodnotě do akumulátoru. Na rozdíl od vícešupňového, kde je způsobeno postupné snižování proudu v průběhu nabíjení [4].



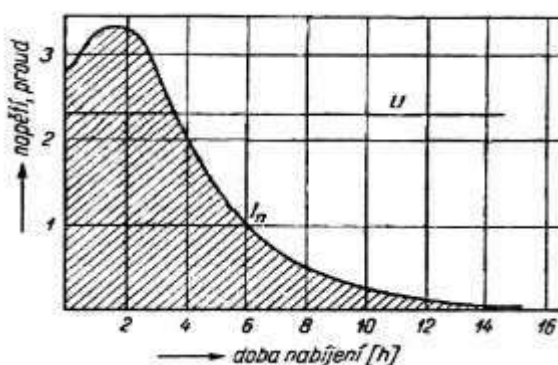
Obr. 9: Charakteristika nabíjení stálým proudem [4]

Nabíjení stálým proudem je používáno při hlubokém vybití akumulátoru u něhož se vybití několikrát opakuje. Tento druh nabíjení je používán při rychlé obnově kapacity akumulátoru na plnou hodnotu. Při přebíjení může nastat vypadávání činné hmoty a tím znehodnotit akumulátor. Nejčastěji je použito vícešupňové nabíjení, jelikož nedochází tak k razantnímu přebíjení oproti jednostupňovému [4].

1.6.2 Stálým napětím

U tohoto nabíjení bývá napětí konstantní oproti hodnotě proudu. Celý princip nabíjení je vyobrazeno na obrázku (obr. 10) ve kterém dochází k postupnému snižování proudu v závislosti hladiny nabití baterie.

Tento druh nabíjení může být použit na různé typy baterií a to vždy ze správným typem mapy. Která má za následek správné nabíjení akumulátoru. Při správném zacházení může být zvýšen počet nabíjecích cyklů. Také je možné nabíjet i více akumulátorů najednou s podmínkou, nabíjet akumulátory výhradně paralelně [16].



Obr. 10: Charakteristika nabíjení konstantním napětím [16]

1.6.3 Rychlé

Při rychlém nabíjení je akumulátor dobíjen vysokým počátečním nabíjecím proudem. Tímto způsobem je dosahováno zrychlené dobíjení akumulátoru během prvních desítek minut po spuštění nabíjení. Po pár minutách nastává nežádoucí jev, ve kterém vznikají plyny v akumulátoru přibližně u hodnoty 2,4 V na článek. Po dosažení této hodnoty musí být nabíjení zastaveno. Pokud není nabíjení zastaveno nastává přebíjení a v důsledku dochází ke zkrácení životnosti baterie.

Tento typ nabíjení není možné používat při prvním formování baterie. Tímto druhem nabíjení může nastat nevratné poškození akumulátoru. Nadále touto metodou není možné časté nabíjení, nebo nabíjení dlouho nepoužívaných baterií. Také není vhodné nabíjení nových baterií touto metodou [17].

1.6.4 Trvalé

Trvalé nabíjení probíhá ustáleným nízkým napětím. Také při nabíjení je simulován odběr zátěží s nízkým proudovým odběrem. V důsledku tímto chováním je zamezeno vzniku plynování baterie a tím i jejího poškození.

Trvalé nabíjení slouží k odstranění samovybíjecí schopnosti. U tohoto typu nabíjení je možné kdykoli nabíjení přerušit a využít baterii okamžitě provozuschopné v době potřeby [17].

1.6.5 Cyklické

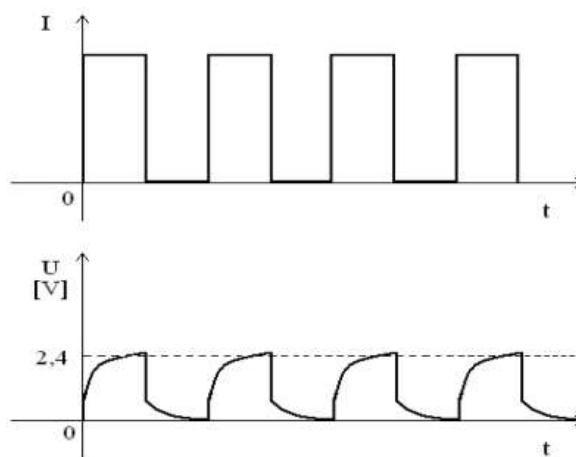
Cyklické nabíjení je nejvíce používáno při udržování baterií v nabitém stavu. Ve kterém je nabíjená baterie připojována na napájení po určitou dobu. Po uplynutí přednastavené doby je nabíjení přerušeno. Tento děj je několikrát opakován v časovém horizontu cca. jedné hodiny.

Výhoda cyklického nabíjení spočívá nepotřeby přesné regulace, jako je tomu u ostatní typů nabíjení. Také je možné tímto typem nabíjet všechny typy baterií. Z důvodů malému zatížení baterie nedochází k razantním nepříznivým jevům jako je přehřívání, zkracování nabíjecích cyklů a dalším nepříznivým jevům. Proto je možno i selektivní nabíjení baterií po delší dobu [17].

1.6.6 Pulsační

U pulsační nabíjení je na svorky baterie dodáván proud s řízenou frekvencí. Tímto vzniká zesílení vazby mezi mřížkou a aktivní hmotou desek. U jednotlivých period je střídáno jak nabíjení tak i vybíjení. Pro lepší představu funkce nabíjení je obrázek vyobrazen níže.

V důsledku při tomto nabíjení nastává zahřívání baterie, ale nedochází k poškození. Naopak tento jev má za následek zvýšení účinnosti nabíjení. Také má příznivý vliv proti vzniku sulfatace. Jelikož nastává v periodě střídání nabíjení i vybíjení dochází při opětovnému nabíjení k rozpouštění zasulfátovaných baterií [17].



Obr. 11: Graf pulsního nabíjení [17]

1.7 Nežádoucí jevy

V této podkapitole budou nastíněny negativní jevy, které ovlivňují životnost akumulátorů. Nejočekávanější jevy jako je samovybíjení, sulfatace, zkratky a také vypadávání aktivní hmoty patří k nejčastějším jevům, se kterými je možné se setkat. Tyto jevy jsou potlačovány stále novými a novými technologiemi a materiály.

1.7.1 Samovybíjení

Samovybíjení nastává v důsledku chemické reakce, ve které dochází k uvolnění kyslíku na kladné a vodíku na záporné elektrodě. Nedílnou součástí samovybíjení je rozpouštění antimonu. Ten je usazován na aktivní hmotě záporné elektrody. Při chování celého zařízení vzniká vodík, který podporuje korozi olova. Také je možné při samovybíjení najít i stopy železa.

Celý jev samovybíjení má za následek ztrátu kapacity kolem 2 až 3 % za měsíc. Při zahřívání akumulátoru samotné samovybíjení procentuálně roste. Tím je ještě více zkrácena doba života baterie.

1.7.2 Sulfatace

Příčina vzniku sulfatace nastává v dlouhodobém ponechání akumulátoru v hlubokém vybití. Ve kterém dochází k přeměně síranu olovnatého na záporné elektrodě. Také dochází k deformaci (prohnutí) olověných desek a tím i popraskání aktivní hmoty mezi elektrodami. Další významný vliv na degradaci má uchovávání akumulátoru v nenabitém stavu, nebo nedokončení nabíjecích cyklů (nedobíjení).

Sulfatace se dá poznat podle následujících znaků zmenšením výkonu baterie, malou hustotou elektrolytu, zvýšeném napětí při nabíjení a zvětšením vnitřního odporu článků [18].



Obr. 12: Povrch desky akumulátoru bez sulfatace. 500 x zvětšeno [19]



Obr. 13: Začínající sulfatace. 500 x zvětšeno [19]



Obr. 14: Velká sulfatace zvětšení 550x [19]

1.7.3 Zkratky

U tohoto jevu dochází k vzniku „mostu“ mezi elektrodami. To způsobuje propojení mezi jednotlivými žebry, u kterých se akumulátor zahřívá. Na přemostění od zkratů vznikají opálené částice oxidu olovičitého. Po opálení styčných ploch dochází k miskovitému zborcení záporné elektrody. V důsledku není u zkratu možné zachovat ve zdroji po delší dobu energii [17].

1.7.4 Vypadávání aktivní hmoty

Vypadávání je způsobeno nadměrným a dlouhodobým odběrem elektrické energie z akumulátoru, velkým nabíjecím proudem, ale i přebíjením. Kvůli vypadávání aktivní hmoty vzniká na dně akumulátoru kal, který způsobuje rychlejší samovybití. Při stálém vypadávání této hmoty může i dojít ke zkratování kladných i záporných elektrod.

Pro odstranění závady je nutno elektrolyt vylít z baterie a akumulátor vypláchnout destilovanou vodou. Poté musí být elektrolyt doplněn na požadovanou úroveň a zdroj musí být znovu naformátován pomocí obnovovacích cyklů [22].

2 VÝROBA AKUMULÁTORŮ

Samotná výroba je nedílnou součástí akumulátoru. Pokud výroba a technologické postupy jsou zanedbány, i samotný výrobek nemůže být finálně použitelný. Především to platí v testování nových surovin a principů výroby. Proto jsou děleny výrobní procesy na velkosériovou výrobu a malosériovou výrobu. Obě výroby jsou popsány níže.

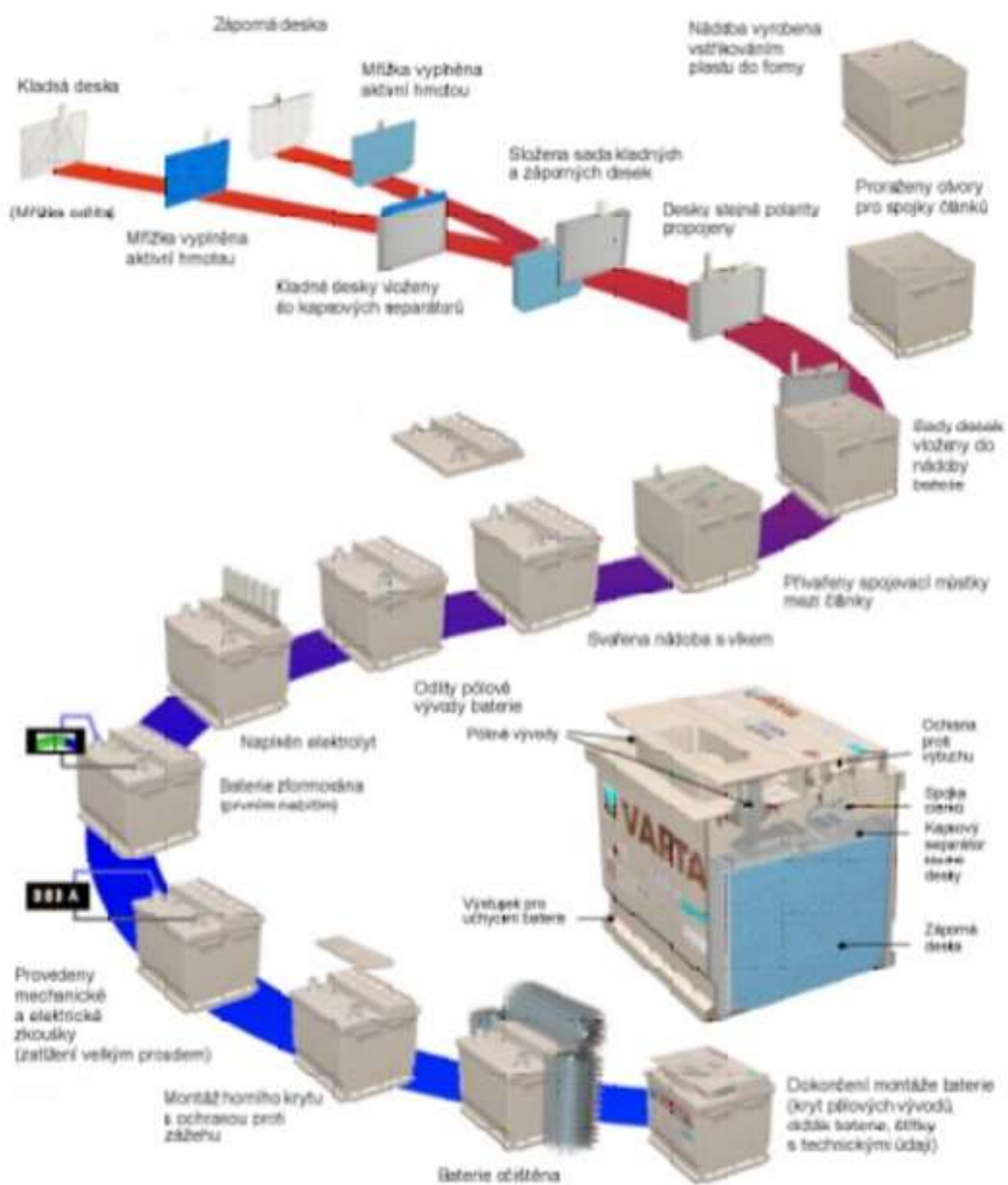
2.1 Velkosériová výroba

Výroba akumulátorů je rozdělena na několik fází, které probíhají paralelně. Celý výrobní proces pro přehlednost jednotlivých cyklů je vyobrazen na obrázku (obr. 15). Těmito fázemi je míněno odlévání samotných desek, které jsou následně pastovány. Poté na vyrobené desky je nanášena aktivní hmota a desky jsou složeny do modulů. Výroba pokračuje vložením modulů do vyrobené nádoby, kde tyto moduly jsou propojeny propojovacími můstky a poté je baterie zakrytována. Do připraveného akumulátoru je napuštěn elektrolyt a tímto je baterie připravena na další cyklus.

V další fázi dochází k zprovoznění samotné baterie tzn. formace baterie. Celý chemický proces formace je popsán výše. Formace probíhá po určitou dobu, která je definována pro určitý druh akumulátoru. Po dokončení celého cyklu formování je baterie ponechána na testovací zkoušky. Ve kterých jsou testovány elektrické i mechanické vlastnosti vyrobeného akumulátoru.

Předposlední fází výroby baterie je samotné zakrytování zátkami, aby nedošlo k úniku elektrolytu a také kvůli vypařování při chemické reakci. Akumulátor je téměř připraven na expedici, jen je potřeba baterii očistit. Při celém procesu by mohly být nečistoty i také kyselina na vnějším krytu. To by mohlo způsobit nežádoucí problémy u cílového zákazníka, který z vnějším krytem přijde do styku. Proto tento kryt musí být očištěn. Po tomto procesu je možné akumulátor expedovat z výrobního závodu.

Úplně poslední fází je prodej cílovému zákazníkovi. Cena vyrobeného akumulátoru je v rozmezí tisíc korun až po tři tisíce korun. Částka je odvíjena dle kapacity akumulátoru [17].



Obr. 15: Průmyslová výroba olověných akumulátorů [17]

2.2 Malosériová výroba

Malosériová výroba, která testuje aditiva do elektrolytu pro tento experiment se nachází ve školních laboratořích VUT v Brně. Celý princip výroby v těchto laboratořích probíhá velmi podobně průmyslové výrobě. Jediný hlavní rozdíl nastává ve vzhledu elektrod, které jsou vyráběny pomocí epoxidové pryskyřice, která drží jednotlivá žebra od sebe. Pro představu je celý vzhled vyráběné elektrody vyobrazen na obrázku (obr. 20).

Celá výroba je založena na dodávaných elektrodách z průmyslové výroby. Následně je z těchto elektrod vyseparováno pár žeber, na kterých bude probíhat měření cyklů. Tyto žebra jsou zalita do formy pro stabilitu při dalším výrobním postupu. Tato forma je popsána v podkapitole (Stará forma). Tyto žebra jsou zalita epoxidovou pryskyřicí, které je popsána v podkapitole níže.

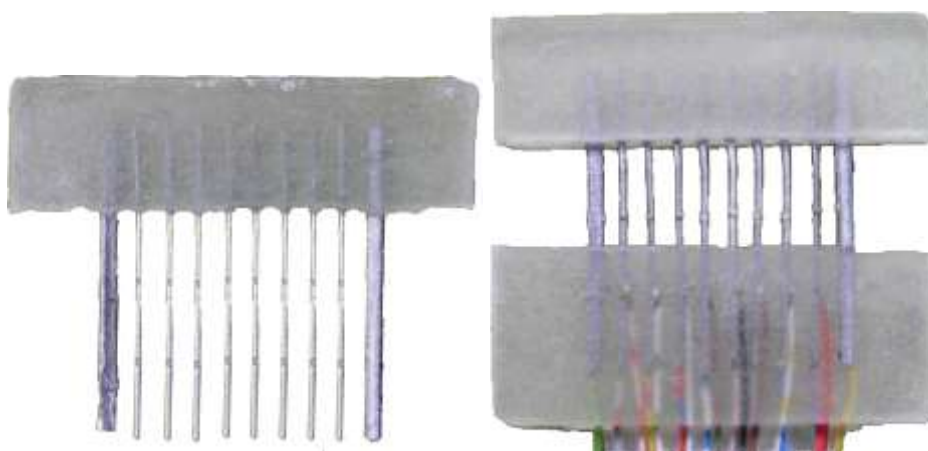
Po vytvrdnutí pryskyřice na jednotlivá žebra jsou napájeny přívody. Jeden z přívodů slouží pro připojení na nabíjení. Tento přívod se nachází na okraji žebra. Další přívod je připájen na žebro jeden centimetr od hlavního přívodu. To je z důvodu měření, ve kterém je vyhodnocován úbytek napětí na definované délce. Po napájení všech kabelů následuje koncové zapouzdření do poslední části formy. Poslední část formy je také k nahlédnutí v podkapitole níže.

Celý cyklus výroby jedné elektrody trvá dva dny. Což je hodně neekonomické a z tohoto důvodu je vyvíjena nová forma na elektrody. Nová forma má v důsledku urychlit celou výrobu o padesát procent. Další výhodou je v možnosti duplikace této formy. Po vyrobení například pěti forem je celá výroba nejen urychlena na pět elektrod za den. Také touto výrobou nastává zlepšení kvality elektrod. U starých elektrod tato kvalita rapidně klesá z důvodů jejich opotřebení neustálým používáním. Pro přehlednost je vyráběná forma popsána v podkapitole (Nová forma).

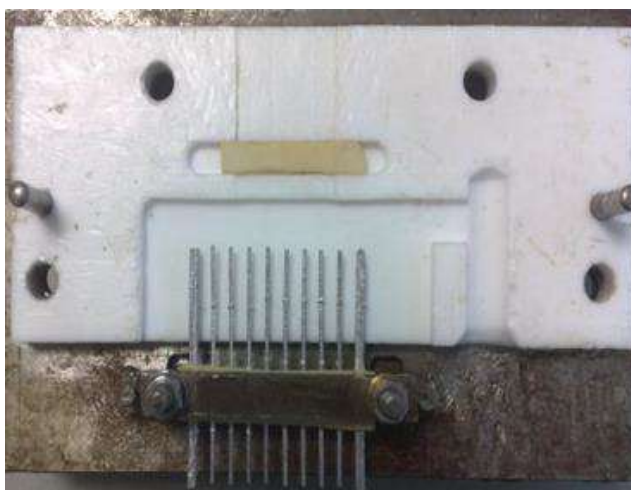
2.2.1 Stará forma

Tento druh formy je doposud používaný. Je složena ze dvou částí. První část formy slouží na upevnění žeber, na které jsou následně napájeny vodiče. Druhá část slouží k zapouzdření napájených vodičů, aby nedošlo k degradaci pomocí výparů při chemické reakci.

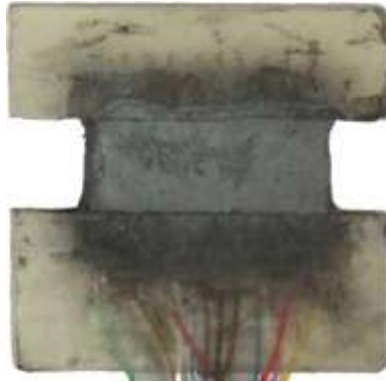
Forma je složena ze dvou silonových vybroušených zrcadlových částí. Tyto části jsou k sobě připevněny pomocí oceli a sešroubovány k sobě šrouby. Druhá část formy ze silonu je doplněna o výbrus na těsnění. To je z důvodů utěsnění vodičů, kterými by mohlo dojít k volnému vytékání epoxidové pryskyřice. Forma je vyobrazena na obrázku (obr. 17).



Obr. 16: Vlevo (ukotvení elektrod), vpravo zapouzdření napájených kontaktů



Obr. 17: Forma na zalévání zapájených vodičů [23]



Obr. 18: Napastována elektroda [23]

2.2.2 Nová forma

Nová forma je vyrobena jako prototyp na vizualizaci. První verze je vyrobena pomocí technologie 3D tisku. Tato forma je složena ze dvou hlavních částí a jedné pomocné. Hlavní části jsou od sebe jen zrcadlově otočené. K tomuto zjednodušení vedlo kvůli výrobě a následné duplikaci forem při malosériové výrobě. Obě části formy jsou doplněny o silikonové těsnění, které má zabránit vytékání epoxidové pryskyřice. Celá forma je ergonomicky tvarovaná pro snadný odchod bublin z odlitku a také kvůli zamezení vzniku vady. Jako pomocná část slouží úchopný nástroj na elektrody. Úchopný nástroj má ulehčit pájení a následné vložení neukotvených žeber do formy. Po ukotvení žeber ve formě může být tato pomůcka z formy odstraněna. Pro lepší představu je na obrázků (obr. 19) vyobrazena celá forma i s doplňky použité při celé výrobě pomocí nové formy.



Obr. 19: Vizualizace nové formy



Obr. 20: Sestava formy

2.2.3 Forma na žebrování

Nová forma je doplněna o držák žeber. Ty zaručují fixaci po dobu pájení bez stálé fixace, která byla zajištěna u staré formy a to mělo za následek zpoždění výroby. Držák žeber je možné rozebrat po dokončení a použít opětovně na další výrobu. Celý držák je vyobrazen na obrázku (obr. 21).

Pokud by držák chyběl mohl by nastat nežádáný pohyb již při montáži. Po odstranění držáku nastává volný prostor pro případné netěsnosti po určité době. Také je zaručeno jednoduché vytékání při netěsnosti a nemožnosti zanechat žebra zanesené epoxidovou pryskyřicí.



Obr. 21: Forma na držení olověných žeber

2.2.4 Držák kabelu

Držák kabelu byl vyvinut na základě předešlé špatné manipulace a opoždění nalezení chyb při pájení. Také několikrát nastalo prohození kabelů a to znamenalo vícenáklady na výrobní proces.

Držák je složen ze dvou částí. První část slouží k samotnému uchycení kabelů. Tyto kabely jsou upevněny do drážek. Pro přesné ukotvení kabelů přesně na místo je určena další část. Také tato část slouží k zajištění proti pohybu, aby nedošlo k nechtěné záměně a konečné kontrole správnému zařazení do správné kóje. Celý model je vyobrazen níže na obrázku (obr. 22). Další výhodou držáku je nejen pro roztřídění kabelů, ale i pro usnadnění pájení. Při tomto procesu je možné nastavit stanovenou délku a ta je zafixována po celý výrobní cyklus. Poté je možné držák odstranit



Obr. 22: Držák na jednotlivé žily kabelu

2.3 Zalévací materiály

Zalévací materiál je využíván při výrobě experimentálních elektrod v laboratoři. Požadavek na tento materiál je houževnatost, odolnost proti kyselinám a také nesmí nastat odtrh od olověných elektrod. Mohlo by dojít k nežádanému podleptání elektrod a tím zkreslování získaných dat z měření. Další nezbytným parametrem pro materiál musí být smáčivost, která se má blížit nulové hodnotě. To z důvodů vylučování nežádoucích látek do elektrolytu a tím by mohla nastat jeho degradace.

Pro tuto aplikaci je doposud používán materiál Epoxy 1200. Jako nový materiál byl zkoušen Polyuretan F180. Polyuretan byl zvolen k testování kvůli jeho rychlému vytvrzení a tudíž urychlení výroby článků. Proto tento materiál byl testován pro vhodnost k této aplikaci.

2.3.1 Epoxy 1200

Epoxy 1200 je epoxidová pryskyřice, u níž je materiál vhodný na všechny typy využití. Od lepení kovů, keramiky, porcelánu, dřeva, betonu a jiných materiálů. Je možné materiál vystavit řadě chemikáliím, ke kterým byl epoxid testován výrobcem. Materiál je vhodný pro styk s potravinami, jen v případě dodržení pracovního postupu.

Míchat materiál je možné jak hmotnostně, tak i objemovým procentem. Pro hmotnostní poměr je 1 : 1 gramů. U objemového měření musí být zachován poměr na 100 ml musí být použito 6,5 ml tvrdidla P11. Materiál je vytvrzován při 20 °C po dobu 24 hodin. Po odformování musí být materiál ponechán ke konečnému vytvrzení 5 – 7 dní při pokojové teplotě.

Při práci s tímto materiálem je nezbytné použití ochranných pomůcek. To je způsobeno složkami, které jsou zvláště žíravé a toxické pro životní prostředí. Následné mytí pomůcek je možné pomocí Acetonového ředidla.

Tento materiál je používán jako hlavní materiál k výrobě experimentálních elektrod. Díky jeho chemické odolnosti proti elektrolytu baterií, na který byl výrobcem testován, vlastnosti splňuje [20].



Obr. 23: Balení epoxidové pryskyřice Epoxy 1200 [21]

2.3.2 Polyuretan F 180

F 180 je univerzální dvousložková pryskyřice čistě bílé barvy, u nichž doba vytvrzení je kolem 45 minut a teplotní odolnost maximálně 98 °C. Do materiálů je možno přimíchat různé plnicí složky. Jako například minerální plnivo bílé barvy, popřípadě hliníkové plnivo. Těmito plnivy je dosažena vyšší pevnost a malá smrštitivost odlitku.

Materiál svými vlastnostmi vyhovuje pro mnoho typů aplikací. Materiál byl výrobcem podroben mnoha mechanickým a fyzikálním testům. Výsledky měření výrobcem je k nalezení na webových stránkách firmy AXON. Výrobce materiál nepodroboval chemickým zkouškám a tudíž musel být v laboratoři VUT testován.

Obě složky je možné míchat 1 : 1 hmotnostním poměrem. Při použití je nezbytné používat ochranné pomůcky a přesné pracovní pokyny dodané výrobcem. Materiál je odděleně vysoce dráždivý a může nastat podráždění pokožky i dýchacích cest.

Pro tento pokus byla zhotovena experimentální elektroda, která má být podrobena zátěžové zkoušce. Ta obnáší formaci a doformovací cykly. Po testování bude jednoznačně řečeno, jestli materiál vyhovuje požadavkům [22].



Obr. 24: Balení obou složek polyuretanu F 180 [22]

3 EXPERIMENT

Celý experiment byl zaměřen na testování článků a nového materiálu, který by mohl nahradit stávající epoxid. Tyto články byly vystaveny různým aditivům a byly pozorovány změny v chování. Celý experiment trval 160 dnů.

Experiment byl rozdělen do tří fází, v první byl pozorován vývoj stavu nabití při formaci cca. 5 dnů. Ve druhém stavu probíhaly doformovací cykly, které zvyšovali životnost článků. Po těchto dvou fázích nastal samotný experiment s aditivou. Testování s aditivou trvalo 125 dnů. Poté byl experiment ukončen pro dostatek naměřených dat a konci života článků.

3.1 Formace

Formace zkompletovaných článků probíhala v zaplaveném stavu v elektrolytu. Elektrolyt byl složen z destilované vody a kyseliny sírové o koncentrací 1,24 g/cm³. Cyklus probíhal do šedesáté hodiny, ve které bylo dosaženo požadované hodnoty 2,6 V na článek. Od této doby pokračovaly doformovací cykly.

Z obrázku (obr. 25) je patrný nabíjecí cyklus, který je složen z devíti cyklů nabíjení. Tyto cykly trvaly do doby, než bylo dosaženo zmiňované hodnoty 2,6 V na článek. Anomálie na začátku formace je způsobena příliš vysokým vnitřním odporem článku. Nedílnou součástí vnitřního odporu je špatný podíl aktivní hmoty, který z počátku zabraňuje formaci nového článku.

Po celou dobu formace je patrné zvyšování napětí na všech článcích. Po prvních 24 hodinách jde pozorovat špatné chování na článku šest. Po dalším nabíjecím dnu tento článek měl chování téměř stejné jako zbývající články. Avšak po dosažení dříve zmiňované hodnoty článek šest vykazoval špatné chování již při formaci. S tímto článkem by mohl být problém při pokračování experimentu. Mohlo by nastat chybné měření a vyhodnocení experimentu. Naopak nejlepšího nabití dosáhl článek dva. Ostatní články byly téměř shodné.

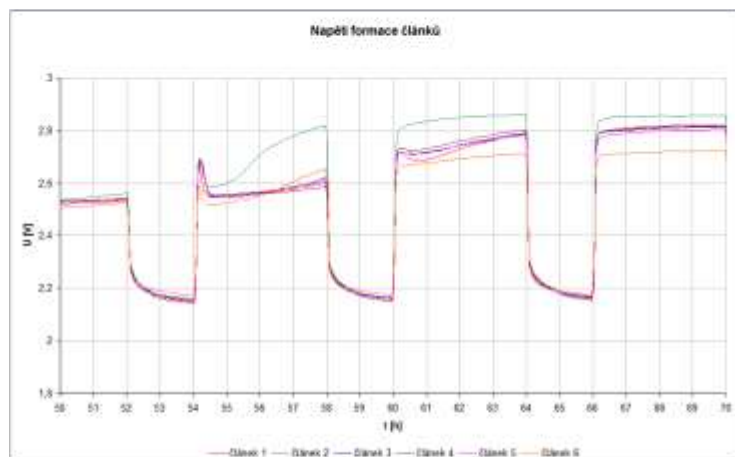
Formovací cykly průměrně trvaly 57 hodin a 30 minut. Z toho 39 hodin a 15 minut trvalo jen nabíjení. Průměrné maximální napětí bylo dosaženo 2,825 V a proud 0,1993 A. Další údaje z měření jsou k nahlédnutí v tabulce (Tab. 1).

		U = 2.6V								
		t [h]	t _{nabíjení} [h]	U _{max} [V]	I _{max} [A]	U _{min} [V]	I _{min} [mA]	E+ [V]	E- [V]	ΔE [V]
článek 1		60,43	40,43	2,836	0,2006	2,1760	1,1039	0,041	-0,044	-0,003
článek 2		55,08	37,08	2,866	0,2000	2,1723	1,2290	0,045	-0,045	0,000
článek 3		57,88	39,88	2,840	0,1992	2,1728	0,6897	0,032	-0,038	-0,006
článek 4		57,48	39,48	2,836	0,1976	2,1652	-0,3700	0,037	-0,040	-0,003
článek 5		57,63	39,63	2,826	0,1990	2,1674	0,1695	0,037	-0,040	-0,003
článek 6		56,98	38,98	2,743	0,1995	2,1745	0,4554	-0,001	-0,010	-0,011
Δ		57,58	39,25	2,825	0,1993	2,1714	0,5463	0,032	-0,036	-0,004

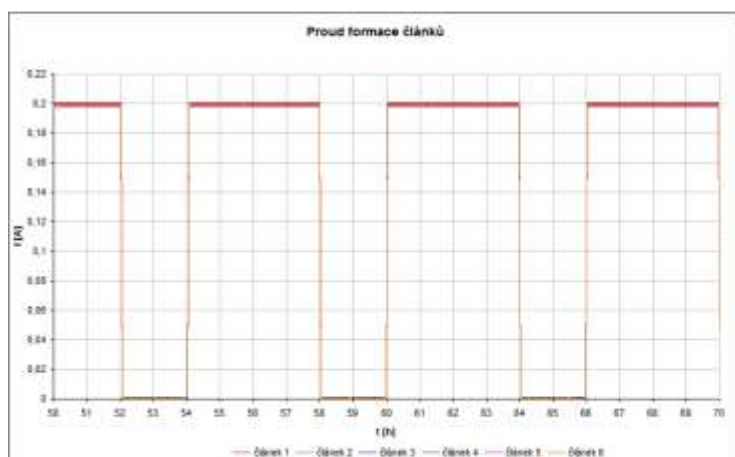
Tab. 1: Maximální a minimální hodnoty dosažené při formaci

Jak již bylo naznačeno, články šest a dva mají rozdílné chování na rozdíl od zbylých článků. Z obrázku (obr. 25) jsou patrné špičky pár článků, avšak tento jev je způsoben opožděním přepínání mezi stupni nabíjení a vybíjení. V (Obr. 25) je vyobrazeno dosažení požadovaného napětí a následné chování článků při následujících cyklech. Na rozdíl od proudu (Obr. 26), který měl u všech článků stejné chování.

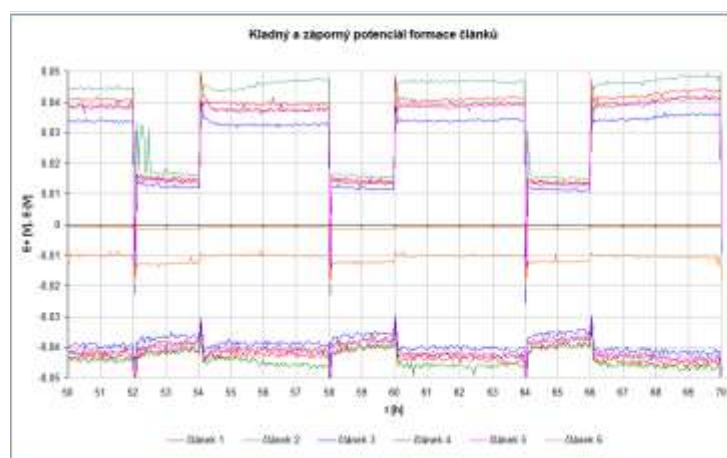
V první části formace je možné pozorovat rozkmitání potenciálů v obrázku (Obr. 27). U článků jedna, tři, čtyři a pět. Toto chování je způsobené vznikem aktivních přechodů hmotou a po uplynutí 48 hodin rozkmitání u všech článků zmizelo. Abnormální chování vykazoval článek šest. U něhož rozdíl potenciálů je záporný a může dojít ke zmíněné chybě v experimentu.



Obr. 25: Průběh napětí formace článků (50 – 70 h)



Obr. 26: Průběh proudu formace článků (50 – 70 h)



Obr. 27: Průběh kladného i záporného potenciálu článků (50 – 70 h)

3.2 Doformovací cykly

Tyto cykly slouží k dokončení nabíjení a konečné formaci akumulátoru. Doformování byly články vystaveny po dobu 28 dnů. Při doformovacím cyklování bylo zvýšeno napětí. Toto zvýšení bylo způsobeno úmyslně zvýšením napětí. Před přidáním aditiv bylo napětí opět sníženo na 2,45 V.

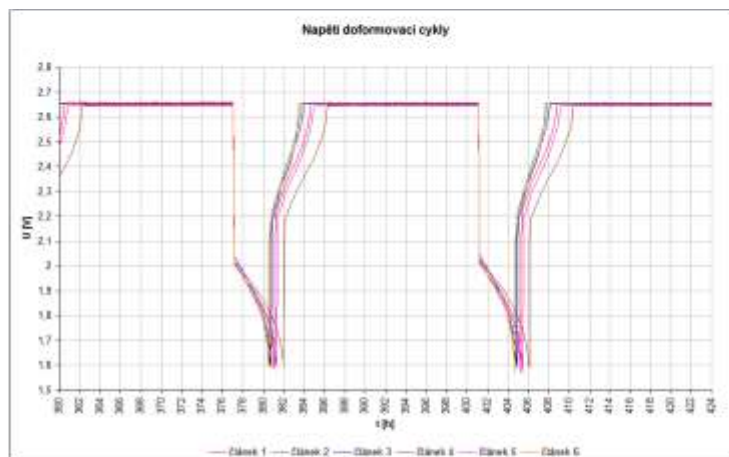
Pro přehlednost jsou v tabulce (Tab. 2) zobrazeny hodnoty maximálních a minimálních hodnot z cyklu. Průměrné hodnoty napětí před a po zvýšení jsou stejné. Také proud dosahoval stejné hodnoty. Jediná změna nastala při zvýšení, ve kterém byl nárůst proudu z jednotek miliampér na desítky miliampér.

Cyklování bylo prováděno mezi cykly maximální hodnoty 2,45 V a minimálního poklesu na hodnotu 1,56 V. Proud byl dodáván konstantně. Proudové špičky vyobrazené v obrázku (Obr. 29) jsou způsobené spínacími prvky. Po celou dobu cyklu nenastala žádná chyba, jen před snížením napětí došlo k delšímu zpoždění. Zpoždění bylo způsobeno přepojováním. Prodleva nemá vliv na celý cyklus a může být zanedbána.

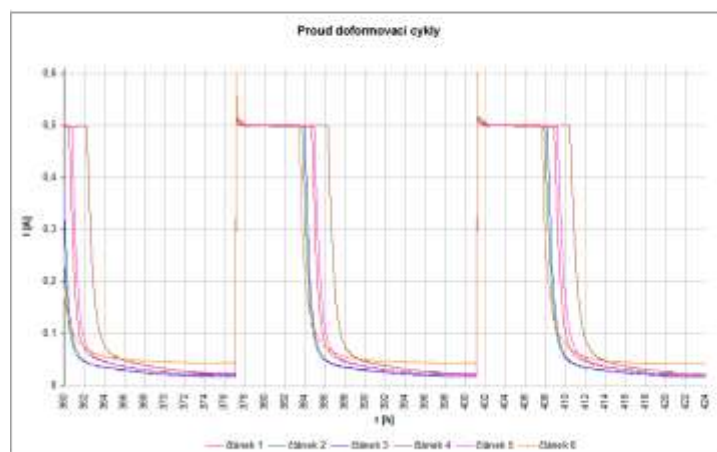
Z vývoje celého průběhu doformování je možné pozorovat změnu periody nabíjecích a vybíjecích cyklů. Dlouhým cyklováním bylo způsobeno zkrácení života článků a tím i jejich degradaci před samotným experimentem. Aditiva byly přidány kvůli tomuto jevu v pravý čas, kdy nastala degradace baterie.

interval	120 - 160		170 - 690		700 - 800				
	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{max} [V]	I_{max} [A]			
článek 1	2,448	0,4990	2,648	0,4990	2,450	0,4990			
článek 2	2,458	0,5000	2,668	0,5000	2,456	0,5000			
článek 3	2,452	0,4950	2,652	0,4950	2,454	0,4950			
článek 4	2,450	0,5000	2,650	0,5000	2,450	0,5000			
článek 5	2,446	0,5000	2,646	0,5000	2,446	0,5000			
článek 6	2,456	0,4999	2,656	0,4999	2,454	0,4999			
Δ	2,452	0,4990	2,653	0,4990	2,452	0,4990			
	U_{min} [V]	I_{min} [mA]	U_{min} [V]	I_{min} [mA]	U_{min} [V]	I_{min} [mA]			
článek 1	1,560	6,52	1,558	26,40	1,567	5,40			
článek 2	1,553	6,10	1,565	18,40	1,564	5,40			
článek 3	1,564	6,20	1,550	18,40	1,572	3,00			
článek 4	1,593	6,40	1,563	26,90	1,585	5,90			
článek 5	1,576	6,56	1,559	21,70	1,577	5,30			
článek 6	1,564	12,80	1,564	42,00	1,560	6,20			
Δ	1,568	7,43	1,560	25,63	1,571	5,20			
	E+ [V]	E- [V]	ΔE [V]	E+ [V]	E- [V]	ΔE [V]	E+ [V]	E- [V]	ΔE [V]
článek 1	2,573	-0,211	2,783	2,606	-0,203	2,809	2,528	-0,123	2,651
článek 2	2,576	-0,211	2,786	2,612	-0,212	2,824	2,522	-0,101	2,623
článek 3	2,652	-0,229	2,881	2,677	-0,213	2,889	1,924	-0,711	2,635
článek 4	1,292	-1,375	2,667	1,286	-1,392	2,678	3,073	0,483	2,590
článek 5	2,585	-0,199	2,785	2,606	-0,203	2,809	2,522	-0,101	2,623
článek 6	2,526	-0,181	2,708	2,509	-0,183	2,692	2,467	-0,073	2,541
Δ	2,367	-0,401	2,768	2,383	-0,401	2,783	2,506	-0,104	2,610

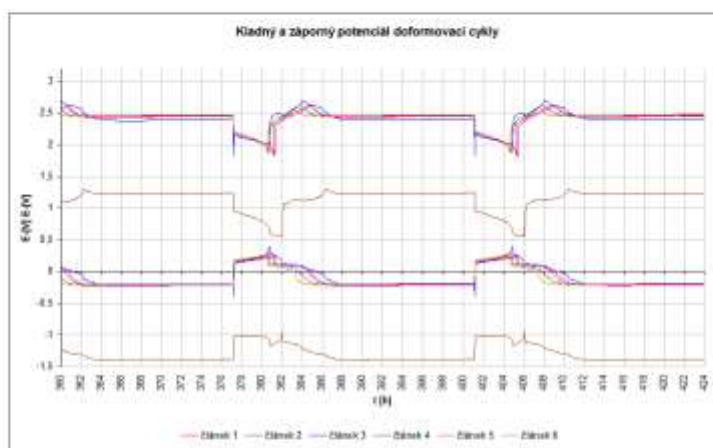
Tab. 2: Naměřené maximální a minimální hodnoty doformovacího cyklu



Obr. 28: Průběh napětí doformovacích cyklů článků (360 – 424 h)



Obr. 29: Průběh proudu doformovacích cyklů článků (360 – 424 h)



Obr. 30: Průběh kladného i záporného potenciálu článků (360 – 424 h)

3.3 Po přidání aditiv

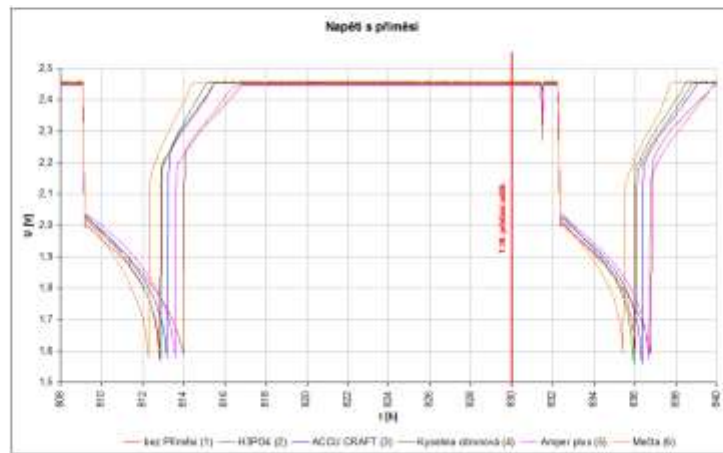
Aditiva byla přidána v dobu, ve které docházelo ke zhoršování vlastností článků. Z obrázku (Obr. 31 až Obr. 33) může být pozorován vývoj všech přísad při přidání aditiv. U (Obr. 34 až Obr. 36) naopak může být pozorován vývoj několikahodinového cyklování s různými aditivy.

Z průběhů napětí a proudu je možné pozorovat vada na článku šest. Tento článek byl vadný i při formaci. Při testu článek projevil vadu v plném rozsahu. Ve kterém došlo k velice rychlé ztrátě kapacity oproti jiným aditivům. Ty dosahovaly průměrné kolem osmdesáti cyklů. Z tohoto důvodu nemůže být měření s aditivem Mečta brán jako správný výsledek. Naopak nejlépe z vyhodnocení z grafu je patrné vylepšení chování článku po přidání aditiva Amper plus. U něhož došlo ke zlepšení. O něco hůře byl článek bez přísady. Také je možné pozorovat zrychlené vybíjení článků, než tomu bylo při doformovávacích cyklech.

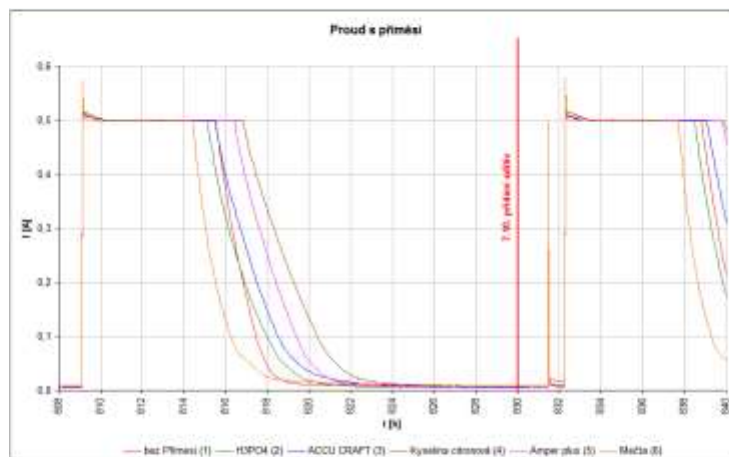
V tabulce (Tab. 3) jsou zobrazeny nejvyšší a nejnižší dosažené hodnoty při cyklování s aditivy.

		U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{min} [V]	I_{min} [mA]	E+ [V]	E- [V]	ΔE [V]
bez Příměsí	článek 1	2,456	0,500	1,521	5,940	2,564	-0,068	2,496
H3PO4	článek 2	2,457	0,482	1,568	6,890	2,518	-0,080	2,438
ACCU CRAFT	článek 3	2,454	0,490	1,540	8,000	2,542	-0,062	2,480
Kyselina citronová	článek 4	2,455	0,487	1,542	6,130	2,551	-0,080	2,471
Amper plus	článek 5	2,446	0,493	1,535	7,710	2,523	-0,081	2,442
Mečta	článek 6	2,454	0,478	1,642	8,040	2,118	-0,580	1,538
	Δ	2,454	0,488	1,558	7,118	2,469	-0,159	2,311

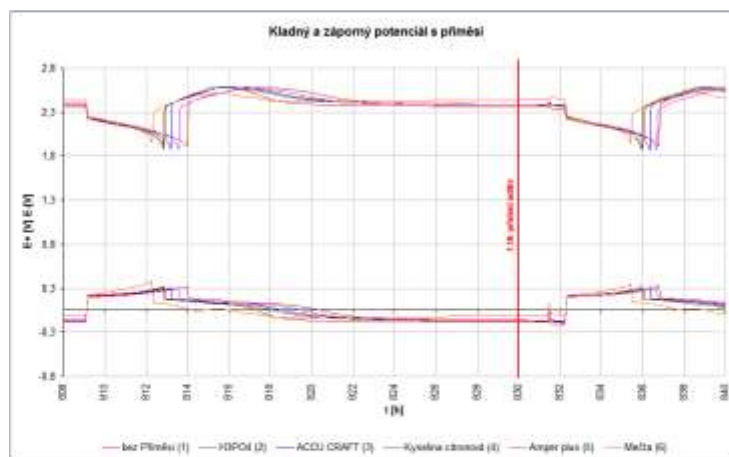
Tab. 3: Maximální a minimální hodnoty dosažené po přidání aditiv



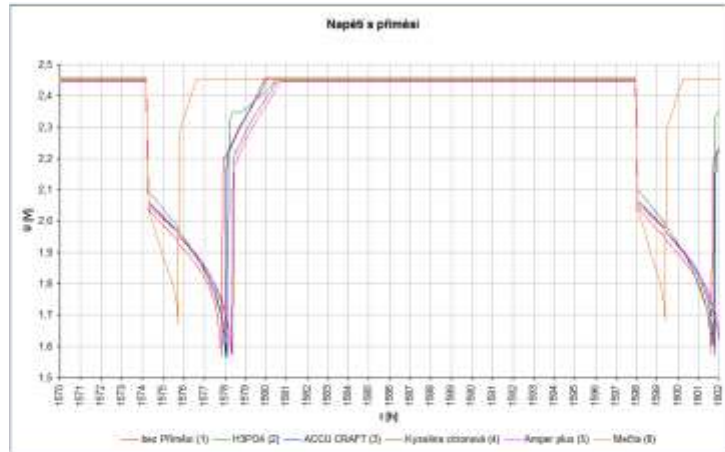
Obr. 31: Napětí při přidání aditiv (808 – 840 h)



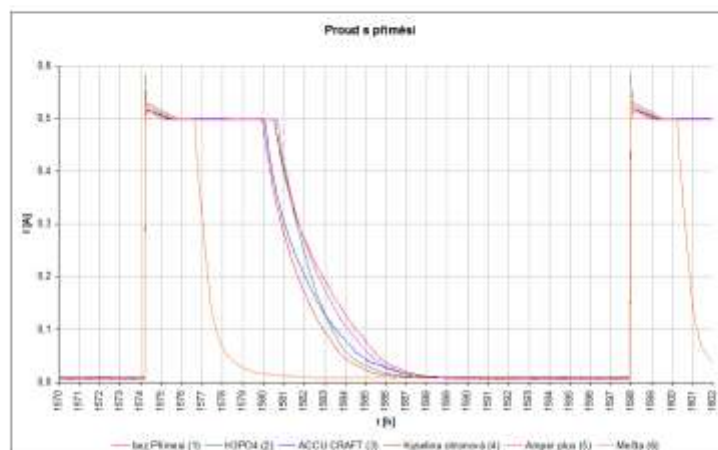
Obr. 32: Proud při přidání aditiv (808 – 840 h)



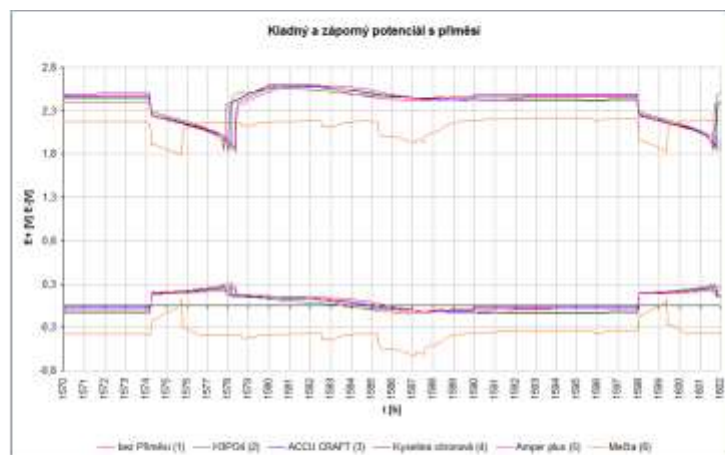
Obr. 33: Potenciály při přidání aditiv (808 – 840 h)



Obr. 34: Napětí při přidání aditiv (1570 – 1602 h)



Obr. 35: Proud při přidání aditiv (1570 – 1602 h)



Obr. 36: Potenciály při přidání aditiv (1570 – 1602 h)

3.4 Kapacita článků

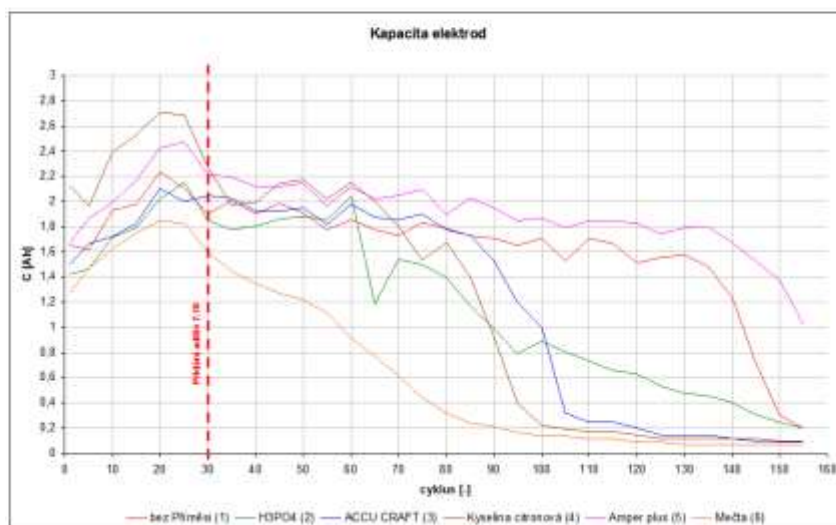
Průběh vývoje kapacity článků na době cyklů je vyobrazen v obrázku (Obr. 27). Celý graf zahrnuje formaci, dobu doformování i samotný experiment s přidáním aditiv.

Je patrný správný vývoj článků při formaci i při doformovacích cyklech. Ty měly kladný vliv na vývoj kapacity. Malý pokles kapacity před přidáním aditiv nastal z důvodů snížení napájení při doformovacím cyklu. Všechny hodnoty kapacity jsou vyobrazeny v tabulce (Tab. 4).

Po přidání aditiv dne 7. 10. byl pozorován pokles na všech člancích. Nejvíce byl poznamenán článek šest (aditivum Mečta). Hlavní rolí tohoto neúspěchu byla vada ve výrobě tohoto kusu článku, který vykazoval špatné chování již při formaci. Poté následoval i dosažený neúspěch v experimentu u tohoto aditiva. Naopak nejlépe dopadlo aditivum Amper plus, které svou kapacitu ztrácelo pomalu až do 150. cyklu. Ve kterém nastal razantní pokles. Podobně dopadl článek bez aditiva, které udrželo při životě článek až do 140. cyklu. Na rozdíl od ostatních testovaných aditiv, které průměrně zkrátily život článku na 85. cyklu. Což je téměř dvakrát méně než u článku bez aditiva.

článek č.	Příměs	C [Ah]
1	bez Příměsi	1,9039
2	H ₃ PO ₄	1,8494
3	ACCU CRAFT	2,0469
4	Kyselina citronová	2,2685
5	Amper plus	2,2191
6	Mečta	1,5950
	Δ	1,9805

Tab. 4: Dosažena kapacita článků před přidáním aditiv



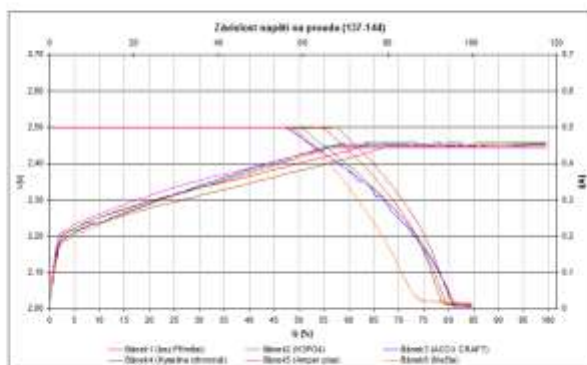
Obr. 37: Průběh vývoje kapacity všech článků

3.5 Schopnost příjmu náboje

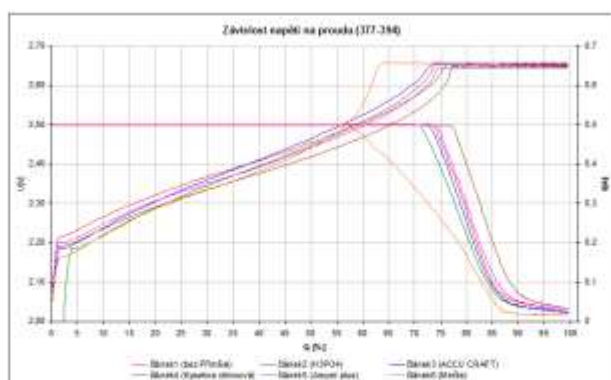
Schopnost příjmu náboje je možné procentuálně pozorovat v tabulce (Tab. 5). Nejlépe byl náboj přijímán v časovém rozmezí 377 – 394 hodině. V tomto časovém úseku náboj přijal 72 % kapacity. Po uplynutí delšího časového úseku tato schopnost nadále klesala. Příjem byl ustálen na 50 %. Z postupu dalšího vývoje grafů je možné pozorovat další snižování této schopnosti. Z důvodů stále většího opotřebení článků a negativním vlivům při elektrochemickém procesu došlo k vypadávání aktivní hmoty a narušování struktur této hmoty.

článek č.	Obdržený náboj [%]				
	137 - 144 h	377 - 394 h	737 - 758 h	809 - 826 h	1574 - 1590 h
1	55	74	57	66	53
2	50	72	43	55	56
3	47	73	56	53	49
4	58	77	59	55	48
5	49	74	57	60	53
6	55	62	55	61	49
Průměr	52	72	55	58	51

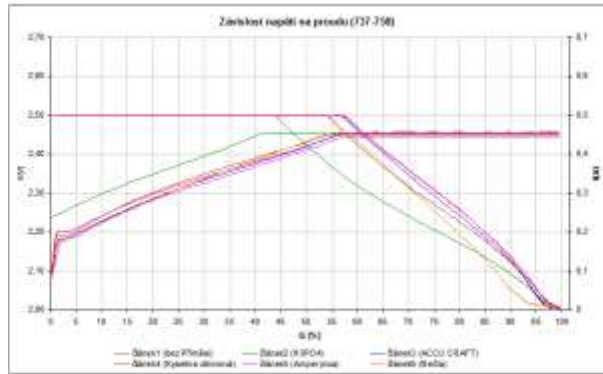
Tab. 5: Tabulka porovnání vývoje uchování náboje



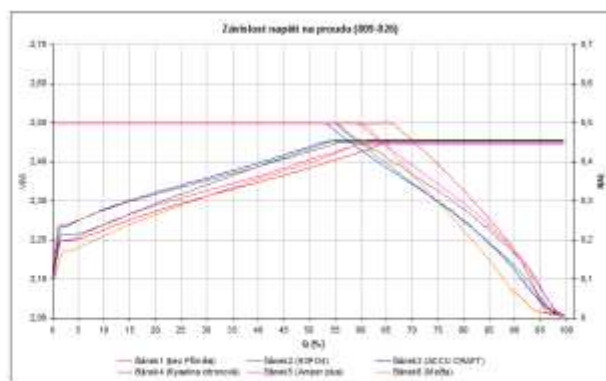
Obr. 38: Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (137 – 144 h)



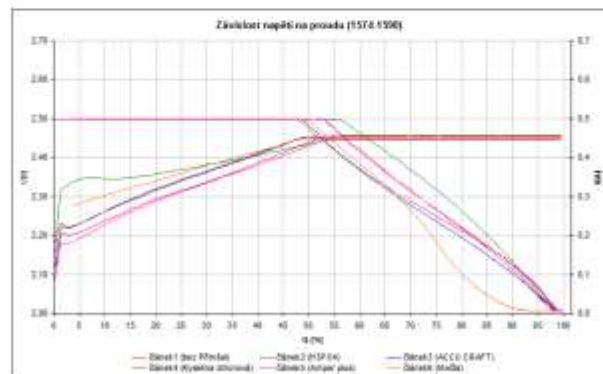
Obr. 39: Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (377 – 394 h)



Obr. 40: Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (737 – 758 h)



Obr. 41: Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (809 – 826 h)



Obr. 42: Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (1574 – 1590 h)

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala vlivem aditiv do olověných akumulátorů. Tyto aditiva měla sloužit ke zlepšení vlastností oněch zdrojů energie. Vylepšení by mělo být nadále použito v systému hybridních elektrických vozidel. Mimo jiné práce je složena ze třech praktických částí.

V první části byly vyráběny experimentální elektrody. Tyto elektrody byly zalévány epoxidovou pryskyřicí. Materiál byl zkoušen nahradit polyuretanem. U něhož nebyla dokumentace o chemických vlastnostech a tak musel proběhnout chemický test. Hned u prvního testu byla zjištěna nasákavost materiálu. Poté byla zhotovena testovací elektroda. Ta byla následně podrobena dalšímu testování jako dříve vyráběné elektrody z epoxidu. Pro zjištění maximální chemické odolnosti testovací elektrody test ještě pokračuje. Prozatím je předpokládán neúspěch i při tomto testu. Z tohoto předpokladu je epoxid používán i nadále.

V druhé části, po usouzení velkého opotřebení stávající formy, byl vyroben prototyp nové formy. Forma je dvojdílná oproti stávající čtyřdílné. Nová forma umožňuje vyrábět při jednom kroku celou experimentální elektrodu. Popřípadě je možné tuto formu duplikovat a vyrábět i desítky elektrod za den. A tím urychlit celý cyklus experimentování. Forma prozatím byla podrobena testování s epoxidovou pryskyřicí. Tento test proběhl úspěšně. V dohledné době se předpokládá otestovat formu na první odlitek elektrody a vyhodnocení vhodnosti nové formy pro tuto aplikaci. Také byly zhotoveny další přípravky pro usnadnění výroby jak pro stávající, tak i novou formou.

Ve třetí (poslední) fázi byly elektrody formovány a testovány s různými aditivami. Aditiva byla přidána dne 7. 10. 2014 a samotný test probíhal 125 dnů. Již v prvních dnech aditiva začala působit na elektrochemický proces. Z celého testování nejlépe působil Amper plus. Jako druhý nejlepší testovaný vzorek byl bez aditiva. Naopak nejhorší vlastnosti mělo aditivum Mečta. U tohoto článku byl problém už při samotné formaci a dokončovacích cyklech. Ve kterých prokazoval horší vlastnosti než u předešlých vzorků. Další testované vzorky spíše měli účinek zkrátit životnost baterie v počtu cyklů oproti testu bez aditiva. Z ekonomického hlediska by bylo nejlépe nepoužívat žádná aditiva, nebo používat výhradně aditivum Amper plus. Jiná aditiva není vhodné používat.

LITERATURA

- [1] HOBBYSTRANKY, hobbystranky [online]. [cit. 2015-11-3]. Dostupné z: <http://www.hobbystranky.cz/zajimavosti/tajemstvi-elekriny-byla-vyuzivana-uzve-staroveku>
- [2] MOBILENET, mobilenet [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/galerie/bagdadska-baterie-112719/clanek-11791>
- [3] FRONIUS, fronius. [online]. [cit. 2015-11-5]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-423BB7EB-3C262F43/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_8177.htm#.VEKkhqPgjIU
- [4] AIRSOFTCHRUDIM, airsoftchrudim akumulator [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: http://www.airsoftchrudim.cz/recenze/vyvoj_pohonnych_akumulatoru.html
- [5] BATERIA, baterie. nikl-methal akumulátor [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/niklmetalhydridovy-akumulator-nimh.htm>
- [6] BATERIA, bateria. iontovy akumulator [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/lithium---ionovy-akumulator-li-ion.htm>
- [7] VLASAK, Zdeněk. Olověné automobilové akumulátory konstrukce 2002 [online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: http://www.zvlasak.net/baterie_s.pdf
- [8] VENUGOPALAN, S. Influence of phosphoric acid on the electrochemistry of lead electrodes in sulfuric acid electrolyte containing antimony. *Journal of Power Sources*. 1993, č. 46, s. 1 - 15.
- [9] ACCU-CRAFT, accu-craft. [online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://www.accu-craft.cz>
- [10] WEI, G-L., WANG, J-R.: Electrochemical behaviour of lead electrode in sulfuric acid solution containing citric acid. [online], *Journal of Power Sources*. 1994, č. 52, s. 25 - 29.
- [11] SVETPOSTRIKOVACU, svetpostrikovac. amperplus [online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://www.svetpostrikovac.cz/cz/e-shop/738124/c51330-lubrifilm/amper-plus.html>
- [12] AUTODOPLNKY, autodoplanky [online]. [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: http://autodoplanky-uni.cz/autodoplanky/autokosmetika/lubrifilm/%3Cproduct-LFAP01%3E_amper_plus.html?ItemId=6
- [13] AUTODÍLY MJAUTO, autodily mjauto [online]. [cit. 2015-12-4]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/akumulator>
- [14] SLIDEPLAYER, slideplayer [online]. [cit. 2015-12-4]. Dostupné z: slideplayer.cz
- [15] HAMMERBAUER, J. *Olověné akumulátory*, 2006 - [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné na [www: http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf](http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf)
- [16] ATHENA, athena. Akumulator [online]. [cit. 2015-12-1]. Dostupné z: <http://athena.zcu.cz/kurzy/elch/000/HTML/23/>
- [17] VLASAK, Zdeněk. Baterie [online]. [cit. 2015-12-3]. Dostupné z: http://www.zvlasak.net/bat_opr_s.pdf/

- [18] MOTOROLA, Skoro vše o akumulátorech a nabíjení [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [19] SŠ TECHNICKÁ A ZEMĚDELSKÁ, sš technická a zemědělská [online]. [cit. 2015-12-24]. Dostupné z: http://www.tznj.cz/uploads/ucebnice_top1/files/03.html
- [20] KITTFORT, kittfort [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: http://www.kittfort.cz/products_3_5.htm
- [21] BALACOEU, balacoeu [online]. [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.barvylakypomucky.cz/lepidla-tmely-cementy-sadra-montazni-peny-dvouslozkove-vterinove/410-epoxy-1200-400g-epoxydova-pryskyrice-8595030511074.html>
- [22] EAST COAST, east coast [online]. [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: <http://www.ecfibreglasssupplies.co.uk/p-3363-axson-fastcast-pu-resin-f180-3-min.aspx>
- [23] FRYDA, D. Efekt přitlaku vyvozovaného na elektrodový systém olověného akumulátoru s experimentálními elektrodami s příměsí skelných vláken. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie, 2013. 67 s., 0 s. příloh. Vedoucí práce: doc. ing. Petr Bača, Ph.D.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

n.l.	Našeho letopočtu
př. n. l	Před našim letopočtem
cca.	Přibližně
VUT	Vysoké učení technické v Brně
3D	Trojdimenzionální
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
ml	Tisícina litru
°C	Celsiův stupeň
pH	Potenciál vodíku
Ah	Ampérhodina
V	Volt
A	Ampér
%	Procento
kg/l	Kilogram na litr
g/l	Gram na litr
g/cm ²	Gram na centimetr čtvereční
Ni – Cd	Nikl kadmium
Ni – MH	Nikl metal hydrid
Li – Pol	Lithium polymer
Li – iont	Lithium iont
C ₆ H ₈ O ₇	Kyselina citrónová
H ₃ PO ₄	Kyselina fosforečná
PbSO ₄	Síran olovnatý
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
PbO ₂	Oxid olovičitý
H ₂ O	Voda
PbO ₂	Oxid olovičitý
Pb	Olovo
SO ₄	Kyselina sírová

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Bagdádská baterie [2].....	9
Obr. 2:	Složení baterie [7]	13
Obr. 3:	Obal baterie s víkem [7]	14
Obr. 4:	Složení článku [7]	15
Obr. 5:	Aditivum ACCU CRAFT [9]	16
Obr. 6:	Aditivum Amper Plus [12]	17
Obr. 7:	Chemická reakce při formaci [14]	19
Obr. 8:	Nabíjecí a vybíjecí charakteristika [15].....	20
Obr. 9:	Charakteristika nabíjení stálým proudem [4]	21
Obr. 10:	Charakteristika nabíjení konstantním napětím [16].....	22
Obr. 11:	Graf pulsního nabíjení [17].....	23
Obr. 12:	Povrch desky akumulátoru bez sulfatace. 500 x zvětšeno [19].....	24
Obr. 13:	Začínající sulfatace. 500 x zvětšeno [19]	25
Obr. 14:	Velká sulfatace zvětšení 550x [19]	25
Obr. 15:	Průmyslová výroba olověných akumulátorů [17].....	27
Obr. 16:	Vlevo (ukotvení elektrod), vpravo zapouzdření napájených kontaktů	29
Obr. 17:	Forma na zalévání zapájených vodičů [23]	29
Obr. 18:	Napastována elektroda [23]	30
Obr. 19:	Vizualizace nové formy.....	31
Obr. 20:	Sestava formy	31
Obr. 21:	Forma na držení olověných žeber	32
Obr. 22:	Držák na jednotlivé žily kabelu	32
Obr. 23:	Balení epoxidové pryskyřice Epoxy 1200 [21]	33
Obr. 24:	Balení obou složek polyuretanu F 180 [22].....	34
Obr. 25:	Průběh napětí formace článků (50 – 70 h).....	37
Obr. 26:	Průběh proudu formace článků (50 – 70 h)	37
Obr. 27:	Průběh kladného i záporného potenciálu článků (50 – 70 h)	37
Obr. 28:	Průběh napětí doformovacích cyklů článků (360 – 424 h).....	39
Obr. 29:	Průběh proudu doformovacích cyklů článků (360 – 424 h).....	39
Obr. 30:	Průběh kladného i záporného potenciálu článků (360 – 424 h).....	39
Obr. 31:	Napětí při přidání aditiv (808 – 840 h).....	41

Obr. 32:	Proud při přidání aditiv (808 – 840 h).....	41
Obr. 33:	Potenciály při přidání aditiv (808 – 840 h).....	41
Obr. 34:	Napětí při přidání aditiv (1570 – 1602 h).....	42
Obr. 35:	Proud při přidání aditiv (1570 – 1602 h).....	42
Obr. 36:	Potenciály při přidání aditiv (1570 – 1602 h).....	42
Obr. 37:	Průběh vývoje kapacity všech článků	43
Obr. 38:	Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (137 – 144 h).....	44
Obr. 39:	Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (337 – 394 h).....	44
Obr. 40:	Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (737 – 758 h).....	45
Obr. 41:	Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (809 – 826 h).....	45
Obr. 42:	Závislost napětí a proudu doformovacích cyklů (1574 – 1590 h).....	45

SEZNAM TABULEK

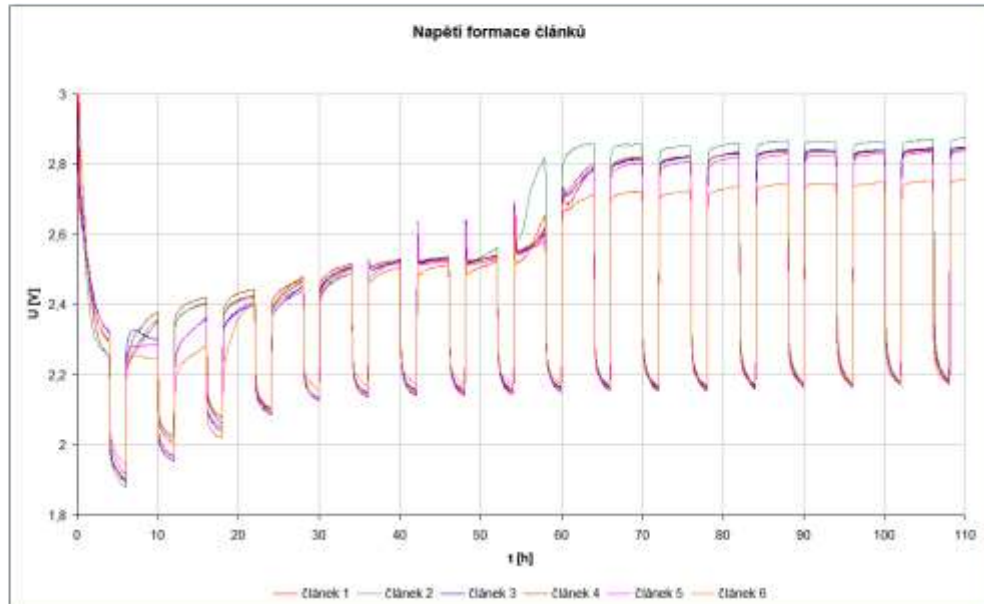
Tab. 1:	Maximální a minimální hodnoty dosažené při formaci	35
Tab. 2:	Naměřené maximální a minimální hodnoty doformovacího cyklu	38
Tab. 3:	Maximální a minimální hodnoty dosažené po přidání aditiv	40
Tab. 4:	Dosažena kapacita článků před přidáním aditiv	43
Tab. 5:	Tabulka porovnání vývoje uchovávání náboje	44

SEZNAM PŘÍLOH

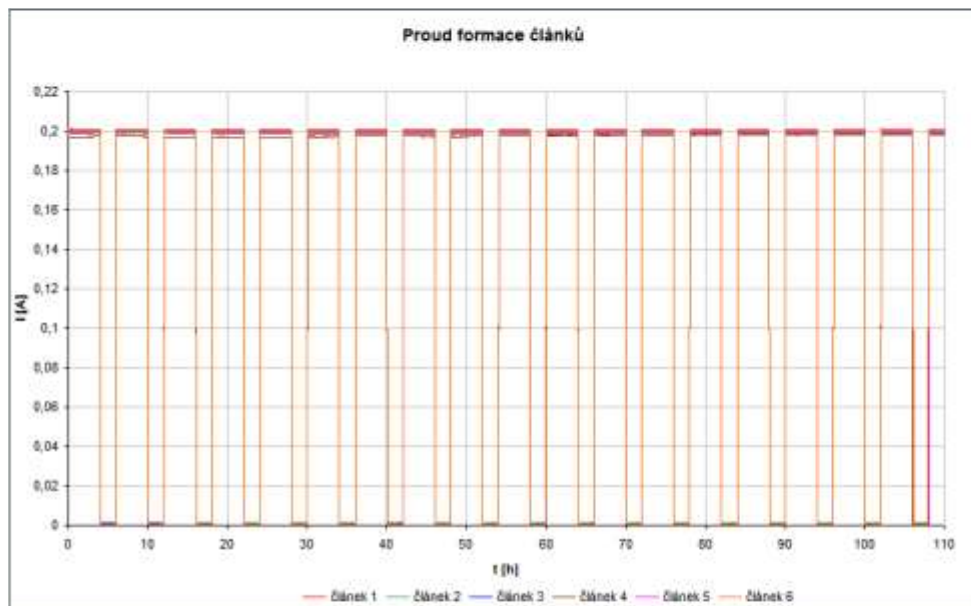
A Grafy Experimentu	54
A.1 Formace	54
A.2 Doformovací cykly.....	56
A.3 Po přidání aditiv	58

A GRAFY EXPERIMENTU

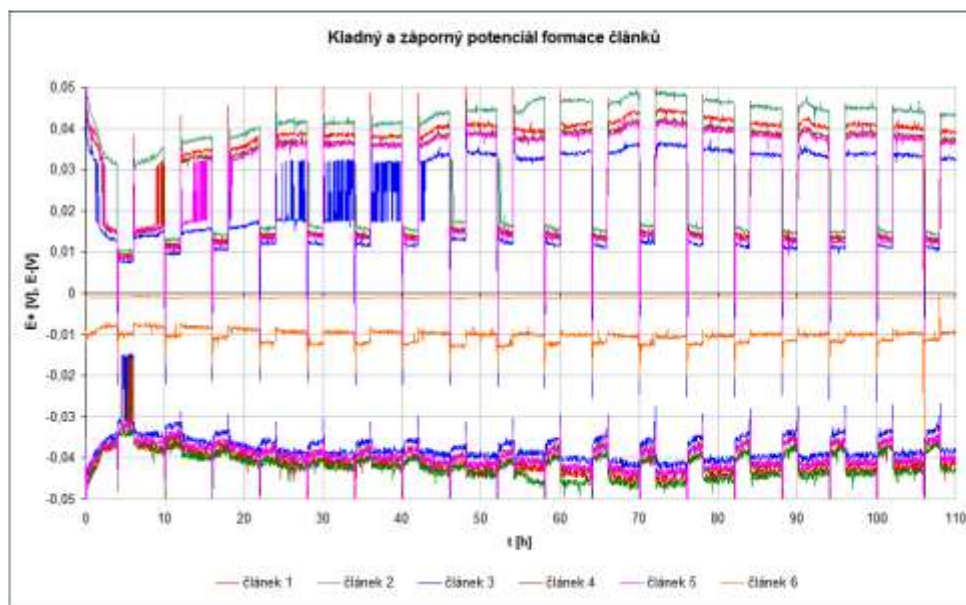
A.1 Formace



Průběhy napětí formace (0 – 110 h)

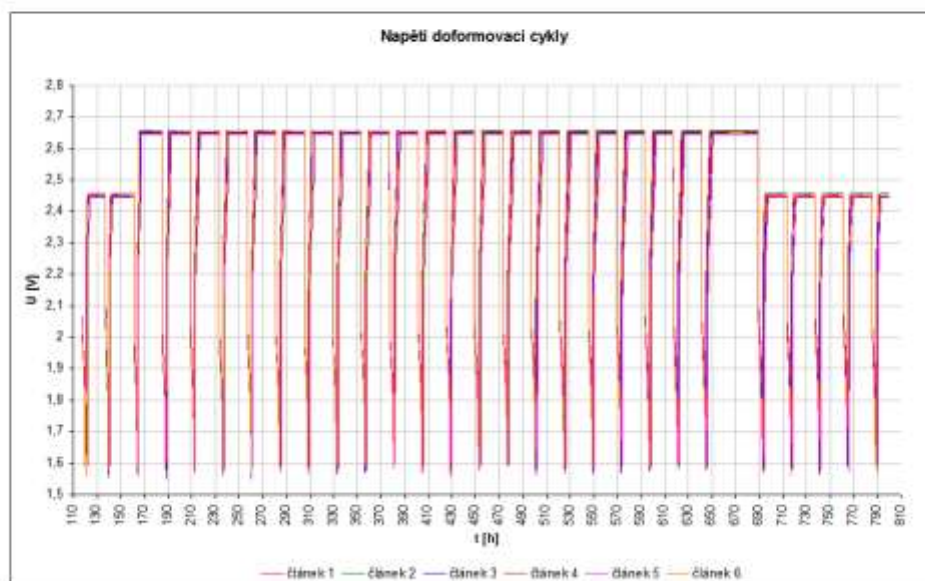


Průběhy proudů formace (0 – 110 h)

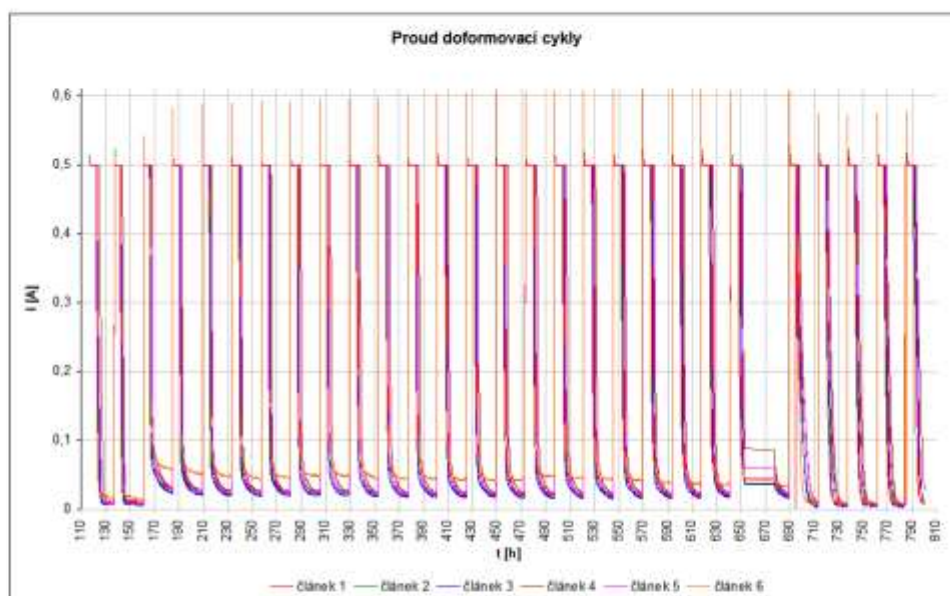


Průběhy obou potenciálů formace (0 – 110 h)

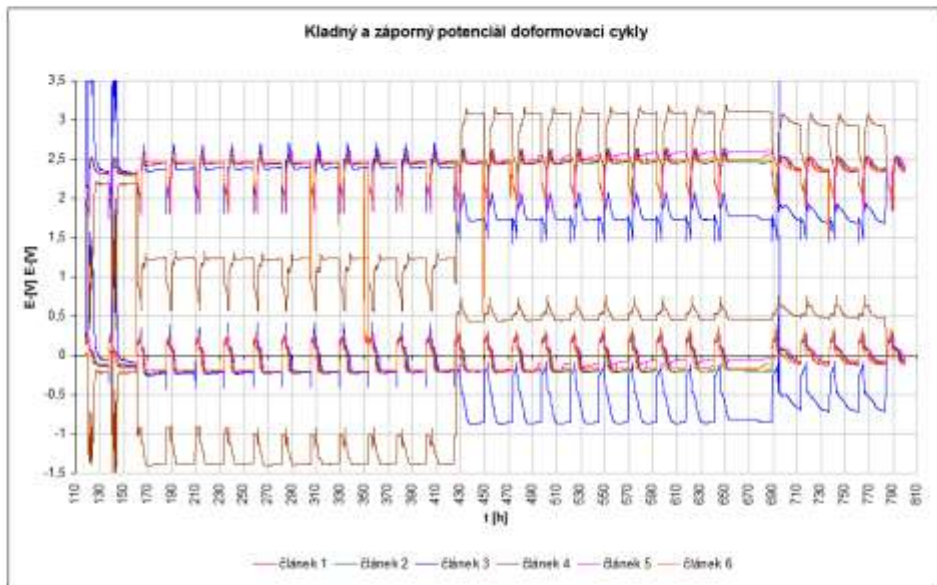
A.2 Doformovací cykly



Průběhy napětí doformovacích cyklů (110 – 810 h)

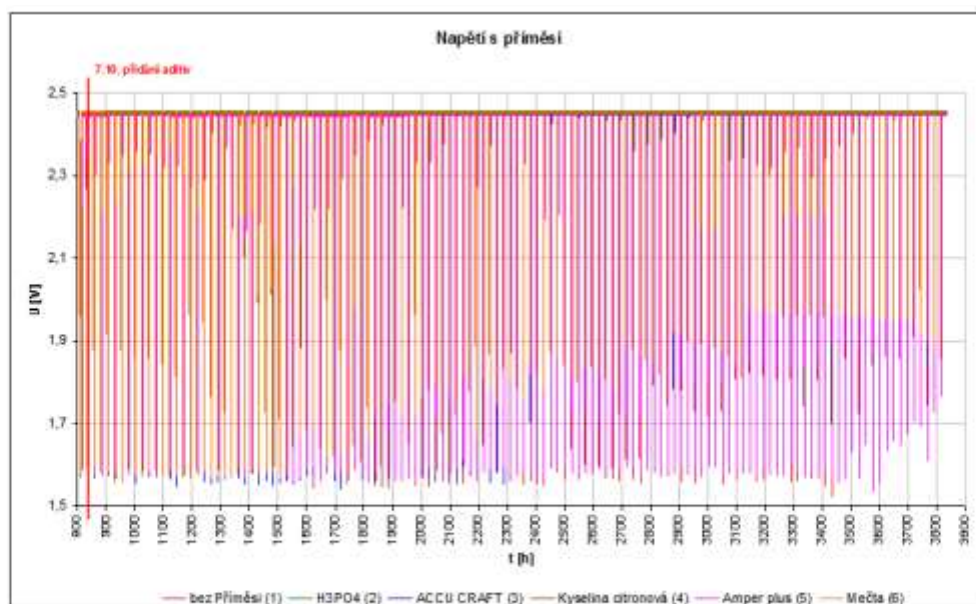


Průběhy proudů doformovacích cyklů (110 – 810 h)

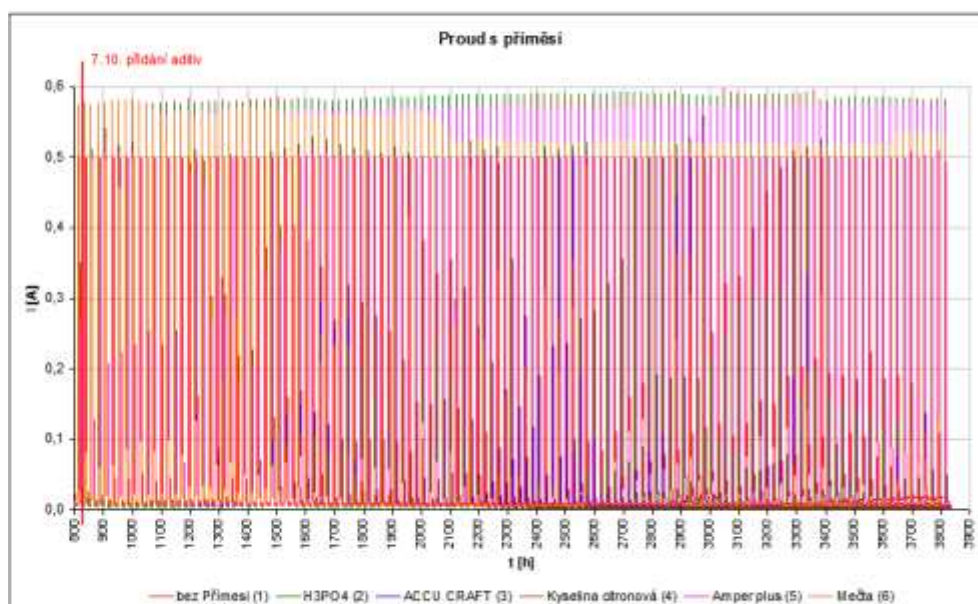


Průběhy obou potenciálů doformovacích cyklů (110 – 810 h)

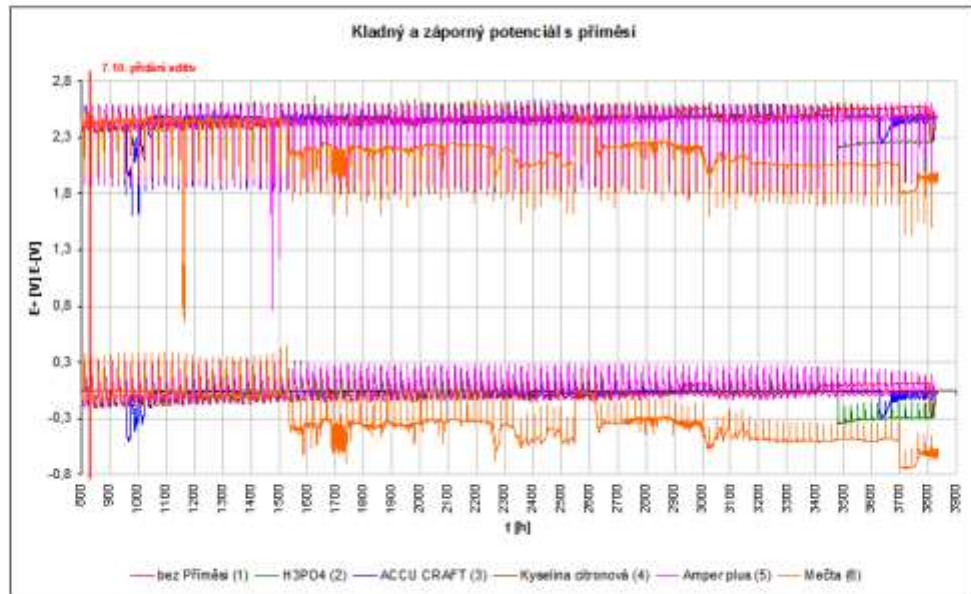
A.3 Po přidání aditiv



Průběhy napětí doformovacích cyklů (800 – 3900 h)



Průběhy proudů doformovacích cyklů (800 – 3900 h)



Průběhy obou potenciálů doformovacích cyklů (800 – 3900 h)