

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektrických pohonů a trakce



Návrh pracoviště pro testování trakčních akumulátorů

Diplomant:
Vedoucí práce:

Bc. Maksym Razov
Ing. Karel Buhr, CSc.

Praha, 2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

diplomant: Bc. Razov Maksym

Návrh pracoviště pro testování trakčních akumulátorů

1. Seznámení s problematikou, základní fyzikální principy, rešerše hlavních výrobců
2. Analýza charakteristik základních typů moderních akumulátorů
3. Návrh koncepce pracoviště pro automatizovaný provoz, sběr a analýzu dat
4. Realizace pracoviště 0-150 V, 200 A
5. Experimentální ověření funkce na dva vybrané typy trakčních akumulátorů
6. Analýza shromážděných dat, kapacita, životnost
7. Zhodnocení, závěr

L1 CENEK, Miroslav a kolektiv. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. 248s. ISBN 80-86534-03-0

L2 Haze Battery CompanyLtd. Sealed Lead Acid 6 & 12 Volt Monobloc 5 Year Range Datasheet [online]. Dostupný na <http://www.hazebattery.com/HZS/default.htm>

L3 Kozumplík Josef, Akumulátory vozidel, Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1977

L4 Manuály Easy relé MOELLER, Dostupné na <http://www.easy-mfd.cz>

L5 Manuály PLC automat MOELLER, Dostupné na <http://www.moeller.cz>

V Praze 18.09.2013

Karel Buhr

Prohlášení

Prohlašuji, že zadanou diplomovou práci na téma “Návrh pracoviště pro testování trakčních akumulátorů” jsem vypracoval samostatně pouze s použitím uvedené literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Souhlasím s použitím díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském.

V Praze. 2014

Bc. Maksym Razov

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Buhrovi, CSc. za jeho trpělivost, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování projektu. Velké poděkování Ing. Radku Fajtlovi za jeho pomoc a pochopení.

V Praze dne:

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem pracoviště pro testování trakčních akumulátorů. V první a druhé kapitole rozebírám stav trhu elektromobilů a konstrukce i analýzu charakteristik trakčních akumulátorů ve světě. Dále v práci rozebírám schéma zapojení pracoviště pro cyklické nabíjení/vybíjení akumulátorů. Zajímám se především o testování kapacity akumulátorů. Nejdůležitější částí této práce je zjistit stav baterií, jejich kapacitu s dopady na životnost. Za tímto účelem provádím rovněž analýzu vnitřního odporu a samovybíjení baterií.

Abstract

This thesis deals with design of department to test the traction batteries. In the first and second chapter I analyze the state of the market of electric vehicles and construction and analysis of the characteristics of traction batteries in the world. Further in the work I analyze the wiring diagram for cyclic charging / discharging batteries. I'm interested in testing the battery capacity. The most important part of this work is to determine the condition of the batteries, their capacity to impact on life. To this aim, I perform also analyze of internal resistance and self-discharge batteries.

Obsah

Úvod	1
Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	4
1. Seznámení s problematikou, základní fyzikální principy, rešerše hlavních výrobců.....	6
1.1. Seznámení s problematikou	6
1.1.1. Vývoj elektrických vozidel v rozvinutých zemích světa	6
1.1.2. Informace o moderních typech elektromobilů	7
1.1.3. Srovnání elektromobilů hlavních výrobců.....	9
1.2. Základní fyzikální principy.....	12
1.2.1. Možnosti ukládání elektrické energie	12
1.2.1.1. Přímá akumulace elektrické energie	12
1.2.1.2. Nepřímá akumulace elektrické energie	13
1.2.2. Typy elektrických článků.....	13
1.2.2.1. Primární články	13
1.2.2.2. Sekundární články.....	13
1.2.3. Nikl-kadmiový (NiCd) akumulátor	15
1.2.4. Nikl-Metalhydridový (NiMH) akumulátor	16
1.2.5. Lithiové akumulátory.....	17
1.2.5.1. Li-iontový akumulátor.....	17
1.2.5.2. Li – polymerový akumulátor	18
1.2.5.3. Perspektivní Lithiové akumulátory	18
1.2.6. Olověný akumulátor	19
1.2.6.1. Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů	19
1.2.6.2. Rozdělení olověných akumulátorů podle účelu.....	19
1.2.6.3. Rozdělení olověných akumulátorů podle způsobu údržby.....	20
1.2.6.4. Rozdělení olověných akumulátorů podle elektrolytu	21
1.2.6.5. Výroba akumulátoru	25
1.2.6.6. Rekombinace plynů.....	26
1.2.6.7. Provozní teplota	26
1.3. Rešerše hlavních výrobců	27
1.3.1. Akumulátory Banner Batterien 54409 a AKUMA.....	27
1.3.2. Akumulátory Fiamm UMBT 105	28
1.3.3. Akumulátory Banner Batterien GiVC 12-80	29
1.3.4. Srovnání akumulátorů.....	30
1.3.5. Budoucnost.....	30
2. Analýza charakteristik základních typů moderních akumulátorů	32
2.1. Nabíjecí charakteristiky	33
2.1.1. Charakteristika I	33
2.1.2. Nabíjecí charakteristiky – IUa.....	34
2.1.3. Charakteristika W	35

2.1.4. Charakteristika U	35
2.1.5. Další nabíjecí charakteristiky	36
2.1.6. Rychlonabíjení.....	36
2.1.7. Pulzní nabíjení.....	37
2.1.8. Přebíjení	37
2.1.9. Neúplné nabíjení.....	37
2.2. Vybíjecí charakteristiky.....	37
2.2.1. Hluboké vybíjení	38
2.2.2. Závislost pracovního napětí článku na teplotě	38
2.2.3. Samovybíjení.....	39
2.2.4. Sulfátace.....	39
2.3. Kapacita akumulátoru.....	40
2.4. Analýza základních charakteristik akumulátorů.....	41
3. Návrh koncepce pracoviště pro automatizovaný provoz, sběr a analýzu dat	42
3.1. Výběr technických prostředků a návrh systému	42
3.1.1. Vstupní měnič	44
3.1.2. Usměrňovačový transformátor.....	45
3.1.3. Usměrňovač.....	45
3.1.4. Zapojení řídicích obvodů	46
3.2. Zapojení pro experimentální ověření funkce pracoviště	46
3.2.1. Řízení napětí na vstupu (autotransformátor).....	47
3.2.2. Jednofázový transformátor.....	48
3.2.3. Usměrňovač.....	49
3.2.4. Zapojení řídicího obvodu	49
3.2.5. Testované baterie.....	51
3.2.6. Měřicí přístroje	51
3.2.6.1. Datalogger	52
3.2.6.2. Panelový ampérmetr Ax.....	52
3.2.7. Další použití prostředky.....	53
3.2.7.1. Akumulátor pro napájení řídicího relé	53
3.2.7.2. Ochrany	53
4. Realizace pracoviště	53
5. Experimentální ověření funkce na dva vybrané typy trakčních akumulátorů.....	55
5.1. Pracovní plán	55
5.2. Doporučení postupu měření.....	56
5.3. Kapacitní zkoušky olověných akumulátorů.....	57
5.3.1. Vybíjení za předepsaných podmínek.....	57
6. Analýza shromážděných dat, kapacita, životnost.....	58
6.1. Měření vnitřního odporu olověného akumulátoru	58
6.1.1. Schéma zapojení.....	59
6.1.2. Naměřené hodnoty.....	60

6.2. Kapacitní zkoušky akumulátorů.....	62
6.2.1. Účinnost procesu nabíjení/vybíjení	63
6.2.2. Srovnání účinnosti u akumulátorů stejné kapacity.....	73
6.3. Přechodný jev.....	75
6.4. Samovybíjení	76
7. Zhodnocení, závěr	79
Seznam použité literatury	80
Slovník a zkratky	82
Příloha 1.....	86

Úvod

Cíle a charakteristika

Ve své práci mám navrhnout pracoviště pro testování trakčních akumulátorů. Toto pracoviště bude provozováno připojením k distribuční síti 400V. Následně má být provedena analýza charakteristik testovaných akumulátorů.

Návrh metodiky testů má být zaměřen zejména na nabíjení trakčních akumulátorů. Práce má obsahovat rovněž rešerši a analýzu charakteristik základních typů moderních akumulátorů, jejich konstrukce, základních fyzikálních principů a vývojových tendencí hlavních výrobců.

Návrh vlastního pracoviště prováděný v rámci diplomové práce je zaměřen na modulové uspořádání uspořádané do pěti základních bloků resp. komponent:

- blok regulace napětí – autotransformátor / fázově řízený měnič
- vlastní usměrňovačový přepojitelný transformátor
- neřízený 6 pulzní resp. 2 pulzní usměrňovač
- blok ovládání a řízení – easy relé / LPC automat
- blok ochran

Dalším cílem je experimentální ověření funkce pracoviště realizované na třech typech akumulátorů které má katedra k dispozici a to startovací, staniční, trakční. Poslední a hlavní bod práce pak je analýza shromážděných dat.

Seznam obrázků

Obr. č. 1.1: Počet narůstu elektromobilů podle planování EVI Global.....	7
Obr. č. 1.2: Srovnání elektromobilů hlavních výrobců.	9
Obr. č. 1.3: Srovnání vlastností v současnosti používaných trakčních akumulátorů.....	10
Obr. č. 1.4: Perspektivní principy trakčních akumulátorů.....	11
Obr. č. 1.5: Superkapacitor BOOSTCAP P270.	12
Obr. č. 1.6: Typy elektrických článků.	14
Obr. č. 1.7: Konstrukce Nikl-kadmiové (NiCd) baterie	15
Obr. č. 1.8: Konstrukce Li-ion baterie.....	17
Obr. č. 1.9: Konstrukce a proudotvorná reakce Li-Ion.....	19
Obr. č. 1.10: Rozdělení olověné akumulátorů podle typů	19
Obr. č. 1.11: Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů podle účelu použití [L1]	20
Obr. č. 1.12: Konstrukce klasického olověného akumulátoru	23
Obr. č. 1.13: Akumulátorová baterie s robustní konstrukce.	23
Obr. č. 1.14: Proudotvorná reakce.....	24
Obr. č. 1.15: Výroba akumulátorů.....	25
Obr. č. 1.16: Rekombinace plynů s přetlakovým ventilem.	26
Obr. č. 1.17: Konstrukce akumulátoru firmy AKUMA.	27
Obr. č. 1.18: Konstrukce baterie typu FIAMM UMBT 105.....	28
Obr. č. 1.19: Perspektiva ideální baterie Pellion ve srovnání s Li-ion akumulátorem.....	31
Obr. č. 2.1: Nabíjecí a vybíjecí křivky olověného akumulátoru.	32
Obr. č. 2.2: Nabíjecí charakteristika I_o	34
Obr. č. 2.3: Nabíjecí charakteristika I_{Ua}	34
Obr. č. 2.4: Nabíjecí charakteristika W_o	35
Obr. č. 2.5: Závislost vybíjecího proudu na čase.....	37
Obr. č. 2.6: Vybíjecí křivka při různých teplotách baterie.	38
Obr. č. 2.7: Sulfatace.	39
Obr. č. 2.8: Závislost kapacity na teplotě.	40
Obr. č. 3.1: Koncepce pracoviště - obvodové schema.....	42
Obr. č. 3.2: Dimenzování transformátoru a usměrňovače, 2 x šestipulzní zapojení.	43
Obr. č. 3.3: Schema a dimenzování transformátoru a usměrňovače, v zapojení jako zdroj buzení.....	44
Obr. č. 3.4: Měnič RAM 28 3x 400V, 3 x 100 A.....	44
Obr. č. 3.5: Usměrňovač MT70KB SERIES	45

Obr. č. 3.6: Zapojení relé do ovládacího obvodu (vstupy a výstupy).....	46
Obr. č. 3.7: Koncepce pracoviště - obvodové schema 2.....	47
Obr. č. 3.8: Schéma dvoupulzního můstkové zapojení	47
Obr. č. 3.9: Autotransformátor ZPA Prešov, RA 10.	48
Obr. č. 3.10: Zapojení jednofázového transformátoru.....	48
Obr. č. 3.11: Jednofázový transformátor.	49
Obr. č. 3.12: Dioda skkd105f08	49
Obr. č. 3.13: Rele Easy 512-DC-RCX.....	50
Obr. č. 3.14: Obvod nabíjení/vybíjení v Easy rele.	50
Obr. č. 3.15: Řídicí obvod easy-rele.....	51
Obr. č. 3.16: Výpočet bočníku pro ampermetr.....	52
Obr. č. 4.1: Pracoviště podle obr. č. 3.7.....	53
Obr. č. 6.1: Vnitřní odpor akumulátora.	58
Obr. č. 6.2: Schéma zapojení měření vnitřní odpor akumulátora.	59
Obr. č. 6.3: Cyklus Banner Batterien 544 09 (1).....	62
Obr. č. 6.4: Jeden cykl Banner Batterien 544 09 (1).....	62
Obr. č. 6.5: Účinnost Banner Batterien 544 09 (1)	64
Obr. č. 6.6: Cyklus Banner Batterien 544 09 (3).....	65
Obr. č. 6.7: Jeden cykl Banner Batterien 544 09 (3).....	65
Obr. č. 6.8: Účinnost baterie Banner Batterien544 09 (3).....	66
Obr. č. 6.9: Jeden cykl FIAMM UMBT (1).....	67
Obr. č. 6.10: Účinnost FIAMM UMBT (1).....	68
Obr. č. 6.11: Cyklus FIAMM UMBT (2).....	68
Obr. č. 6.12: Jeden cykl FIAMM UMBT (1).....	69
Obr. č. 6.13: Účinnost FIAMM UMBT (2).....	70
Obr. č. 6.14: Cyklus GiVC 12 80.....	71
Obr. č. 6.15: Účinnost GiVC 12 80.....	72
Obr. č. 6.16: Účinnost akumulátorů Banner Batterien 544 09.....	73
Obr. č. 6.17: Účinnost akumulátorů Fiamm UMBT 105.....	73
Obr. č. 6.18: Účinnost akumulátorů GiVC 12 80.....	74
Obr. č. 6.19: Přejídný jev.	76
Obr. č. 6.20: Samovybíjení akumulátoru GiVC 12 80.....	77
Obr. č. 6.21: Samovybíjení akumulátoru GiVC 12 80(mV/den).....	78

Seznam tabulek

Tab. č. 1.1: Počet elektromobilů a nabíjecích stanic v hlavních zemích světa	6
Tab. č. 1.2: Volkswagen e-Golf – jízdní vlastnosti	7
Tab. č. 1.3: Parametry nabíjecí stanice	7
Tab. č. 1.4: BMW – jízdní vlastnosti	8
Tab. č. 1.5: Tesla Model S – jízdní vlastnosti	8
Tab. č. 1.6: Jízdní vlastnosti nejprodávanejší elektromobilů 2012 roku	8
Tab. č. 1.7: Porovnání superkondenzátoru a olověného akumulátoru	12
Tab. č. 1.8: Parametry NiCd článku	15
Tab. č. 1.9: Parametry NiCd baterie	15
Tab. č. 1.10: Parametry NiMH článku	16
Tab. č. 1.11: Parametry NiMH baterie	16
Tab. č. 1.12: Parametry Li-iontové akumulátoru	17
Tab. č. 1.13: Parametry Li-iontové baterie	17
Tab. č. 1.14: Parametry Li-pol akumulátoru	18
Tab. č. 1.15: Parametry Li-pol baterie	18
Tab. č. 1.16: Srovnávací charakteristiky olovených akumulátorů	20
Tab. č. 1.17: Parametry Pb akumulátoru	22
Tab. č. 1.18: Parametry Pb baterie	22
Tab. č. 1.19: Závislost nabíjení akumulátoru od teploty	26
Tab. č. 1.20: Parametry: Fiamm Monolite UMBT 105	28
Tab. č. 1.21: Parametry: Banner GiVC 12-80	29
Tab. č. 1.22: Srovnání sekundárních článků	30
Tab. č. 2.1: Závislost napětí na stavu nabití olovených akumulátorů	36
Tab. č. 2.2: Parametry olovených akumulátorů různých technologie	41
Tab. č. 3.1: Parametry usměrnění dle obr.č.3.2	43
Tab. č. 3.2: Parametry měniče	44
Tab. č. 3.3: Parametry transformátoru	45
Tab. č. 3.4: Parametry usměrňovače MT70KB SERIES	45
Tab. č. 3.5: Parametry Easy rele 512	46
Tab. č. 3.6: Parametry autotransformátoru	47
Tab. č. 3.7: Parametry jednofázového transformátoru TR2 dle obr. č. 3.8	48
Tab. č. 3.8: Parametry modulů SKKD 105F08	49
Tab. č. 3.9: Parametry Easy rele serie 512	50

Tab. č. 3.10: Akumulátor Banner Batterien 544 09	51
Tab. č. 3.11: Akumulátor Akuma Comfort.....	52
Tab. č. 3.12: Akumulátor Fiamm UMBT 105	52
Tab. č. 3.13: Akumulátor Banner GiVC 12 -80.....	52
Tab. č. 5.1: Napětí naprázdno u akumulátoru VRLA a GEL	56
Tab. č. 5.2: Závislost kapacity na vybíjecím proudu u akumulátoru GiVC 12-80	57
Tab. č. 6.1: Proud vybíjení akumulátorů	59
Tab. č. 6.2: Naměřené hodnoty vnitřního odporu	61
Tab. č. 6.3: Banner Batterien 1	63
Tab. č. 6.4: Účinnost vybíjení -nabíjení	64
Tab. č. 6.5: Účinnost vybíjení/nabíjení Banner Batterien 544 09 1	64
Tab. č. 6.6: Banner Batterien 3	65
Tab. č. 6.7: Koeficienty vybíjení/nabíjení Banner Batterien 544 09.....	66
Tab. č. 6.8: FIAMM UMBT 105 (1)	67
Tab. č. 6.9: Koeficienty vybíjení/nabíjení FIAMM UMBT (1).....	68
Tab. č. 6.10: FIAMM UMBT 105 (2)	69
Tab. č. 6.11: Koeficienty vybíjení/nabíjení FIAMM UMBT (2).....	70
Tab. č. 6.12: GiVC 12 80.....	71
Tab. č. 6.13: GiVC 1280 (2)	72
Tab. č. 6.14: Závislost vybíjecí doby a proudu na získané kapacitě	74
Tab. č. 6.15: Samovybíjení akumulátorů.....	77
Tab. č. 6.16: Ztrata kapacity při samovybíjení	78

1. Seznámení s problematikou, základní fyzikální principy, řešerše hlavních výrobců.

1.1. Seznámení s problematikou.

1.1.1. Vývoj elektrických vozidel v rozvinutých zemích světa.

Sborník EVI Global EV Outlook 2013 [L1] poskytuje přehled o perspektivách rozvoje využívání elektromobilů (Electric Vehicle resp. Battery Electric Vehicle) ve světě.

V dnešní době je podíl elektromobilů pouze 0,02% z celkového počtu všech vozidel na světě, ale existuje několik faktorů, že se dynamický rozvoj počtu elektromobilu stane příštím trendem desetiletí. Počet elektromobilů na konci roku 2013 je odhadován na asi 180 000 kusů.

Tab. č. 1.1: Počet elektromobilů a nabíjecích stanic v hlavních zemích světa

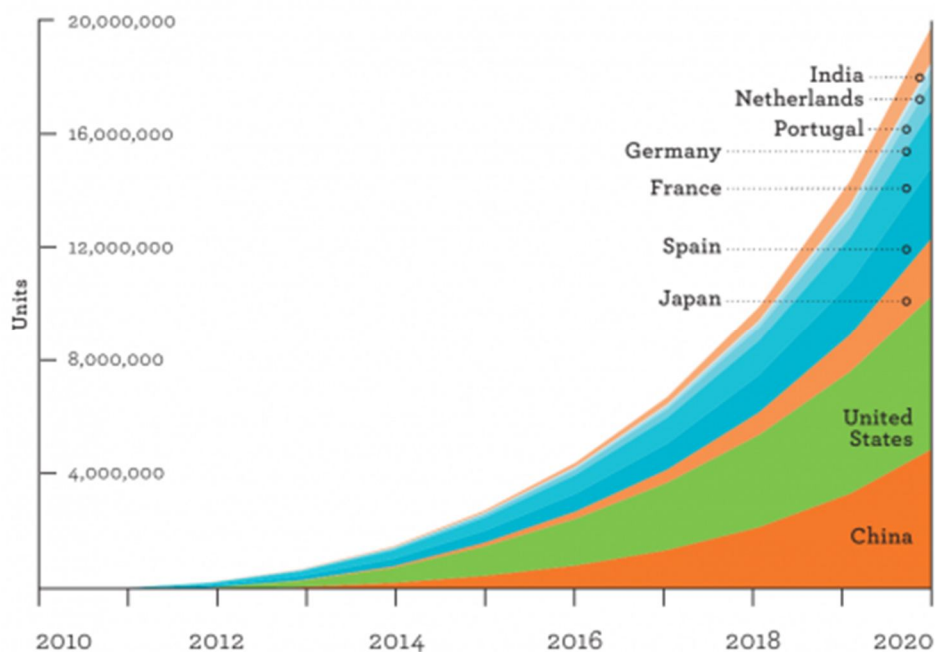
Země	počet elektromobilů	počet nabíjecích stanic
Čína	11 573	8 107
Dánsko	1 388	3 978
Finsko	271	2
Francie	20 000	2 100
Německo	5 555	2 821
Indie	1 428	999
Itálie	1 643	1 350
Japonsko	44 727	5 009
Nizozemí	6 750	3 674
Španělsko	787	705
Švédsko	1 285	1 215
Spojené království	8 183	2 866
Spojené státy americké	71 174	15 194

V roce 2012 bylo prodáno 56 700 elektromobilů. Podle tab.č. 1.1 je nejvíce elektromobilů v Japonsku, Číně a Spojených státech amerických. Ministerstvo energetiky USA tvrdí, že cena elektromobilů každým rokem klesá. Snížení cen bylo způsobeno vývojem účinnějších technologií a snížením nákladů na baterie. Podle obr. č. 1.1 v roce 2020 země EVI plánují počet elektromobilů asi 20 milionů.

Výzkum v oblasti automobilů s elektrickým pohonem má dlouhou tradici. Již před 100 lety bylo vyvinuto první dobíjecí zařízení pro elektromobily.

Elektromobily byly schopny již na počátku 20. století realizovat dojezd 600 až 700 kilometrů. Jízdní režim se však v současnosti zásadně změnil. Především výrazně vzrostla rychlost a dynamika jízdy. Spotřeba energie vozidla se při dvojnásobné rychlosti zvýší

čtyřikrát. Například při průměrné rychlosti 40 km/h je dojezd cca 300 km, při rychlosti 80 km/h však dojezd klesne na pouhých 100 kilometrů.



Obr.č. 1.1: Počet narůstu elektromobilů podle prognózy EVI Global

1.1.2. Informace o moderních typech elektromobilů.

a) Volkswagen

Podle časopisu «Technický týdeník» příkladem současného stavu techniky v oblasti čistých elektromobilů může být vozidlo e-Golf firmy Volkswagen, která letos (2013) zveřejnila záměr stát se do roku 2018 největším výrobcem elektromobilů na světě [L2].

Tab. č. 1.2: Volkswagen e-Golf – jízdní vlastnosti

průměrný dojezd	130 km
rozjezd z nuly na 80km/h	4,9 s
rozjezd z nuly na 100km/h	12,4 s
délka vozu	3,54 m
počet Li-ion článků	207 v 17 modulech
hmotnost aku	230 kg
napětí plně nabitých aku	374 V
akumulovaná energie	18.17 kWh

Potřebná infrastruktura:

Tab. č. 1.3: Parametry nabíjecí stanice

konvenční distribuční síť	230/400V
potřebný příkon	2,3 kW
doba nabíjení z 0 na plnou kapacitu	9 hod

Vůz e-up může být pro dobíjení akumulátoru napojený na běžnou síť s konvenční 230V zásuvkou, kde se nabije výkonem 2,3kW během 9hod viz. tab. č. 1.3. Volkswagen nabízí dodat pro garáž upravený WallBox, který nabíjí výkonem 3,6 kW po dobu 6 hod.

b) BMW

Informace o elektromobilu od BMW dle [L3]

K charakteristikám elektromobilu patří:

Tab. č. 1.4: BMW – jízdní vlastnosti

synchronní motor	125 kW, 250 Nm
Li-iontové akumulátory s kapacitou	22 kWh
dojezd vozu	170-190 km
doba nabíjení akumulátorů	6-8 hod.
rychlodobíjení DC proudem	30 min
rychlodobíjení AC proudem	3-6 hod.

c) Tesla

Tesla Motors Inc. je společnost ze Silicon Valley, která navrhuje a vyrábí elektromobily série Tesla Roadster, Model S.

Tesla Motors vyrábí Li-ion baterie a nabíječky verze Smart ED (původní označení EV). Vůz může být nabíjen proudem 80 A a výkonem 20 kW během 4,5 hod. Úplné nabití baterie teoreticky stačí na dojezd vozu cca 424 km, ale prakticky cca 300 km viz.: [L4].

Tab. č. 1.5: Tesla Model S – jízdní vlastnosti

Model S	výbava 1	výbava 2	výbava 3
akumulovaná energie	60 kWh	85 kWh	85 kWh
dojezd vozu	332 km	424 km	424 km
rozjezd z 0 na 100km/h	5,9 s	5,4 s	4,2 s
Maximální rychlost	192 km/h	200 km/h	208 km/h
Výkon	302 koní	362 koní	416 koní
synchronní motor	430 Nm	440 Nm	600 Nm
Pracovní doba baterie	8 let/200 000 km	8 let	8 let
Cena	\$ 62 400	\$ 72 400	\$ 85 900

Při srovnání elektromobilu Volkswagen, BMW a Tesla, nejlepších hodnot dosahuje Tesla Model S. Dojezd u Tesly Modelu S je dvakrát vyšší než u BMW a VolksWagenu. Doby nabíjení jsou stejné 6-8 hodin. Všechny 3 automobily používají Li-iontové trakční akumulátory.

1.1.3. Srovnání elektromobilů hlavních výrobců.

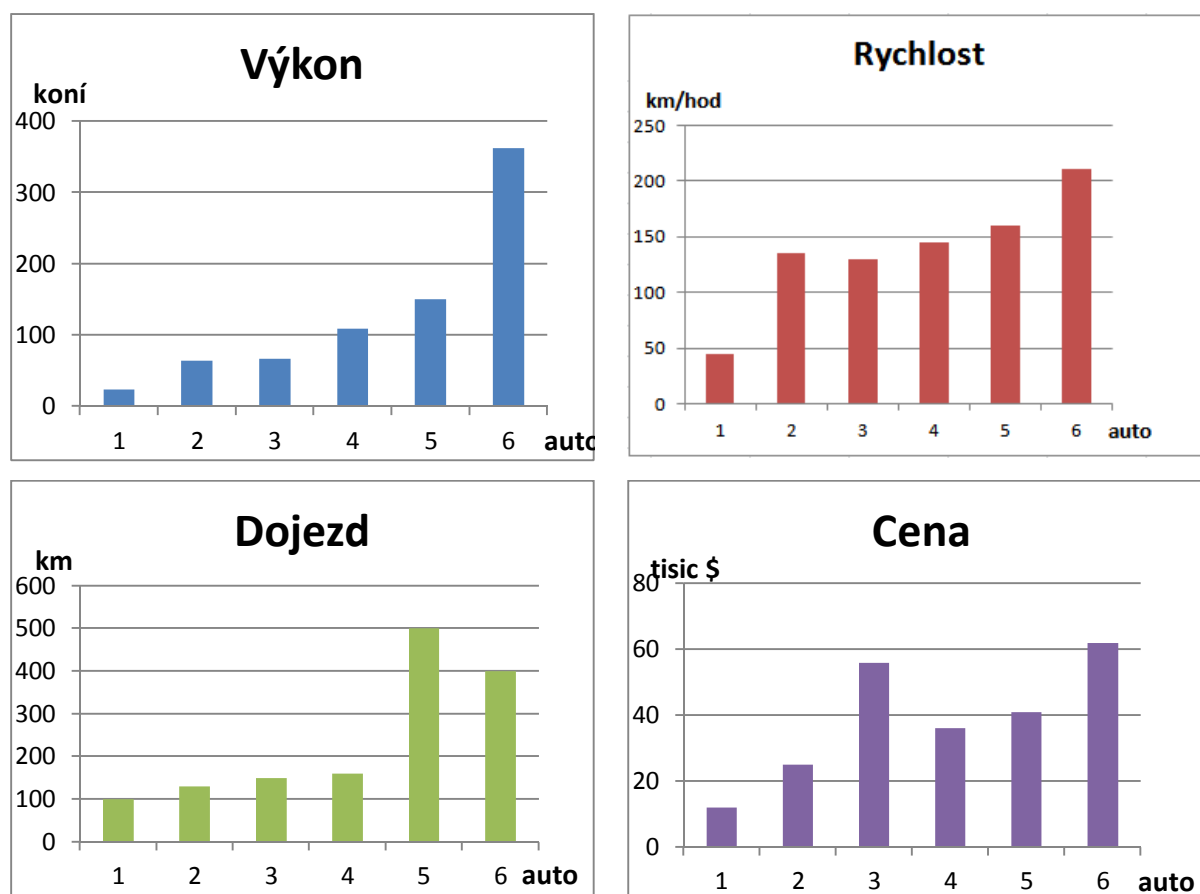
Pro srovnání jsem použil nejprodávanější elektromobily roku 2013 podle informace EF Research Center tab.č.1.6. [L5].

Nissan Leaf, Renault Twizy, Peugeot iOn a Mitsubishi i-MiEV na jediné nabití mají dojezd 100-160 km. Tesla Model S a Chevy Volt ujeďte na jediné nabití 400-500 km.

Tab. č.1.6: Jízdní vlastnosti nejprodávanější elektromobilů 2012 roku

№	Elektromobil	Výkon, koní	Rychlost, km/hod	Dojezd vozu, km	Cena, tisíc dolarů
1.	Renault Twizy	24	45	100	12
2.	Peugeot iOn	64	135	130	25
3.	Mitsubishi i-MiEV	67	130	150	56
4.	Nissan Leaf	109	145	160	36
5.	Chevy Volt	150	160	500	41
6.	Tesla Model S	362	210	400	62

Vozidla Nissan Leaf a Tesla Model S využívají lithium-iontové baterie, které jsou však poměrně drahé. To je jeden z hlavních problémů elektromobilů.



Obr. č. 1.2: Srovnání elektromobilů hlavních výrobců

Nevýhodou je nízký dojezd elektromobilů ve srovnání s auty se spalovacím motorem, dlouhá doba nabíjení baterií v porovnání s doplněním paliva a zhoršení vlastností baterií

v chladném klimatu. Nabíjení z elektrické zásuvky trvá 5-10 hodin, ale speciální nabíječky umožňují dobíjení za 30 minut. Pokud takové nabíjecí stanice budou instalovány na parkovištích u kanceláří a supermarketů, může majitel elektrického vozidla využít čas nutný k dobíjení baterií i k dalším činnostem.

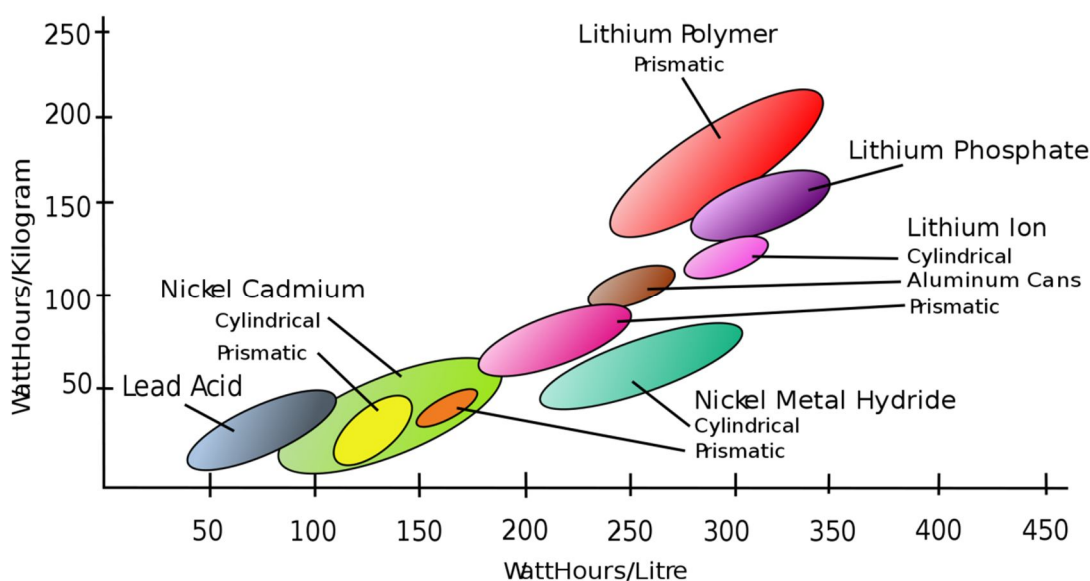
Pro masové využití elektrických vozidel je nutné vytvoření sítě dobíjecích stanic, podle tab.č. 1.1. Podle průzkumu prováděného společností Frost & Sullivan „Analýza strategických technologií a tržní infrastruktury nabíjení elektrických vozidel v Evropě,“ bylo instalováno 7250 nabíjecích stanic v roce 2012 a v roce 2019 jich bude více než 3,1 milionu. Předpokládám, že téměř 80% nabíjení elektrických vozidel bude prováděno doma nebo na parkovišti, kde se vozidlo nachází každý den po dobu 8-10 hodin.

Vývojem elektromobilů a rozvojem infrastruktury se zabývá každá vláda rozvinutých zemí. Například v Německu v roce 2014 investice na rozvoj elektromobilů jsou plánovány na 14 milionů euro. Čínská vláda plánuje investovat asi 20 miliard dolarů a stanovila si cíl do roku 2020 vyrábět až 5 milionů elektromobilů ročně.

Podle obr. č. 1.4 dosahuje nejlepších hodnot elektromobil Tesla Model S, ale Nissan Leaf je nejprodávanějším elektromobilem v roce 2013.

Na základě srovnání 6-ti elektromobilů lze říci, že je velký narůst rozvoje hlavních výrobců elektromobilů ve světě. K těmto výsledkům patří srovnání dojezdů a výkonů aut.

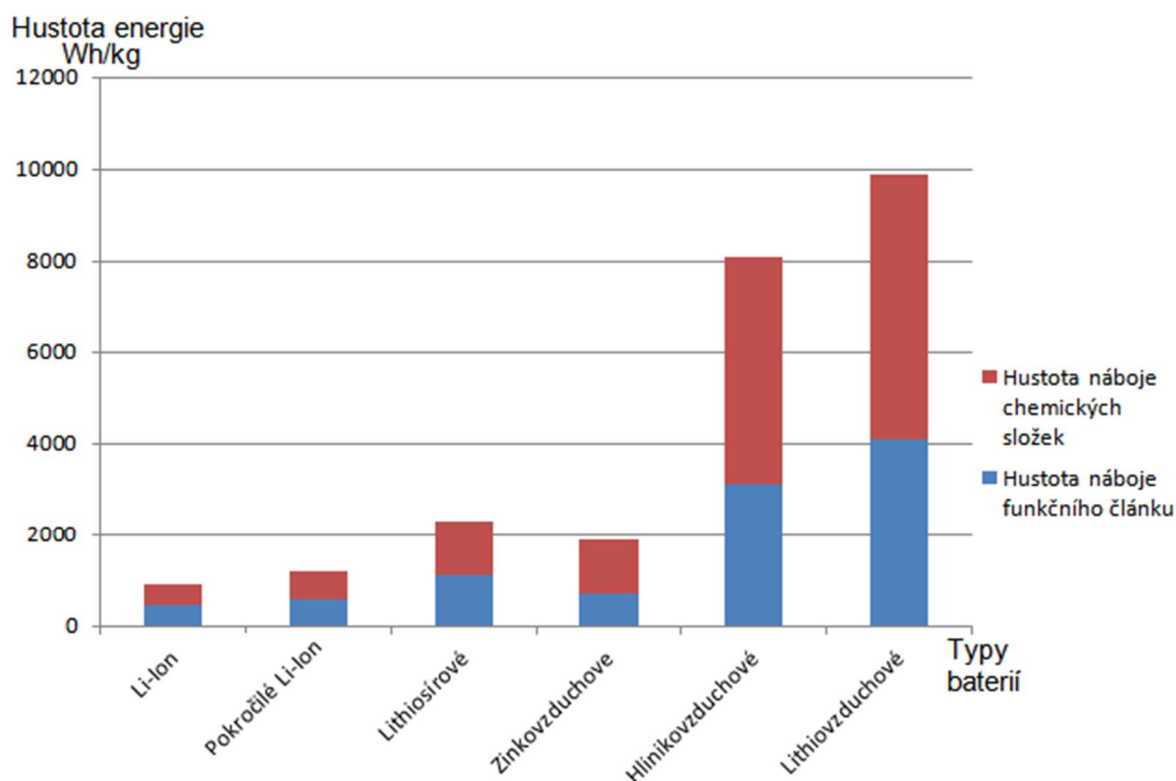
Aby měla vozidla na elektřinu alespoň nějakou šanci, je třeba dle vývojových pracovníků firmy Siemens [L6] zvýšit kapacitu trakčních baterií (při zachování ceny) alespoň na dvojnásobek. Číselně to znamená vzrůst uložené energie v baterii z 150 Wh/kg na 250 Wh/kg. Dojezd kolem 200 kilometrů by už některým uživatelům mohl postačovat.



Obr.č. 1.3: Srovnání vlastností v současnosti používaných trakčních akumulátorů

V současnosti je v elektrické trakci nejvíce používána Li-Ion baterie, která se však už přiblíží k hranici svých teoretických možností tj. řádu stovek watt hodin na kilogram viz.: obr.č.: 1.3. Aby EV alespoň částečně vyrovnala CEV (Combusting Engine Vehicle) je třeba dle [L6] v evropských podmínkách na dlouhé jízdy dosáhnout kapacity akumulátoru cca 1000 Wh/kg, tedy sedmkrát výkonnější než ty dnešní. Většina z nových konstrukcí využívá lithia viz.: obr.č.: 1.3. Tento kov je pro baterie jako stvořený, je lehký a udrží velký náboj. Navíc jde o rozšířený a dostupný prvek. Již dlouho se experimentuje s lithiosírovou baterií, ve které je kladná elektroda z lithia, záporná ze síry. Má teoreticky několikanásobně vyšší kapacitu než dnešní Li-Ion články. Radikální změnu designu baterií slibuje další technologie: lithiovzduchové baterie. Teoretická kapacita u nich převyšuje 10 000 Wh na kilogram! Lithium je velmi reaktivní kov, který prudce reaguje s vodou. A té je ve vzduchu více než dost. Navíc kapacita baterií po dobití prudce klesá.

Výkonové poměry akumulátorů použitých v praktické části diplomové práce jsou pro olovený akumulátor cca 30 - 45 Wh na 1 kg hmotnosti, nebo 60 - 80 Wh na 1 litr objemu akumulátoru. Na jednotku hmotnosti i objemu má nejhorší poměr kapacity v Ah klasický akumulátor se zaplavenými elektrodami. Výhodnější poměr mají gelové akumulátory a nejlepšího poměru dosahují akumulátory AGM, 3,5 – 3,6Ah/kg, nebo 6,7- 6,8 Ah/dm³. Pro akumulátor potřebujeme cca 8-10 ml elektrolytu na 1 Ah jeho kapacity.



Obr. č. 1.4: Perspektivní principy trakčních akumulátorů

Potíže se postupně prý daří překonávat. Při dosavadním tempu nárůstu kapacity baterií kolem pěti procent za rok bychom se mohli na potřebných 1 000 Wh na kilogram dostat zhruba za 30 let. Dle národní výzkumné rady USA je cena dnešních baterií nad 1200 dolarů za uloženou energii tisíc watthodin (1 kWh). Cíl pro dosažení konkurenceschopnosti s ropnými palivy při dnešních cenách je pod 300 dolarů za jednu kWh. Potřebovali bychom tedy baterii se sedminásobným výkonem za pětinou cenu. V souvislosti s prognózou nárůstu elektrotechnické výroby ve vazbě na rozvoj elektromobility viz. obr.č.1.4 lze předpokládat že tento cíl je reálný.

1.2. Základní fyzikální principy.

1.2.1. Možnosti ukládání elektrické energie.

1.2.1.1. Přímá akumulace elektrické energie.

- elektrická energie akumulovaná v kondenzátoru dle rovnice 1.1

$$- \quad (1.1)$$

Energii ve vozidlech lze uložit např. v superkapacitoru.

Tab. č. 1.7: Porovnání superkondenzátoru a olověného akumulátoru

	superkondenzátor	olověná baterie
nabíjecí doba	0,3 – 30 s	1 – 5 hod
vybíjecí doba	0,3 – 30 s	0,3 – 3 h
měrná energie (Wh/kg)	1 - 10	10 – 100
výkon (W/kg)	< 10 000	< 1000
životnost (cyklů)	> 500 000	1000
účinnost	85 – 98 %	70 – 85 %

Maxwell BOOSTCAP – 3000 – P270:

$U = 2,7V$

$C = 3000F$

$E_m = 5,72Wh/kg$ ($\approx 2kW$ po 10s)

životnost: 1000 000 cyklů

hmotnost: 550 g

rozměry: 138 x 58 mm



Obr. č. 1.5: Superkapacitor BOOSTCAP P270

Podle tab. č. 1.7 je účinnost superkapacitorů až 98%, což je poměrně vysoká hodnota. Výhodou je nabíjecí doba, výkon a životnost superkapacitorů. Nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji.

- elektrická energie akumulovaná v magnetickém poli dle rovnice 1.2

$$W = \frac{1}{2} * L * I^2 \quad (1.2)$$

Založeno na akumulování energie formou elektromagnetického pole kolem vodičů.

Může být použit ve supravodivým vodičů. Tento princip není výhodný pro velké ztráty ve vodičích a vysoké pořizovací náklady a v trakci se zatím nepoužívá.

1.2.1.2. Nepřímá akumulace elektrické energie.

- gravitační systémy přečerpávacích elektráren, lze akumulovat energie až do MWh.
- systémy s uložením energie do stlačeného vzduchu v tlakových nádobách.
- akumulace energie v rotujících hmotách setrvačnicků, lze akumulovat až do tisíců kWh.
- elektrochemické akumulátory elektrické energie

1.2.2. Typy elektrických článků.

Akumulátory elektrické energie pracují na různých principech. Při akumulaci elektrické energie se převážně používají chemické akumulátory. Elektrochemické akumulátory využívají přeměnu elektrické energie na energii chemickou. Podle principu se galvanické články dělí na primární, sekundární a palivové. Nejčastější se setkáváme s primárními a sekundárními.

1.2.2.1. Primární články.

Primární články - mění chemickou energii v elektrickou, proces je nevratný:

- Voltův článek
- Zinko-uhlíkový článek (Leclanche battery), (Zn-Mn, alkaline manganese battery)
- Danielův článek (Daniel battery or cooper-zinc battery)
- Alkalický článek (RAM)
- Zinko-stříbrný článek
- Bunsenův článek (Bansen battery)
- Lithiový článek (lithium battery)

1.2.2.2. Sekundární články.

Sekundární články – při vybíjení mění chemickou energii v elektrickou a při nabíjení naopak

- Olověný (Pb), lead-acid (lead-storage) battery
- Stříbro-zinkový (divalent silver oxide battery)
- Alkalický
 - a) Nikl-kadmiový (NiCd), (nickel-cadmium battery)

- b) Nikl-Metalhydridový (NiMH), (nickel-iron battery)
- Lithiový
 - a) Lithium-iontové (Li-Ion)
 - b) Lithium-polymerový (Li-Pol)
- Sodíkovo-sírový (Na-S)

Trakční akumulátory patří k nepřímé akumulaci elektrické energie. Akumulátory podle typu elektrických článků jsou sekundární viz obr. č. 1.6.

Rozdělení elektrických akumulátorů:

1) Rozdělení sekundárních zdrojů

- zdroje s kyselým elektrolytem
- zdroje se zásaditým elektrolytem
- s bezvodým elektrolytem

2) Podle provedení

- otevřené
- uzavřené

3) Podle použití

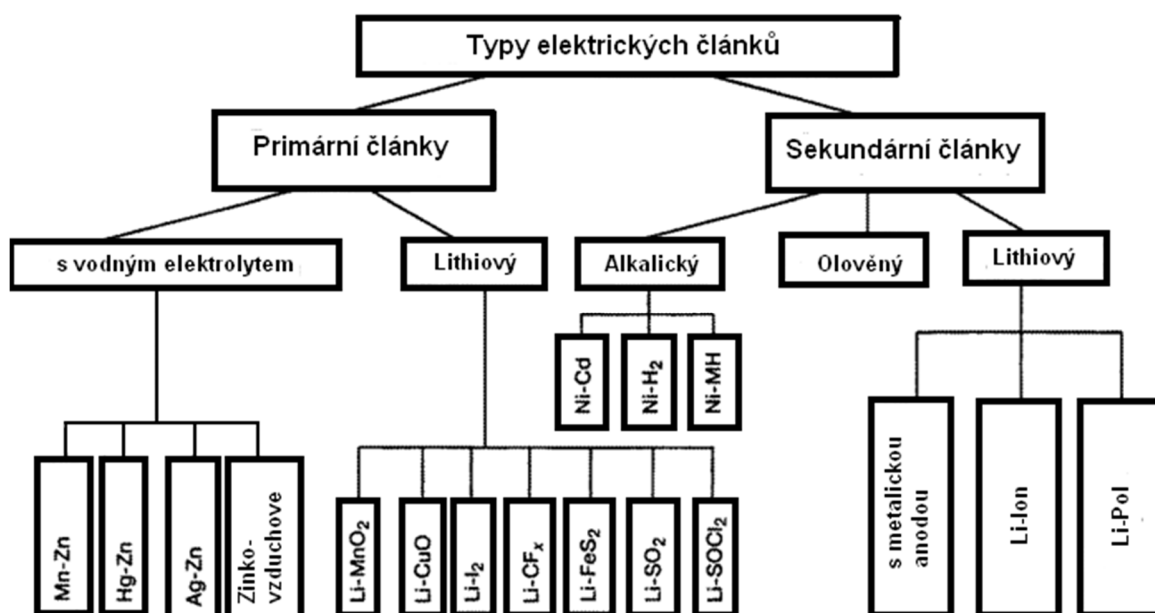
- průmyslové akumulátory
- vojenské aplikace
- rychlonabíjecí

4) Podle tvaru

- válcové a prizmatické

5) Podle technologie výroby

- stáčené desky (sintrované, plastem pojené, kombinované)
- ploché desky (lisované, sintrované, plastem pojené, kombinované)



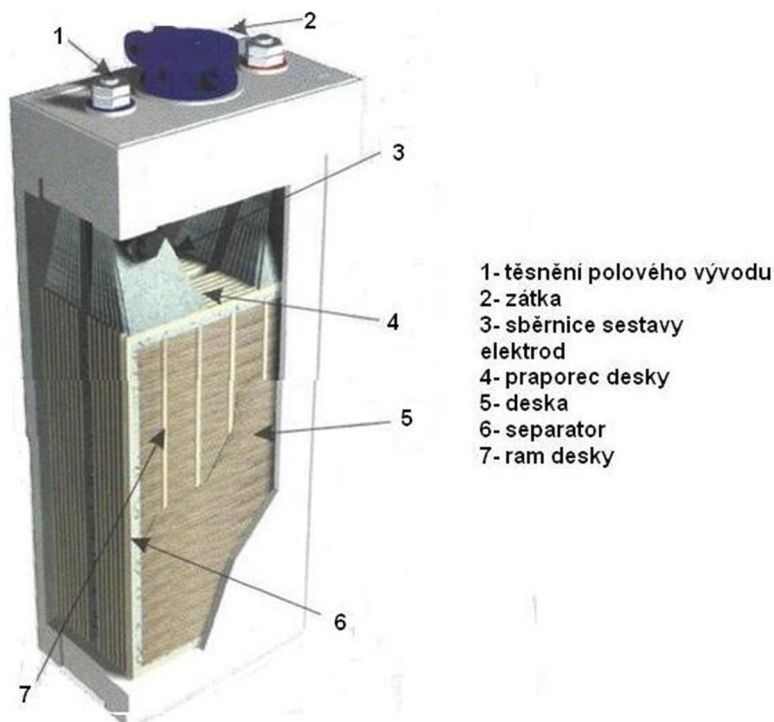
Obr. č.1.6: Typy elektrických článků

1.2.3. Nikl-kadmiový (NiCd) akumulátor.

Sekundární článek.

Tab.č. 1.8: Parametry NiCd článku

Jmenovité napětí	Kapacita	Rozsah teplot	Počet cyklů
1,2 V	1 až 500Ah	- 40 až + 65 C	min. 500



Obr.č.1.7: Konstrukce Nikl-kadmiové (NiCd) baterie

Tab. č. 1.9: Parametry NiCd baterie

Material desek				Separátor	Elektrolyt	Hustota
V nabitém stavu		Ve vybitém stavu				
Kladná elektroda	Záporná elektroda	Kladná elektroda	Záporná elektroda			
oxidy Niklu (Ni ₂ O ₃)	směs Cd a Fe	oxidy Niklu (NiO)	oxid kadmicitý CdO ₂	laminovaná skelná tkanina	roztok hydroxidu draselného KOH	1.2 g/cm ³

1) NiCd akumulátory s deskovými elektrodami

Exploatace: staniční akumulátory (v železničních vozech), startovací akumulátor.

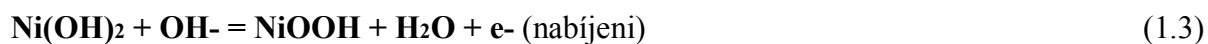
Nabíjení jako u olověných, s omezením proudu v počátcích nabíjení. Je možno nabíjet také konstantním proudem. Baterie NiCd jsou 4 až 8x dražší než stejné olověné baterie

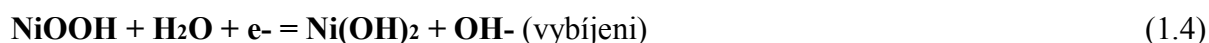
2) NiCd akumulátory se svinutými elektrodami

Mezi elektrodami jsou pásy separátorů s elektrolytem.

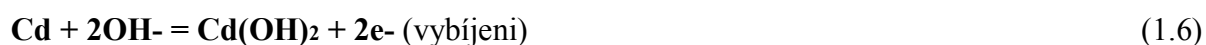
Proudovtvorné reakce:

Na kladné elektrodě dle rovnic (1.3), (1.4):





Na z\u00e1porn\u00e9 elektrod\u011b dle rovnic (1.5), (1.6):



Celkov\u00e1 reakce v baterie je n\u00e1sleduj\u00edc\u00ed dle rovnic (1.7), (1.8):



Ionizace na kladn\u00e9 elektrod\u011b dle rovnice (1.9):



Nev\u00fdhody: Pam\u011bt'ov\u00fd efekt: p\u0159i vyb\u00edjen\u00ed sn\u00ed\u00e1z\u00ed odebrateln\u00e9ho n\u00e1boje (o 10-15%) v d\u00fasledku p\u0159edchoz\u00edho nab\u00edjen\u00ed p\u0159i ukon\u00e1en\u00ed nab\u00edjen\u00ed konstantn\u00edm proudem.

1.2.4. Nikl-Metalhydridov\u00fd (NiMH) akumul\u00e1tor.

Konstrukce NiMH akumul\u00e1toru jsou podobn\u011b konstrukce NiCd akumul\u00e1toru. Nab\u00edjec\u00ed i vyb\u00edjec\u00ed charakteristiky jsou shodn\u00e9 se NiCd.

Tab. \u010d. 1.10: Parametry NiMH \u010dlanku

Jmenov\u00edte nap\u011bt\u00ed	Kapacita	Rozsah teplot	Po\u010det cykl\u016f
1,2 V	1200 - 2500 mAh	0 (-10), +60 \u00b0C	min. 1000

Tab. \u010d. 1.11: Parametry NiMH baterie

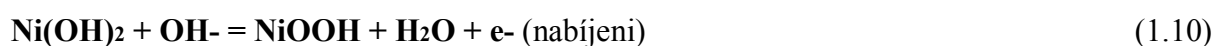
Materi\u00e1l desek				Separ\u00e1tor	Elektrolyt	Hustota
V nabit\u00e9m stavu		Ve vybit\u00e9m stavu				
Kladn\u00e1 elektroda	Z\u00e1porn\u00e1 elektroda	Kladn\u00e1 elektroda	Z\u00e1porn\u00e1 elektroda			
oxidy Niklu (Ni ₂ O ₃)	absorbuj\u00edc\u00ed vod\u00edk (hydridy kov\u016f)	hydroxid Niklu Ni(OH) ₂	Metal	laminovaná tkanina	roztok hydroxidu draseln\u00e9ho KOH	1.2 g/cm ³

Exploatace: Drobn\u00e9 spot\u0159ebi\u010de, radiov\u00e9 a telekomunika\u010dn\u00ed p\u0159ed\u0159edky, lehk\u00e1 trakce (elektrobicykly, elektrosk\u00fatry, hybridn\u00ed elektromobily).

\u010dl\u00e1nky nelze vyb\u00edjet pod hodnotu 0,9 V/\u010dl a nechat ve vybit\u00e9m stavu.

Proudov\u00fd reakce:

Na kladn\u00e9 elektrod\u011b dle rovnic (1.10), (1.11):



Na záporné elektrodě dle rovnic (1.12), (1.13):



Celková reakce v baterii je následující, rovnice (1.14), (1.15):



Přebíjení dle rovnice (1.16):



Nevýhody: Ni-MH jsou drahé, stojí asi 10 krát více než olovené. Mají paměťový efekt.

1.2.5. Lithiové akumulátory.

1.2.5.1. Li-iontové akumulátor.

Tab.č. 1.12: Parametry Li-iontového akumulátoru

Jmenovité napětí	Kapacita	Provozní teplota	Počet cyklů
1,2 V	0,2 - 5 Ah/čl	-15, +40 C	min. 3000

Tab.č. 1.13: Parametry Li-iontové baterie

Materiál desek		Separátor	Elektrolyt	Hustota
Kladná elektroda	Záporná elektroda			
Kompozitní materiál z lithia a grafitu	LiCoO ₂ , LiMn ₂ O ₄ , LiNiO ₂ , LiFePO ₄	laminovaná tkanina	tetrafluoroboritan lithný LiBF ₄	1.2 g/cm ³

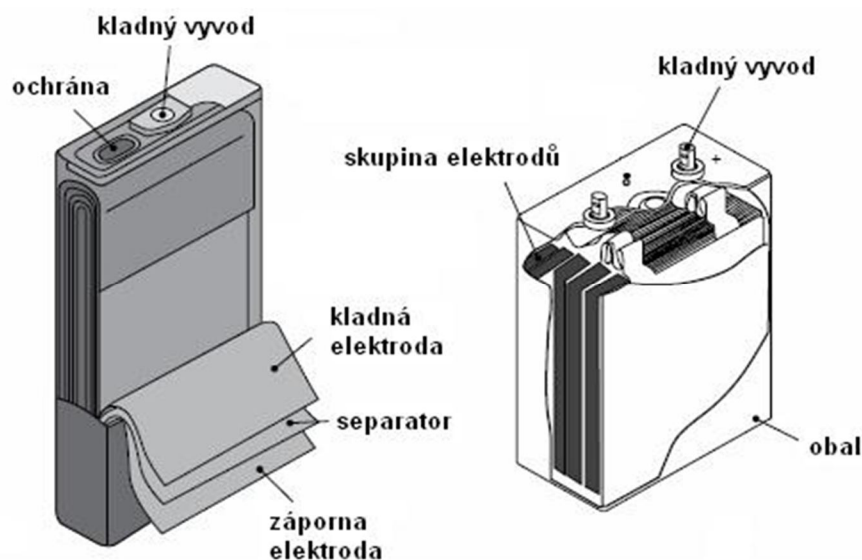
LiCoO₂ oxid kobaltolithný

LiMn₂O₄ oxid manganitolithný

LiNiO₂ oxid nikelnatolithný

} ekologický čisté

LiFePO₄ lithium železo fosfát



Obr. č.1.8: Konstrukce Li-ion baterie

1.2.5.2. Li – polymerové akumulátory.

Tab. č.1.14: Parametry Li-pol akumulátoru

Jmenovité napětí	Kapacita	Rozsah provozních teplot	Počet cyklů
1,2 V	0,2 - 5 Ah/čl	-20, +45 °C	min. 3000

Tab.č. 1.15: Parametry Li-pol baterie

Material desek		Separátor	Elektrolyt	Hustota
Kladná elektroda	Záporná elektroda			
materiál z lithia a uhlíku	LiCoO ₂ oxid kobaltolithný	laminovaná tkanina	tuhý skupenství (polymer)	1.2 g/cm ³

Nabíjecí proud: 0,7 - 2 CA

Vybíjecí proud: 5 CA

Výhody Li-ion a Li-pol:

- Vysoká hustota energie (160 Wh/kg).
- Tenká konstrukce 2 - 5 mm.
- Nepodléhá paměťovému efektu.
- Malé samovybití a vysoké nominální napětí.
- Účinnost nabíjení (80-90%).

Nevýhody Li-ion a Li-pol:

- Rychlé stárnutí baterie (životnost 2-3 roky).
- Při úplném vybití je zničená

1.2.5.3. Perspektivní Lithiové akumulátory.

Pomocí nanotechnologie se zvětšuje aktivní povrch elektrod (NanoSafe Batteries)

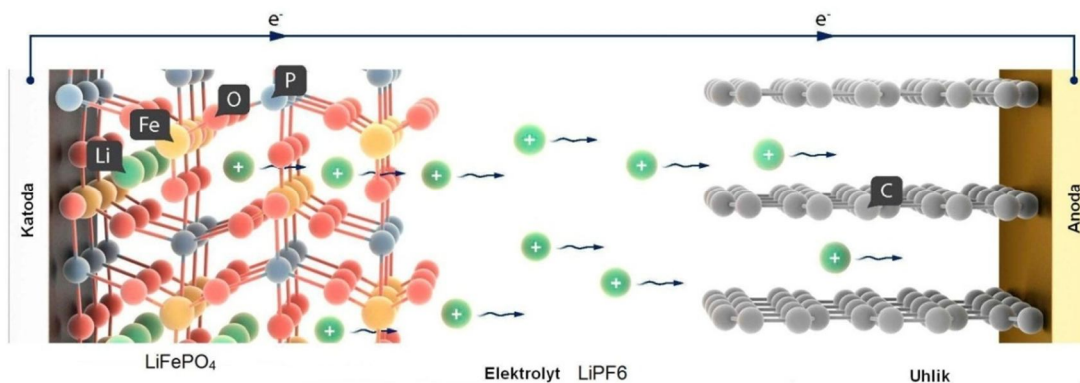
Použitím nanotitanátových materiálů lze snížit vnitřní odpor a docílit nabíjecích proudů 50CA a vybíjecích 100CA

Nabít na 80%CA lze za 1min

Pracovní teplota: -60 až +75 °C

Výhody LiFePO₄:

- Plochá křivka vybití až do úplného vybití akumulátoru.
- Vysoký počet dobíjecích cyklů (2000 - 3000).
- Netoxické.
- Vysoká životnost (3-10 let).
- Vynikající účinnost nabíjení (95%).
- Cenová dostupnost.
- Vyšší hustota energie (80-120 Wh/kg).



Obr.č.1.9: Konstrukce a proudotvorná reakce Li-Ion

Li₄Ti₅O₄

Anoda: lithium titanát (Li₄Ti₅O₁₂)

Katoda: LiMn₂O₄, LiCoO₂

Napětí článku: 1,5 - 4,2 V

Počet nabíjecích cyklů: 7000 - 18000

Nabíjecí doba: 80% nabití: 10 - 30 min
plné nabití 2 - 8 hodin

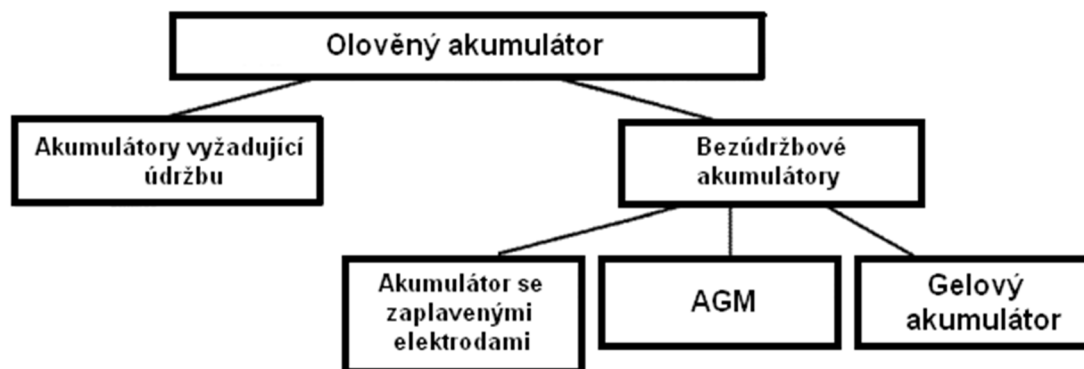
Minimální vybíjecí doba: 90 s (40C)

Pracovní teploty: -40, +80 °C

Nevýhodou je rychlé stárnutí baterie (životnost 2-3 roky).

1.2.6. Olověný akumulátor.

1.2.6.1. Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů.



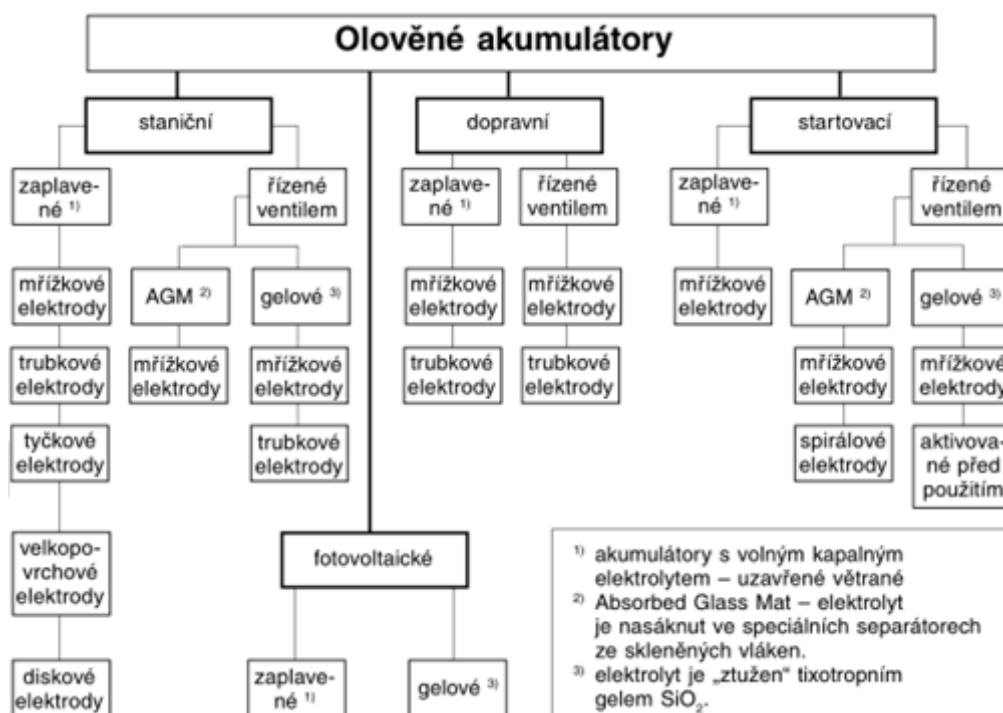
Obr. č. 1.10: Rozdělení olověných akumulátorů podle typů

1.2.6.2. Rozdělení olověných akumulátorů podle účelu.

Startovací- konstruovány pro spouštění motorů, podřízené dosažení maximálního výkonu.

Trakční- konstruovány jako zdroj k trakci elektrických dopravních prostředků.

Staniční- konstruovány jako nouzové zdroje energie při přerušení dodávky elektřiny ze sítě.



Obr. č. 1.11: Rozdělení různých konstrukcí akumulátorů podle účelu použití [L7]

Tři koncepce olověných akumulátorů (acid storage battery) jsou vysoce odolné proti otřesům. Stacionární akumulátory mají větší dobu expulatace, menší vnitřní odpor ale nižší uloženou energii v článcích. Startovací akumulátory mají nejmenší dobu exploatace ale nejvyšší energii článků. Trakční akumulátory mají největší počet cyklů.

Tab. č. 1.16: Srovnání charakteristik olověných akumulátorů

Typ baterie	Energie, W* <i>hod</i> /kg	Efektivní vnitřní odpor, Ohm*A* <i>hod</i>	Cykl	Doba expulatace, let
Stacionární	8 - 12	0,14 - 0,17	-	10 - 20
Startovací	26 - 28	0,18 - 0,23	100 - 300	2 - 4
Trakční	20 - 28	0,25 - 0,30	800 - 1500	4 - 6

1.2.6.3. Rozdělení olověných akumulátorů podle způsobu údržby.

Akumulátory vyžadující údržbu podle Obr. č. 1.10

Akumulátory vyžadují kontrolu hladiny elektrolytu a doplňování destilované vody. Kontrolujeme hustotu elektrolytu (1,28 g/cm³). Současné moderní akumulátory však vykazují nižší ztráty vody.

Bezúdržbové akumulátory podle Obr. č. 1.10

- naplněn elektrolytem ve formě gelu
- vhodný pro motocykly a další zařízení, které nepracují ve vodorovné poloze

- pro kladnou elektrodu je použita slitina olovo-vápník (PbCa), pro zápornou elektrodu je použita slitina olovo-antimon (PbSb).
- odvod plynů z jednotlivých článků je proveden odplyňovacím kanálem k bočnímu vývodu
- nádoba i víko jsou obvykle vyrobeny z průhledného nebo průsvitného polypropylenu (PP).
- kladný pólový vývod může být proti případnému zkratu chráněn pólovým krytem
- akumulátor bývá vybaven antidetonačními pojistkami

Vlastnosti:

- minimální samovybíjení asi 0,3% kapacity za 24 hodin,
- nutnost doplňovat elektrolyt destilovanou vodou v intervalu 1 rok i více,
- zvýšená odolnost proti otřesům,
- možnost odvodu plynů vznikajících při činnosti akumulátoru mimo vnitřní prostor vozidla,
- u plně nabitého akumulátoru značný rozsah provozních teplot,
- zvýšená odolnost proti přebíjení,
- zlepšené startovací vlastnosti,
- větší výkon vztážený na hmotnost a objem, delší životnost

1.2.6.4. Rozdělení olověných akumulátorů podle elektrolytu.

Akumulátor s kapalným elektrolytem a se zaplavenými elektrodami podle obr. č. 1.10

Dosaženo legováním mřížek elektrod vápníkem, nebo mřížky dotované antimonem, (obsah Sb cca 6-7%). Vzniklá koncepce (Ca/Ca) využívá vápník na mřížkách. Základem je olovo s přísadami antimonu cca 1,5 - 3% a vápníku cca 0,08 - 0,12%. Pomocí dotování vápníkem se snížil odpar vody cca na pětinu hodnoty u akumulátoru Pb/Sb. Speciální víko akumulátoru s „labyrintem“ kanálků, omezuje únik elektrolytu při náklonu. Konstrukce (Ca/Ca) se projevuje na samovybíjení akumulátoru. U klasického akumulátoru je hodnota samovybíjení cca 1%/den, u Ca/Ca 0,6%/den.

Gelový akumulátor podle obr. č. 1.10

Gelový akumulátor je typ olověného VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries) akumulátoru s elektrolytem ztuženým ve formě gelu; kyselina sírová s přidáním skelným práškem s částicemi asi setiny velikosti cementového prachu, což způsobí zgelovatění elektrolytu. Konstrukce gelového akumulátoru je však podobná jinému akumulátoru a to akumulátoru se zaplavenými elektrodami. Elektrolyt je vázán v tixotropním křemičitém gelu (SiO₂). Na rozdíl od klasického akumulátoru se zaplavenými elektrodami, ovšem stejně jako u akumulátoru AGM, je možné jej provozovat v jakékoliv poloze díky nekapalné povaze

elektrolytu. Chemicky jsou totožné s klasickými akumulátory, ale antimon v elektrodách je nahrazen vápníkem, což způsobí i snížení vývinu plynů v baterii.

AGM (Absorbed Glass Mat) - akumulátor s vázaným elektrolytem podle obr. č. 1.10

AGM akumulátory (Absorbed Glass Mat) jsou jedním z progresivních řešení. Článek se skládá z kladných a záporných elektrod, oddělených separátorem ze skelných vláken dotovaných bórem. Výhodou separátoru je vynikající iontová vodivost, umožňující rychlý průnik plynů, rekombinaci na záporné elektrodě, schopnost vázat elektrolyt, omezuje mezimřížkové zkraty, snižuje riziko stratifikace kyseliny. Výhodou je velký výkon za nízkých teplot, vysoká odolnost, zvýšená kapacita, absolutní bezúdržbovost.

Výhody:

- Levná a jednoduchá výroba.
- Vyspělá a dobře zvládnutá technologie výroby.
- Velmi nízké samovybíjení (1–3% za měsíc).
- Schopnost dodat vysoké proudy.
- Nabíjení - zdroj konstantního napětí s omezením proudu.

Nevýhody:

- Nízký poměr kapacity k hmotnosti – nevhodné pro mobilní použití.
- Nesmí být skladovány ve vybitém stavu, napětí by nemělo klesnout pod 2,1 V/článek.
- Oxid olovičitý v nich obsažený je jedovatý, což je činí nebezpečnými pro životní prostředí.

Konstrukce akumulátorů:

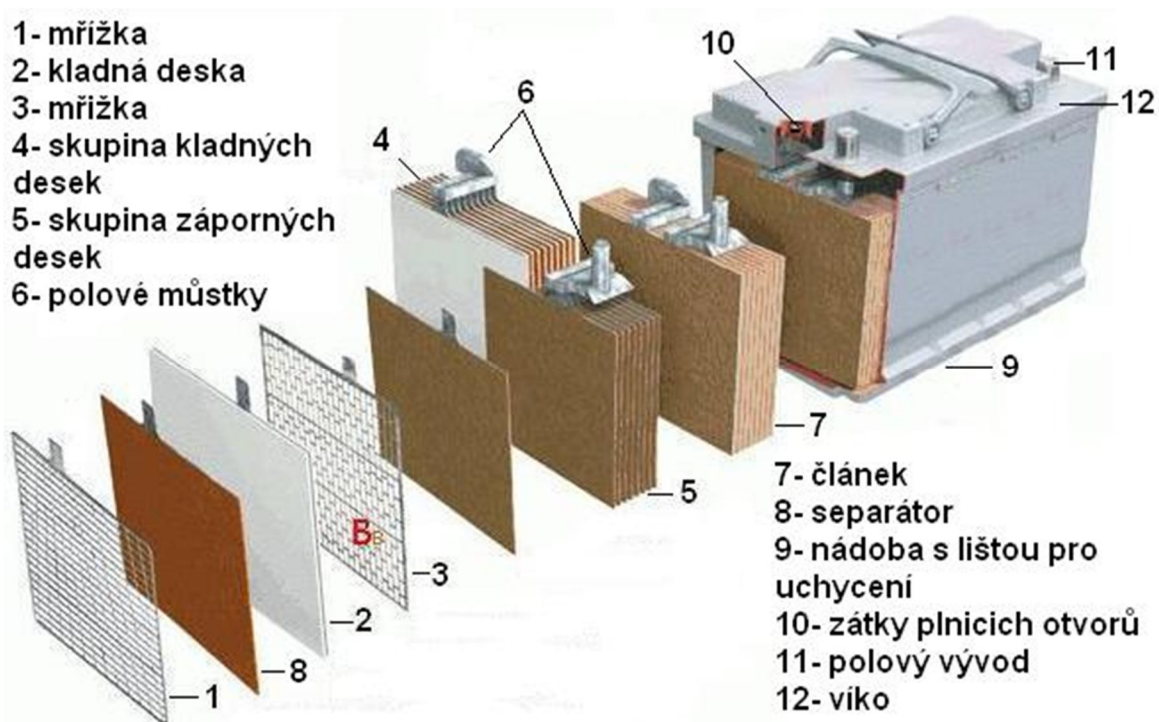
Desky jsou kladné (pozitivní) a záporné (negativní), a pro odstupňování výkonů se paralelně spojují do deskových sad, které jsou rovněž kladné a záporné. Jednotlivé desky jsou vzájemně spojeny pólovými můstkami. Kladná a záporná sada jsou do sebe zasunuty tak, že kladné a záporné desky se vzájemně střídají a tvoří článek. Záporná sada má vždy o jednu desku více, tzn., že vnější desky jsou vždy záporné. Mřížky slouží jako nosiče činné hmoty.

Tab. č. 1.17: Parametry Pb akumulátoru

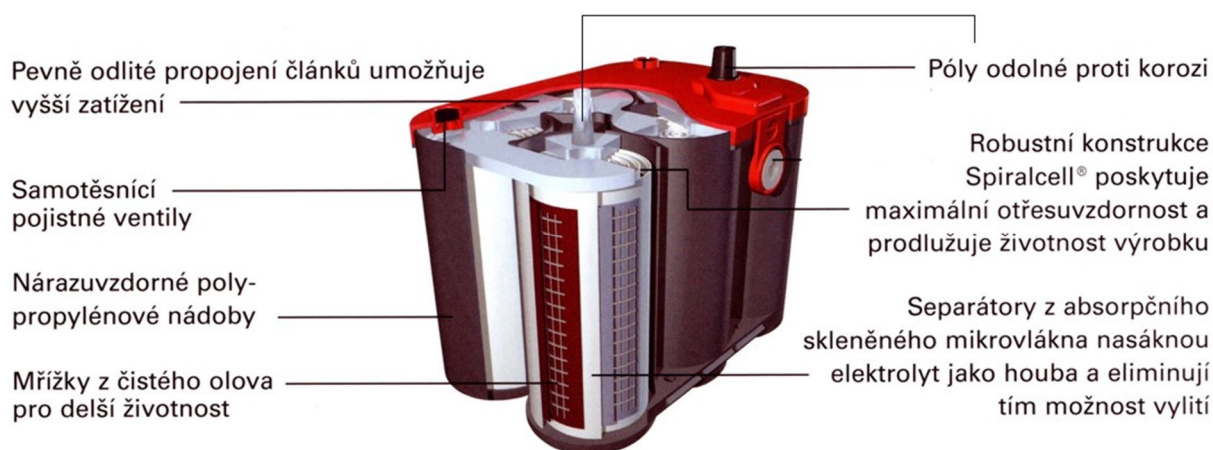
Jmenovité napětí	Kapacita	Provozní teplota	Počet cyklů
12, 24, 48 V	1 až 400Ah	- 40 až + 65 °C	min. 750

Tab. č. 1.18: Parametry Pb baterie

Material desek		Separátor	Elektrolyt	Hustota
Kladná elektroda	Záporná elektroda			
mřížková, tyčová nebo trubičková, Pb, Pb+Sb, Pb+Ca, Pb+Ca+Se (Sn)	mřížka olovo Pb s přidáním antimonu Sb, vápníku Ca	laminovaná skelná tkanina	kyselina sírová (H ₂ SO ₄)	1.24 g/cm ³



Obr.č.1.12: Konstrukce klasického olověného akumulátoru



Obr. č.1.13: Akumulátorová baterie s robustní konstrukcí

Konstrukční prvky akumulátorové baterie s robustní konstrukcí:

- mřížky z čistého olova jsou vyplněny aktivní hmotou a jsou vinuty spirálovitě (1),
- mezi deskami je mikroporézní separátor ze skelných vláken, ve kterém je elektrolyt (2),
- jednotlivé články jsou spojeny silnými odlévanými třmeny (3),
- plastová nádoba je nerozebiratelně spojena s víkem (4),
- pólové vývody jsou nekorozivní (5),
- vnitřní prostor akumulátoru je chráněn samotěsnicím protizážehovým bezpečnostním ventilem (6).

Vlastnosti:

- poněvadž rozteč mezi elektrodami je velmi malá. má každý článek značnou aktivní plochu (o 50% až 100% větší ve srovnání s běžným akumulátorem) a s tím souvisí i větší kapacita.
- v akumulátoru není vlastně tekutý elektrolyt, může pracovat v libovolné poloze.
- vodík a kyslík vznikající při provozu jsou automaticky rekombinovány zpět na vodu
- vybíjecí proud baterie je 850 A (měřeno podle DIN),
- rezervní kapacita je asi 120 min.
- díky velké povrchové ploše článků dochází při spouštění k rychlé obnově kapacity

Elektrolyt: kyselina sírová (H₂SO₄), 1.24 g/cm³ (trakční, staniční)
1.28 g/cm³ (startovací, moto)

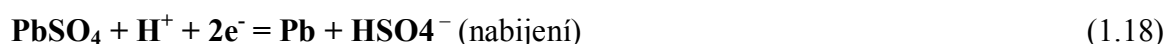
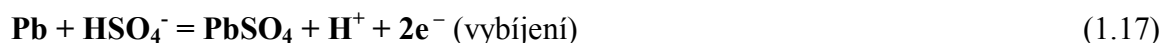
Krabice: polypropylen, PE, (ebonit)

Příspěvky slouží rovněž pro zvýšení chemické odolnosti a vazby s činnou hmotou.

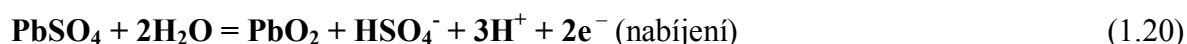
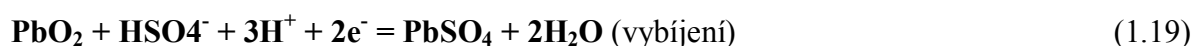
Víko akumulátoru: zakrývá jednotlivé články.

Základní fyzikální principy elektrochemických procesů v baterii.

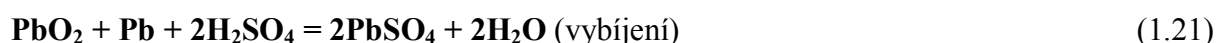
Jednotlivé ionty se účastní vlastního procesu nabíjení či vybíjení a reagují s aktivními hmotami elektrod. V akumulátoru v každém okamžiku dochází k chemické reakci mezi deskami a elektrolytem. Směr reakce závisí na tom, zda je akumulátor právě nabíjen či vybíjen. Při vybíjení klesá hustota elektrolytu, elektrolyt se rozkládá na vodu na záporné elektrodě dle rovnic (1.17), (1.18):



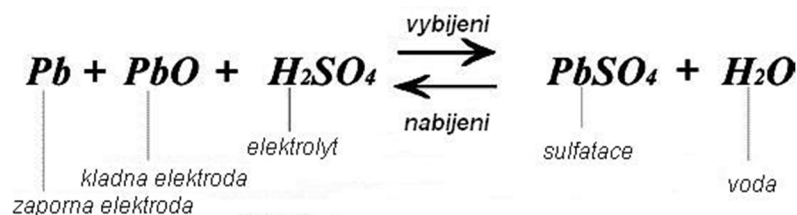
na kladné elektrodě dle rovnic (1.19), (1.20):



Celková reakce v baterii je následující dle rovnic (1.21), (1.22):



Při nabíjení probíhá v akumulátoru reakce v opačném směru než při vybíjení.

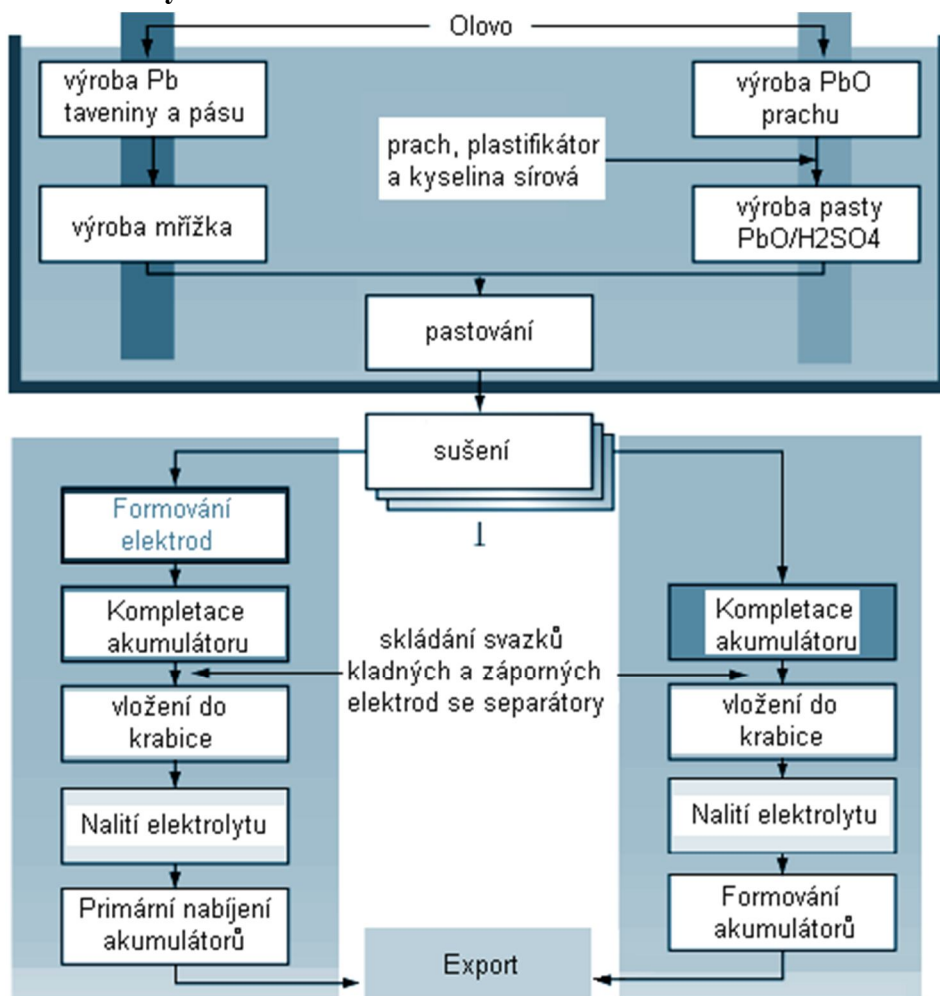


Obr.č.1.14: Proudotvorná reakce

Výhody: Malý vnitřní odpor cca 0,001 Ohmu, velký proud, příznivá cena olověných akumulátorů a zvládnutá, léty prověřená technologie výroby, má velkou energetickou účinnost cca 85%, mohou pracovat v mnoha režimech.

Nevýhody: Hmotnost olověného akumulátoru je cca 4 až 5 x větší než hmotnost nikel-železitého akumulátoru stejné kapacity. Životnost olověného akumulátoru je jen několik málo roků, kdežto alkalických i deset let.

1.2.6.5. Výroba akumulátoru.



Obr. č.1.15: Výroba akumulátorů [L9]

Mřížka: odléváním z Pb taveniny a roztahováním z Pb pásu

Pasta: PbO prach, plastifikátor + voda + PbO potom pastování na neaktivní mřížku desky akumulátorů je nanášena pasta PbO/H₂SO₄

Sušení: v oxidační atmosféře jsou anody aktivovány oxidací PbO na PbO₂

v redukční atmosféře se na katodách PbO redukuje na Pb

Kompletace akumulátoru.

- skládání svazků kladných a záporných elektrod se separátory
- slévání svazkových spojek a vývodů
- nasazení a přivaření víka a hermetizace vývodů, pájení svorek
- elektrická kontrola zkratů
- nalití elektrolytu, zátkování

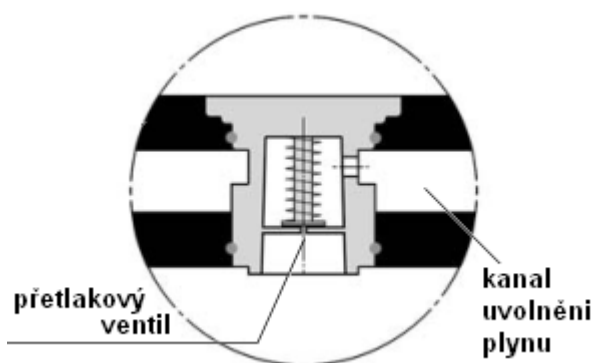
Primární nabíjení – formování.

- buď po kompletaci akumulátoru nebo během výroby před vsazením svazků do krabice.

Při primárním nabíjení vzniká značné množství tepla.

1.2.6.6. Rekombinace plynů.

Bezúdržbové akumulátory mají speciální konstrukci, která řeší rekombinaci plynů. Akumulátory jsou vybaveny bezpečnostními přetlakovými ventily jako u VRLA. Bezúdržbové akumulátory gelové nebo AGM se navíc nabíjejí tak, aby dobíjecí napětí nepřestoupilo napětí plynovací.



Obr.č.1.16: Rekombinace plynů s přetlakovým ventilem

1.2.6.7. Provozní teplota.

Při zimních teplotách vybitý akumulátor může zamrznout proto, že elektrolyt obsahuje vodu. Následkem je mechanická destrukce akumulátoru, desek a prasknutí pláště. Plně nabitý akumulátor nezamrzne ani při silných mrazech. Podle tab.č 1.18 elektrolyt nabitého akumulátoru má hustotou 1,28 g/cm³ a zamrzne při teplotě -68 °C. Vybitý akumulátor s hustotou 1,1 g/cm³ zamrzne už při -10 °C. Pokles hustoty jen o 0,01g/cm³ způsobí pokles kapacity o 3%.

Tab. č. 1.19: Závislost nabíjení akumulátoru od teploty

Nabíjení akumulátoru	Hustota elektrolyta	Teplota
90%	1,28 g/cm ³	-68 °C
80%	1,25 g/cm ³	-52 °C
50%	1,15 g/cm ³	-15 °C
0%	1,1 g/cm ³	-10 °C

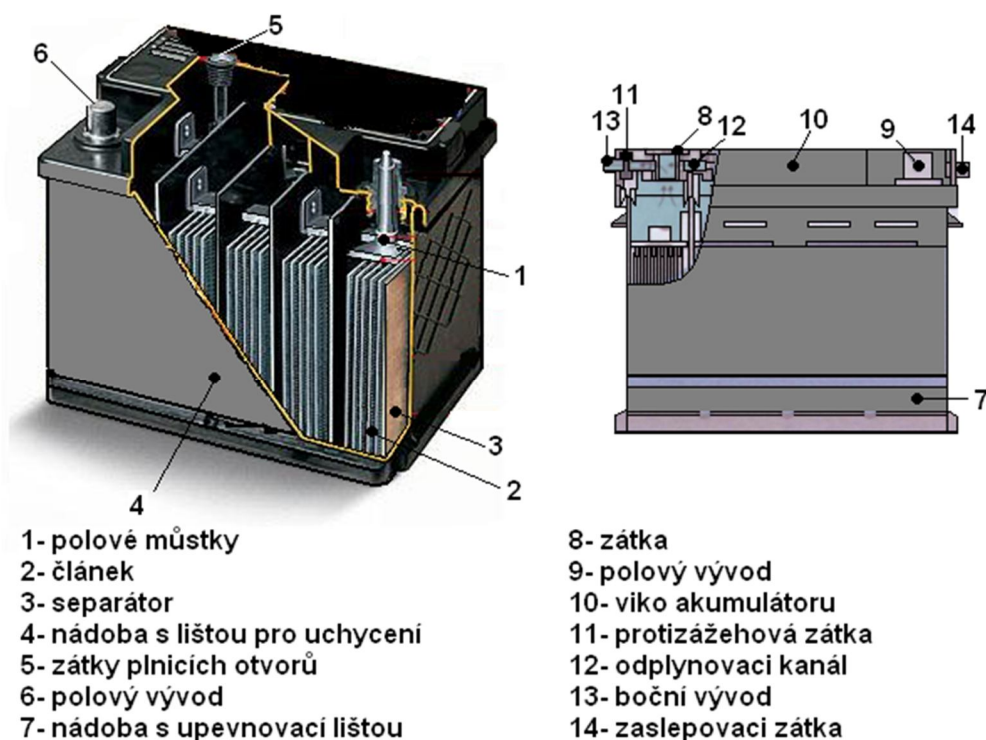
Za nízkých teplot akumulátor má vyšší vnitřní odpor a nižší kapacitu. Udává se, že v rozsahu teplot +300 C až -100 C, kapacita akumulátoru klesá cca 1% s každým stupněm Celsia.

1.3. Rešerše hlavních výrobců.

Konstrukce baterií různých firem mohou mít své vlastní charakteristiky, například konstrukce odlučovačů, mřížky nebo používání přídavných látek při výrobě desek. Výběr kovů a přídavných látek pomáhá dosáhnout rovnováhy mezi vysokou hustotou energie, životností baterie, zvýšenou odolností a bezpečností. Vysokou hustotu energie lze dosáhnout přidáním kobaltu místo niklu. Výrobci s vysokou reputací na trhu, jako jsou Banner Batterien, FIAMM, prodávají pouze bezpečné a spolehlivé baterie.

1.3.1. Akumulátory Banner Batterien 544 09 a AKUMA.

Olověné kyselinové akumulátor. Konstrukce, složení činné hmoty a elektrolytu je stejné jako u klasických akumulátorů podle podkapitoly 1.2.6. Podle [L9].



Obr. č.1.17: Konstrukce akumulátoru firmy AKUMA

Dosaženo legováním mřížek elektrod vápníkem nebo mřížky dotované antimonem (obsah Sb cca 6-7%). Dnes se využívá v akumulátorech koncepce (Pb/Sb) se sníženým obsahem Sb, koncepce (Pb/Ca) - v bateriích AKUMA Comfort.

1.3.2. Akumulátory Fiamm UMBT 105.

Olověné kyselinové akumulátory. Podle [L10].

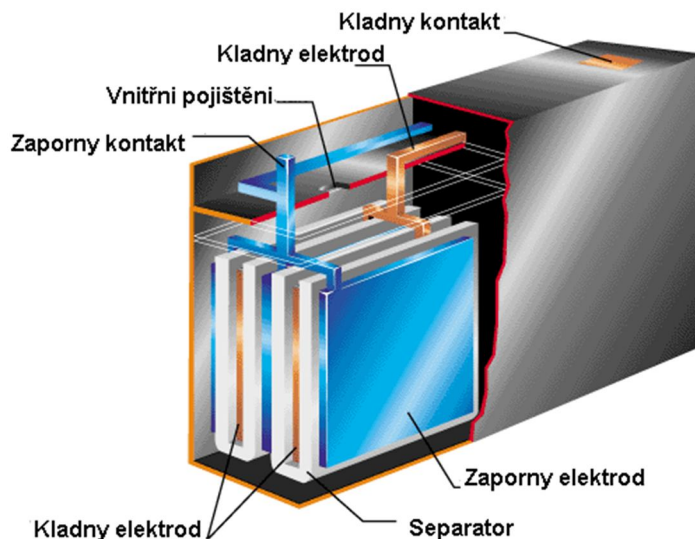
- Nepotřebují doplňovat destilovanou vodu (po celý život).
- UMTB series akumulátory jsou navrženy tak, aby splňovaly požadavky na moderní elektronické zařízení, jsou kompatibilní s dostupnými standartními systémy a tak není potřeba jakýchkoli zvláštních úprav a dalších nákladů na tyto úpravy.
- Vysoká měrná energie. Vynikající výkon při vysokém nabití, poskytují významné úspory ve velikosti a hmotnosti ve srovnání s doplňovacími akumulátory.
- Spolehlivost. Akumulátory UMBT jsou testovány v souladu s EU standardem. Akumulátory jsou testovány na počet nabíjecích-vybíjecích cyklů, rekombinace plynů účinnost, mechanická pevnost.

Tab. č.1.20: Parametry: Fiamm Monolite UMBT 105

Typ	Napětí (V)	Kapacita (Ah)	Zkratový proud (A)	Vnitřní odpor (Ω)	Rozměry			kg
					mm	mm	mm	
UMTB 105	12	105	2300	5,5	126	558	230	41

Desky: kladné: mřížková, tyčová nebo trubičková, Pb, Pb+Sb, Pb+Ca, Pb+Ca+Se (Sn).

Záporné elektrody: mřížka Pb+Sb.



Obr. č. 1.18: Konstrukce baterie typu FIAMM UMBT 105

Obal: Obal a kryt akumulátoru jsou vyrobeny z plastu ABS odpovídajícímu US standard UL 94 V-0 a evropské normě IEC 707 FVO. Tento materiál je odolný proti úderu, nepodporuje hoření. Obal akumulátoru je schopný obstát tlakovým rozdílem, které vznikají v akumulátoru během jeho provozu.

Separátory: laminovaná tkanina.

Elektrolyt: kyselina sírová o hustotě 1.24 g/cm³ při teplotě 20 °C.

Ventily: jednosměrný ventil pro uvolnění plynů v případě nadměrného vnitřního tlaku.

Svorky akumulátoru: Kontakty závitových čepů jsou určeny pro minimální aktivní ztráty.

1.3.3. Akumulátory Banner Batterien GiVC 12-80.

Olovené kyselinové akumulátory. Podle [L9].

Kyslíkové rekombinace uvolňují kyslík v pozdějších fázích nabíjení, prochází póry separátoru od kladné elektrody k záporné, kde je redukován na vodu, což snižuje množství plynného kyslíku a vodíku vznikajícího při přebíjení akumulátoru. Tak bylo dosaženo prakticky úplné hermetičnosti těchto baterií. Absolutně bezúdržbové.

Akumulátory jsou vybaveny ventilem, který slouží k regulaci tlaku uvnitř akumulátoru (10 - 40 kPa). Jeho konstrukce je řešena tak, že neumožňuje průnik vzduchu z okolního prostředí do prostoru akumulátoru. Akumulátor vydrží do 1000 nabíjecích/vybíjecích cyklů.

Tab. č. 1.21: Parametry Banner GiVC 12-80

Napětí (V)	Kapacita (Ah)				Rozměry			Zapojení	Provedení
	C 20	C 10	C 5	C 3	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)		
12	80	77,8	68,1	60,6	260	168	211	B	M8

Konstrukce:

- Kladná elektroda: Výkonná mřížka z olova/vápníku napenetrovaná aktivní hmotou
- Záporná elektroda: Výkonná mřížka z olova/vápníku napenetrovaná aktivní hmotou
- Separace: Mikroporézní separátor z duroplastu
- Materiál nádoby baterie: ABS s rázovou houževnatostí
- Elektrolyt: Vysoce čistá kyselina sírová navázaná v gelu
- Provedení pólů: Utěsnění epoxidovou pryskyřicí proti úniku elektrolytu
- Propojení článků: Zatavené uvnitř, procházející skrze stěny nádoby baterie
- Zátky článků: Bezpečnostní ventil s přetlakovým odvzdušňovacím systémem s otevíracím tlakem plynu 1,5 – 2 psi (10,5 – 14 kPa)

Vlastnosti:

- Blokované baterie, jmenovité napětí 12 V
- Libovolná pracovní poloha baterie

- Absolutní bezúdržbovost po celou dobu životnosti baterie
- Napětí při udržovacím nabíjení 2,27 V/článek
- Doporučená okolní teplota 20 °C (rozmezí od -15 °C do +50° C)
- Nízké samovolné vybíjení
- Od kapacity 26 Ah kompatibilní pólové přípojky typu "insert"
- Nejedná se o nebezpečný náklad v souladu s předpisy Federálního úřadu pro letectví FAA.

1.3.4. Srovnání akumulátorů.

Podle tab.č. 1.22 olověný akumulátor má největší čas nabíjení, avšak procenta samovybíjení je nejmenší. Zjednodušeně se dá říci, že má dobrý rozsah pracovní teploty a potřeba nabíjení je 2 krát na rok. Výhodou NiCd koncepce je nižší pracovní teplota a čas nabíjení, ale mají vyšší procentuální samovybíjení. Nevýhodou je potřeba nabíjení každý měsíc. NiMH akumulátory mají nižší čas nabíjení než u olověných akumulátoru ale vyšší než u NiCd. Nevýhodou je samovybíjení, cca třetina kapacity akumulátoru se ztratí za měsíc. Li-ion a Li-pol technologie jsou stejné mezi sebou, oba druhy nepotřebují nabíjení ve skladovacím stavu.

Tab. č. 1.22: Srovnání sekundárních článků

Charakteristika	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-pol
Data vzniku	1900	1950	1990	1991	1999
Čas nabíjení (hod)	8	1	3	2	3
Samovybíjení (%/měsíc)	5	20	30	10	10
Pracovní teplota (°C)	-30	-40	-20	-20	0
Potřeba nabíjení	1/(6 mes)	1/(1mes)	1/(3 mes)	ne	ne

1.3.5. Budoucnost.

Podle [L8]



Firma Ambri vyvíjí baterie s roztavenou solí mezi dvěma vrstvami z tekutého kovu. Firma uvádí, že projekt potřebuje ještě alespoň 2 roky před uvedením na trh.



U firmy Imprint Energy používají v baterii zinek místo lithia. Tato baterie je ultra-tenká, vysoko-energetická a levná. Společnost vyrábí malé množství baterií pro své první zákazníky a plánuje zahájit plnohodnotnou produkci za pár let.



Alveo Energy

Cílem firmy je uvádět na trh baterie vyrobené z vody, pm barviva, železa a mědi . Baterie musí být ultra- levné a trvanlivé.

Envia

Teoreticky lithhium-iontová baterie této firmy může poskytnout pro auta energii na 300 mil (482,803 km) za cenu \$ 20,000 - 30,000.

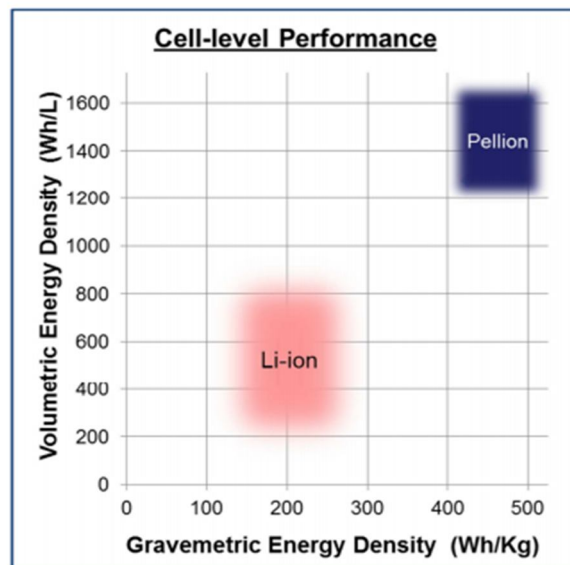
Prieto Battery



Firma provádí vývoj lithhium-iontové baterie, kterou lze nabít za dobu pouhých 5 minut a provozovat 5x delší než dnešní akumulátory. Společnost používá pro anodu nano měď resp. nano-vodiče. Elektrolytem je pevný polymer.

Pellion

Vědci fy Pellion pracují s hořčíkovou anodou, vytvořili špičkové algoritmy a počítačové modely, které umožňují testovat více než 10.000 katod pro dokonalou kompatibilitu elektrod.



Obr. č.1.19: Perspektiva ideální baterie Pellion ve srovnání s Li-ion akumulátorem



Firma se zabývá vylepšením baterie pomocí nanostruktur anody z křemíku. Tato technika může rovněž umožnit významné zvýšení kapacity baterie.

2. Analýza charakteristik základních typů moderních akumulátorů.

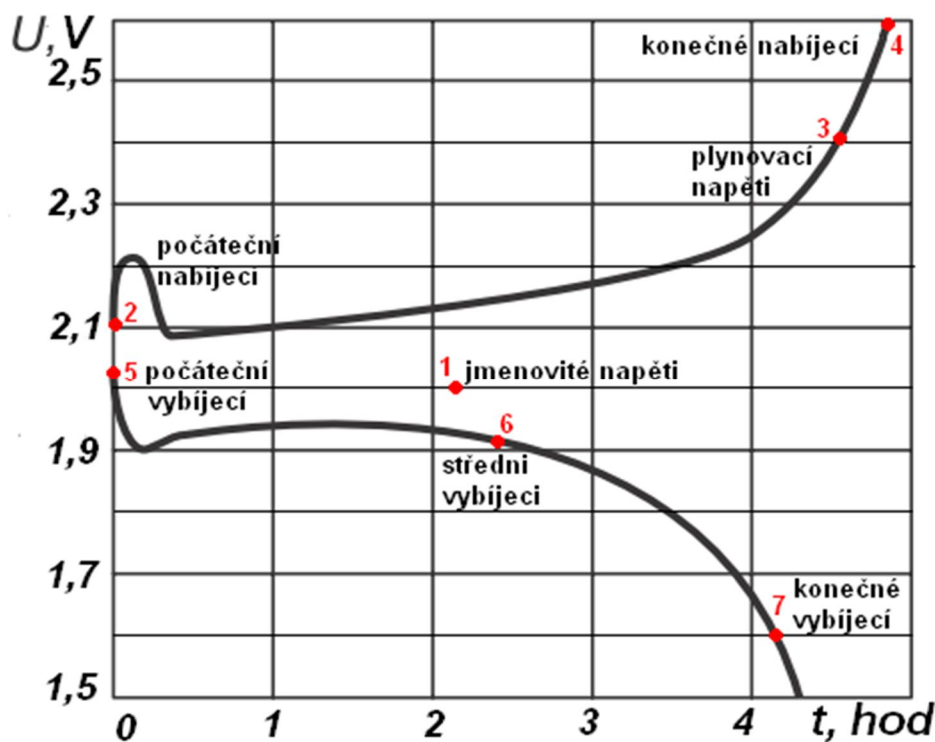
Napětí akumulátoru není během provozu konstantní, ale mění se podle pracovních podmínek. Je ovlivňováno intenzitou nabíjecího a vybíjecího proudu, stupněm nabití nebo vybití akumulátoru, jeho vnitřním odporem, teplotou a hustotou elektrolytu.

Na obr.č. 2.1 je nabíjecí a vybíjecí křivky olověného akumulátoru při nabíjení a vybíjení konstantním proudem. Na křivkách jsou znázorněny charakteristické body napětí.

Bod 1: Jmenovité napětí akumulátoru se u olověných akumulátorů udává cca 2 V.

Bod 2: Počáteční nabíjecí napětí je napětí po zapnutí akumulátoru na nabíjení.

Bod 3: Plynovací napětí je napětí 2,4-2,5V na článek při kterém akumulátor začíná plynovat. Vznikající vodík tvoří s kyslíkem výbušnou směs, musí být při používání akumulátorů dodržována předepsaná bezpečnostní opatření, uvedená v podkap. 1.2.6.3.



Obr.č. 2.1: Nabíjecí a vybíjecí křivky olověného akumulátoru

Bod 4: Konečné nabíjecí napětí je napětí akumulátoru na konci jeho nabíjení. Velikost konečného nabíjecího napětí je závislá na typu akumulátoru.

Bod 5: Počáteční vybíjecí napětí je nižší než napětí nabitého akumulátoru. Pokles napětí při vybíjení je závislý na vnitřním odporu akumulátoru, velikosti vybíjecího proudu, teplotě elektrolytu a dalších faktorech.

Bod 6: Střední vybíjecí napětí je dáno jako aritmetický průměr z křivky nabíjecího napětí. Slouží k výpočtu wattodinové účinnosti akumulátoru.

Bod 7: Konečné vybíjecí napětí je napětí na konci vybíjení akumulátoru. Velikost konečného nabíjecího napětí je závislá na typu akumulátoru.

2.1. Nabíjecí charakteristiky.

Podle obr. č. 2.1 nabíjecí napětí je vyšší než napětí akumulátoru naprázdno. Čím je větší nabíjecí proud, tím má průběh napětí vyšší hodnoty. Při konstantním nabíjecím proudu akumulátory s větším vnitřním odporem dosahují vyšších hodnot nabíjecího napětí.

Akumulátor je nabit v případě:

- hustota elektrolytu $1,285 \text{ g/cm}^3$ a se nemění po dvě hodiny,
- při nabíjení napětí na článek $2,6 \text{ V} - 2,7 \text{ V}$ a nevzrůstá,

Nabíjecí charakteristika: na začátku nabíjení vzroste svorkové napětí podle obr. č. 2.1. Při dosažení svorkového napětí akumulátoru $2,4 \text{ V}$ na článek je akumulátor nabit na cca 80% kapacity. Při přebíjení stoupne napětí na $2,7 \text{ V}$ až $2,8 \text{ V}$ na článek. Po ukončení nabíjení klesne napětí na $2,4 \text{ V}$ na článek a potom do $13,4 \text{ V}$.

Podmínky nabíjení:

- provozní nabíjení

Provozní nabíjení předpokládá, že nabíjíme články, jejichž napětí není menší než konečné vybíjecí napětí. Datasheet udává maximální nabíjecí proud a teplotu článků při nabíjení.

- prvotní nabíjení

Provádí výrobce. Před exploatací vhodné provést 2 nabíjecí/vybíjecí cykly.

- regenerační nabíjení

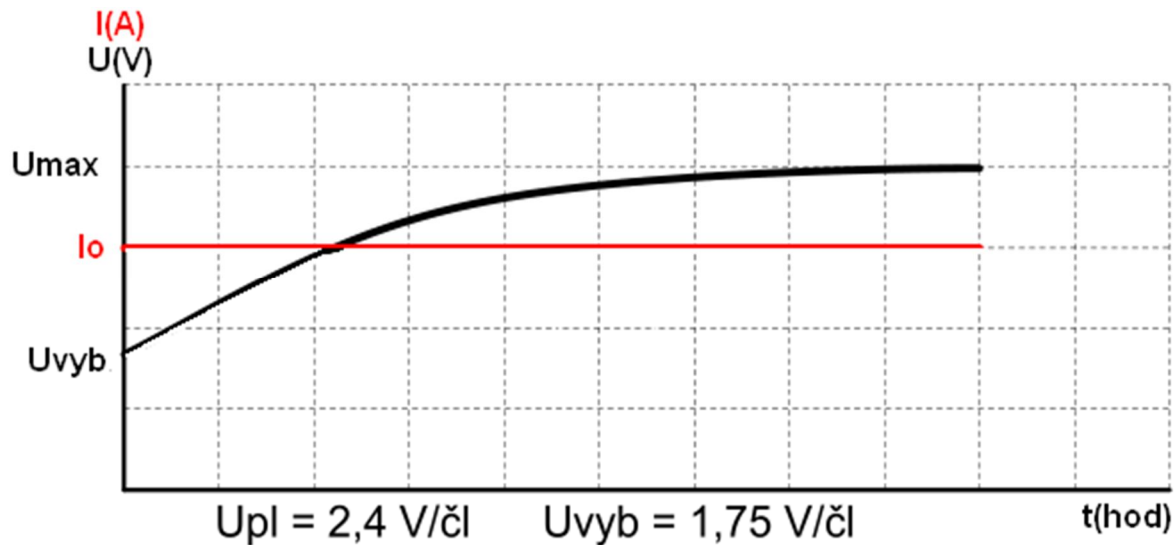
Nabíjení větším proudem do vyššího konečného napětí.

Standardní nabíjení je doporučeno výrobcem v technické dokumentaci k výrobku. U akumulátorů větších kapacit (15 Ah a více) je jako standardní nabíjení za 6 až 20 hod.

2.1.1. Charakteristika I.

Normativní odkaz IEC 60095-1:2006 Lead-acid starter batteries - Part 1 (MOD). 8.2.1. Dobíjení konstantním proudem, jehož hodnota se nastavuje zpravidla na 0,08 až 0,1 násobek

jmenovité kapacity akumulátoru. Vybitý akumulátor takto plně nabijeme za cca 10 až 14 hodin. Výhodou je výpočet dodaného náboje, stačí znát dobíjecí proud a čas, po který nabíjíme. Nevýhodou je veliký dobíjecí proud.



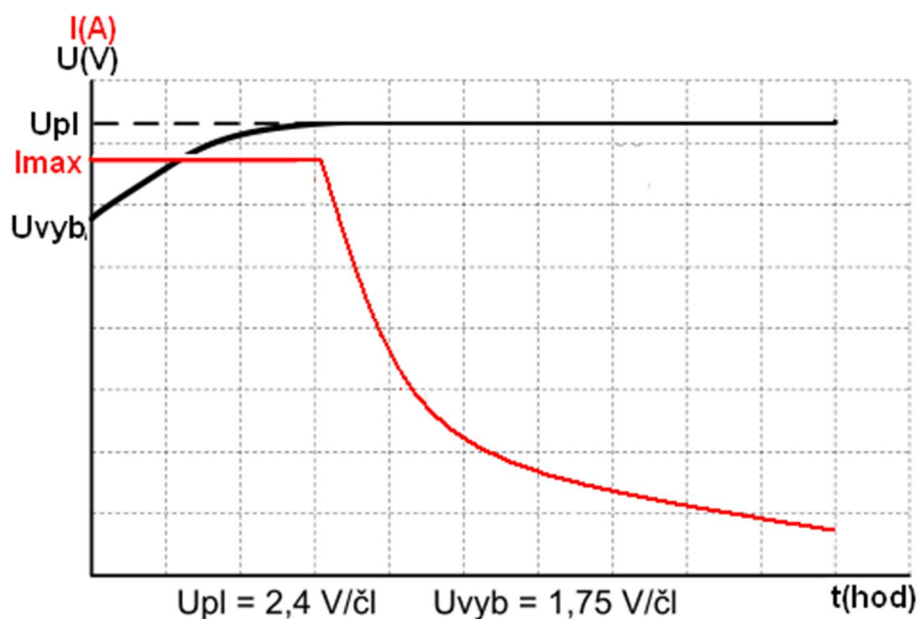
Obr. č. 2.2: Nabíjecí charakteristika I_0

Hrozí tedy značné přebíjení, pokud není nabíječka vybavena automatikou.

Nabíjecí charakteristika I_0 je jednostupňové nabíjení (v jedné fázi). Při nabíjení konstantním proudem je vložený náboj úměrný době nabíjení a při známé Ah kapacitě článku (pokud byl zcela vybit) lze snadno určit potřebnou nabíjecí dobu.

2.1.2. Nabíjecí charakteristiky – IUa.

Normativní odkaz IEC 60095-1:2006 Lead-acid starter batteries - Part 1 (MOD). 8.2.2. [L11]. Obvykle se začíná například nabíjet konstantním proudem a po dosažení „plynovacího napětí“ přechází nabíječka na nabíjení konstantním napětím. Tato nabíjecí charakteristika je označována jako „IU“.



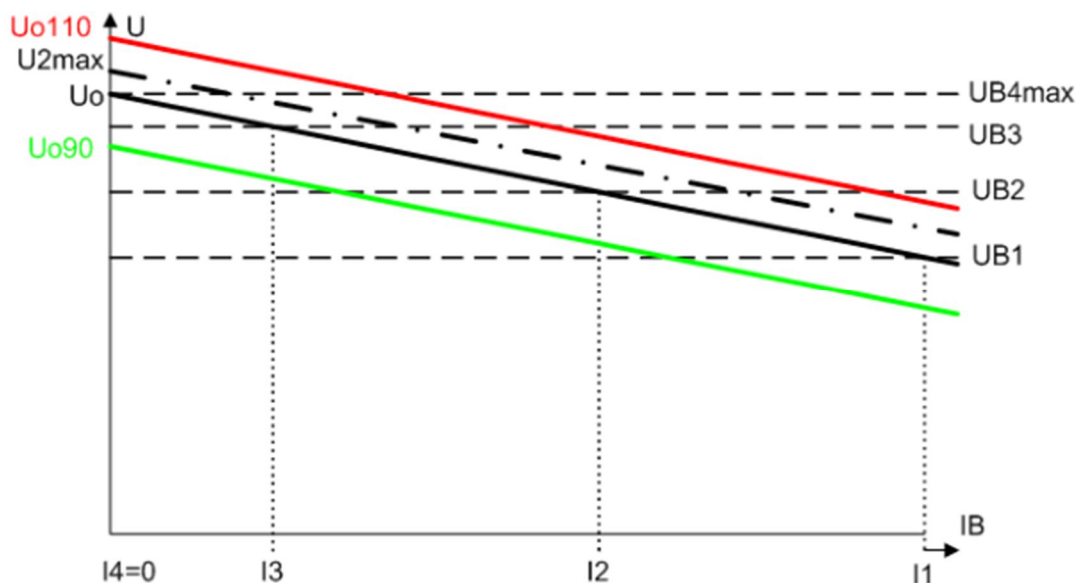
Obr. č. 2.3: Nabíjecí charakteristika IUa

Nabíjení ve dvou fázích nabíjecího procesu. Je to základní nabíjecí charakteristika. V první fázi je akumulátor nabíjen konstantním proudem. Velikost proudu určuje I_{max} akumulátoru nebo nabíječe. U Pb akumulátorů tato fáze končí dosažením napětí počátku plynování (hrany plynovacího napětí), u ostatních druhů dosažením max. nabíjecího napětí. V druhé fázi udržujeme napětí na této hodnotě až do poklesu proudu asi na 5% I_{max} . Tím nabijeme akumulátor asi na 95% CAjmen.

2.1.3. Charakteristika W.

Jedná se o dobíjení s klesajícím proudem a zvyšujícím se napětím. Díky zvyšování svorkového napětí akumulátoru klesá nabíjecí proud, ne tak brzo jako při nabíjení konstantním napětím. Nabíječe s touto charakteristikou nabíjejí rychle.

Přirozená nabíjecí charakteristika. Nabíječ je bez regulačních prvků. Regulace nabíjecího proudu je přirozená a je dána zatěžovací charakteristikou síťového transformátoru. Na počátku nabíjení je nabíjecí proud největší, s nárůstem napětí nabíjeného akumulátoru postupně klesá, při dosažení napětí plně nabitého akumulátoru je proud nulový.



Obr. č.: 2.4 Nabíjecí charakteristika W_o

2.1.4. Charakteristika U.

Nabíjení konstantním napětím, jehož hodnota se nastavuje na „plynovací napětí“ akumulátoru, tedy na cca 14,4 až 14,8V. Zahájíme nabíjení velkým proudem kde jeho velikost bude závislá na hloubce vybití akumulátoru, který se konstrukčně zpravidla omezuje na max. 0,5 až asi 1 x násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Kdy napětí akumulátoru zvyšuje, klesá dobíjecí proud. Konečný nabíjecí proud dosahuje asi 0,002 násobku jmenovité kapacity akumulátoru. Vybitý akumulátor takto plně nabijeme za 10 až 15 hodin, však už za 1 až 2 hodiny je akumulátor nabit na 80% konečné kapacity. Doporučuje se nepřekročit 40 C. Výhodou nabíjení je rychlost nabíjení

2.1.5. Další nabíjecí charakteristiky.

Udržovací nabíjení (udržovací proud) – je způsob udržovacího dobíjení. Udržování akumulátoru v plně nabitém stavu nízkým proudem řádu miliampér nebo několika málo desítek mA. Tento udržovací režim představuje často nabíjení konstantním napětím o snížené hodnotě okolo 13,6V. Dobíjíme konstantním proudem o hodnotě okolo 0,0005 až 0,001 jmenovité kapacity akumulátoru, pro akumulátory s malým vnitřním vybíjením (gelové, AGM) volíme proudy cca poloviční.

Univerzálně akceptovanou hodnotou napětí je 14,4V – vyhovuje prakticky všem typům olovených akumulátorů. U klasického akumulátoru ukončíme nabíjení při napětí akumulátoru 16,2 – 16,8 V, a při dosažení hustoty elektrolytu 1,28 g/cm³. V případě VRLA (Valve

Regulated Lead Acid) akumulátorů splňují napětí: 14,1 – 14,4 V pro gelové akumulátory, 14,4 – 14,8 V pro AGM. Pro kontrolu potřebujeme přesný voltmetr. Nabíjení ukončíme po dosažení plynovacího napětí akumulátoru u gelových cca 14,4V, u AGM cca 14,6V. Podle tab.č. 7

Tab. č.2.1: Závislost napětí na stavu nabití olověných akumulátorů

Typy	100%	75%	50%	25%	vybitý
VRLA	12,6-12,8 V	12,4-12,5V	12,1-12,2V	11,9-12,0V	11,8V
GEL	12,8 V	12,5-12,6V	12,2-12,3V	12,0-12,1V	11,8V
AGM	12,8V	12,5-12,6V	12,2-12,3V	12,0-12,1V	11,8V

2.1.6. Rychlonabíjení.

Rychlé nabíjení obvykle předpokládá nabíjení za 2 až 5 hodin, pro elektromobily požadovaná doba nabíjení 1 až 2,5 hod.

Požadavky:

- minimální doba nabíjení
- přijatelná životnost akumulátorů
- akumulátor nemusí být nabit pro většinu aplikací na 100%

Technické problémy:

- při nabíjení velkými proudy vzniká větší množství tepla
- maximální přípustná teplota akumulátoru při nabíjení bývá 65°
- vnitřní konstrukce akumulátoru musí být dimenzována na velké proudy.

2.1.7. Pulzní nabíjení.

Pulzní nabíjení umožňuje řízení výšky a šířky pulzu. Výhodou pulzního nabíjení je možnost vložení počtu kladných pulzů po určitou dobu trvání. S rostoucí frekvencí snižuje vznik plynů a sulfatace elektrod. Při použití záporného pulzu vnitřní odpor článku je malý, protože pulz snižuje polarizaci elektrod. Snižuje nárůst teploty.

2.1.8. Přebíjení.

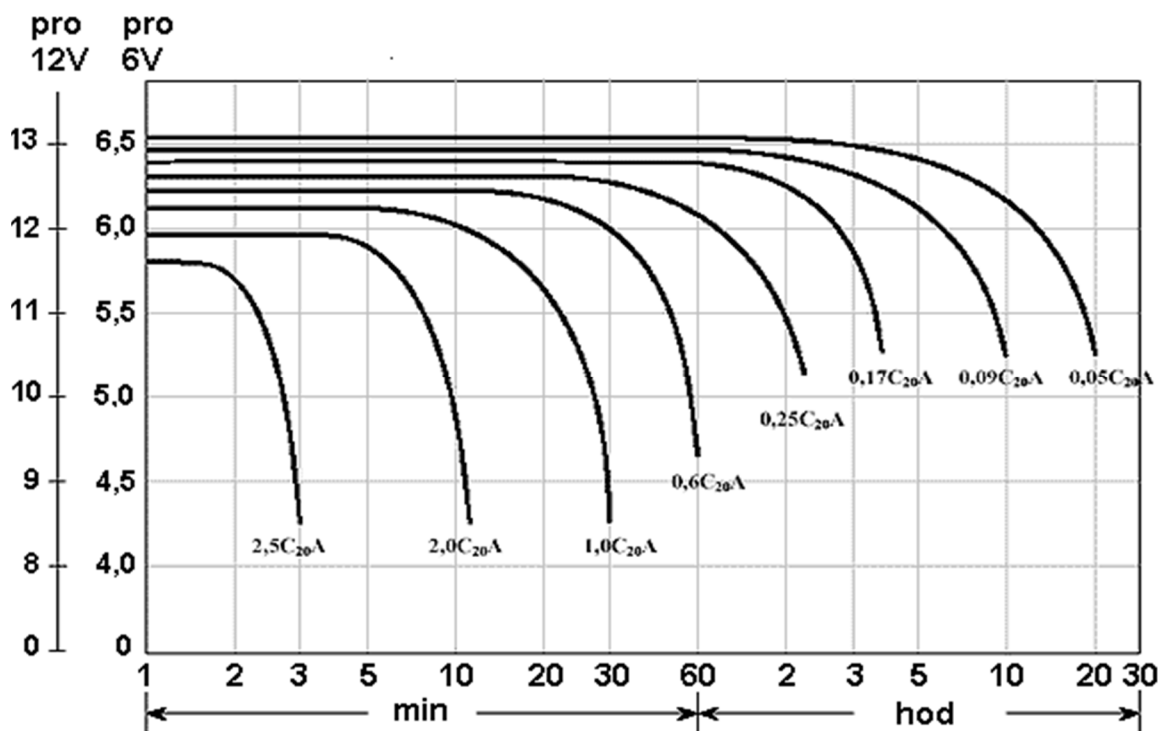
Způsobuje urychlení koroze olověné mřížky kladných elektrod.

2.1.9. Neúplné nabíjení.

Když akumulátor nedobijeme na plnou kapacitu, tak nedojde k rozkladu veškerého sulfátu. Síran olovnatý má tendence obalovat již usazené krystalky sulfátu. Tim snižujeme kapacitu a zkracujeme životnost akumulátoru.

2.2. Vybíjecí charakteristiky.

Na obr. 2. 2 je osm různých vybíjecích charakteristik pro osm různých vybíjecích proudů.



Obr.č. 2.5: Závislost vybíjecího proudu na čase

Po připojení zátěže k akumulátoru klesne napětí z klidové hodnoty asi na 2V. Při vybíjení se kyselina spotřebovává na vytvoření PbSO₄ její hustota na povrchu desek se snižuje, vzrůstá vnitřní odpor a svorkové napětí klesá. Při vybíjení klesne svorkové napětí rychle na cca 12,6 až 12,8 V. S vybíjecím proudem do 1,5 A se snižuje svorkové napětí až na 10,5 V, hustota elektrolytu dosahuje 0,95 g/cm³. Při vybíjecím proudu od 6 A svorkové napětí klesne do 8 V.

Vybíjecí charakteristika ukazuje, že pro vybití baterie na minimální hodnotu napětí nám při vybíjecím proudu 0,05 C₂₀ A trvá přibližně 20 hod. Pokud vybíjíme baterie proudem 2,0 C₂₀ A, je baterie vybita za 10 min.

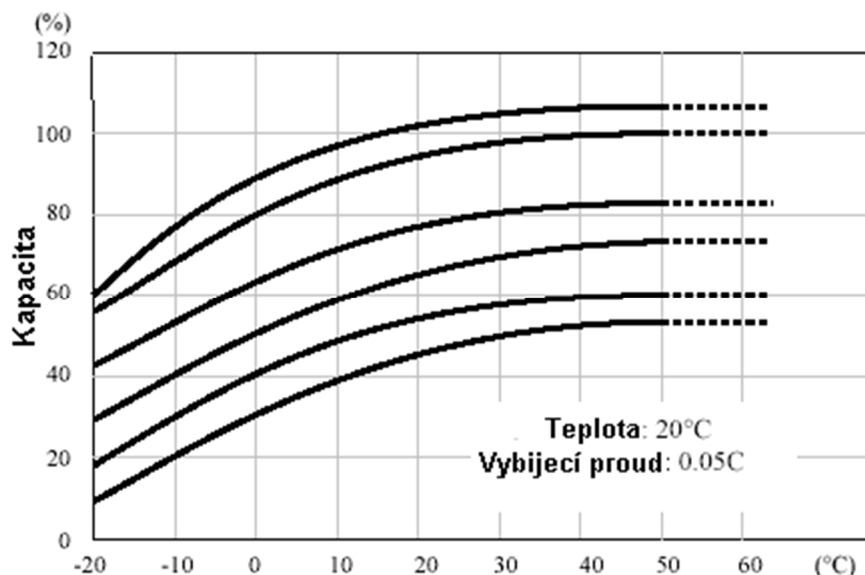
2.2.1. Hluboké vybíjení.

Je to takové vybíjení, při kterém napětí klesá k hladině 9,5 V. Musíme ihned nabít akumulátor, jinak jej ohrozíme masivní sulfatací. Akumulátor se vydrží hluboce vybitý nejvýše 1-2 dny, AGM 1-2 týdny, gelový- 4 týdny. Čím déle je akumulátor ve stavu

hlubokého vybití, tím menší je jeho životnost a vlastnosti.

2.2.2. Závislost pracovního napětí článku na teplotě.

Na obr.č.: 2.4 je zobrazena závislost pracovního napětí článku na teplotě. S klesající teplotou klesá hodnota kapacity akumulátoru, a s rostoucí teplotou roste i hodnota kapacity.



Obr. č. 2.6: Vybíjecí křivka při různých teplotách baterie

Dosahovaná napětí na svorkách akumulátoru jsou deklarována obvykle pro 25 °C. Čím nižší teplota, tím nižší kapacita a naopak. Přibližně lze uvažovat, že na každých 10 °C teplotní odchylky, kapacita mění o cca 10%. Při práci za nižších teplot kapacita klesá rychleji.

2.2.3. Samovybití.

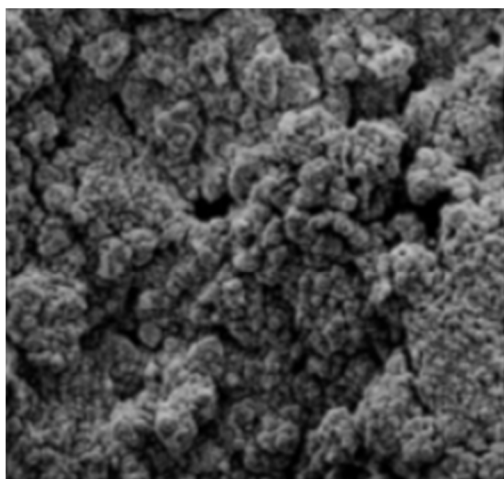
Optimální podmínky pro skladování baterií jsou při teplotě 0°C až 25°C. Olověné akumulátory skladujeme vždy v nabitěm stavu. Samovybití baterie se pohybuje mezi 0,2 V za měsíc. Samovybití akumulátorů se zaplavenými elektrodami se vybití do cca 6 - 9 měs. Kapacita klesne po této době plně nabitého akumulátoru na 80% původní hodnoty. Samovybitím akumulátory snižují své svorkové napětí asi o 8-10 mV/den, AGM asi o 3-4 mV/den a gelové asi o 2 - 3 mV/den. U gelového akumulátoru kapacita klesne cca 6 měsíců, AGM za 4 měsíce, se zaplavenými elektrodami cca za 2 měsíce. Samovybití je silně závislé na okolní teplotě a se stářím akumulátoru se zhoršuje. Jestliže VRLA akumulátor ztratí 30% své kapacity při 25 °C za 6 měs, pak při 40 °C to je už za 2-3 měs. Skladovat akumulátory je potřeba v chladné a suché místnosti.

2.2.4. Sulfatace.

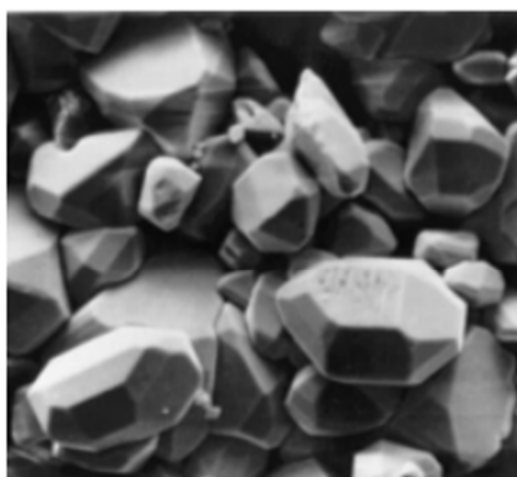
Sulfatace vznikají při vybití akumulátoru, je tvorba síranu olovnatého na mřížkách,

drobné krystaly, ke kterým váže PbSO_4 . Tím snižují účinnou plochu mřížek, zvyšuje vnitřní odpor a snižuje kapacitu akumulátoru. K největší sulfataci dochází při nedobíjení, přičemž krystaly neredukují a při dalším vybíjení dále narůstají. Krystaly jsou podobné sklu viz obr.č. 2.12. Sulfataci podporuje hluboké vybíjení 10,5 V nebo nižší. Při masivní sulfataci je akumulátor nenávratně poškozen.

Příznaky sulfatace: snížení jeho kapacity, při nabíjení zaznamenáváme vyšší teplotu elektrolytu, články začínají brzy plynovat při nabíjení, svorkové napětí může být v průběhu nabíjení vyšší.



a



b

Obr. č.2.7: a) povrch bez známek sulfatace

b) masivní sulfatace

Desulfatace mřížek probíhá při nabíjení malým konstantním proudem o velikosti cca 0,05 až 0,025 násobku kapacity akumulátoru až do úplného nabití bez ohledu na dobu nabíjení. Pokročilou sulfataci odstranit nelze.

Hlavní příčiny sulfatace:

- dlouhodobé vyřazení akumulátoru z činnosti, zejména není-li dostatečně nabit.
- dlouhodobé nedostatečné dobíjení.
- vybíjení pod hranici napětí 1,7 V na článek.
- vybíjení pod hranici jmenovité kapacity.
- nedostatečná výška hladiny elektrolytu.

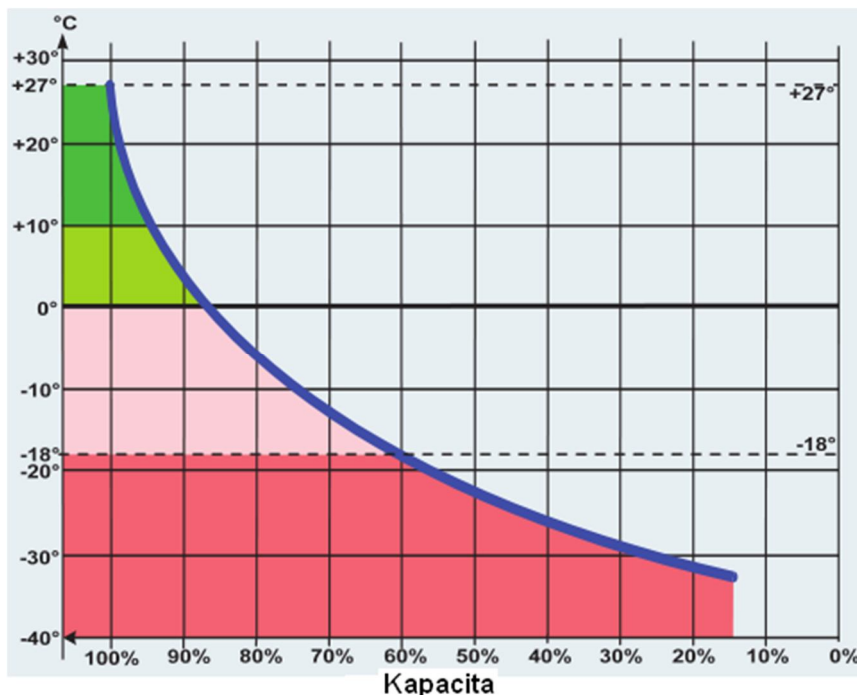
2.3. Kapacita akumulátoru.

Kapacita představuje elektrický náboj akumulátoru. Kapacita je elektrické množství energie, které můžeme za určitých podmínek získat z akumulátoru. Čím je větší povrch aktivní hmoty desek, tím je větší kapacita akumulátoru. Nejsou konstantní hodnoty. Kapacita akumulátoru klesá s růstem vybíjecího proudu a dále s poklesem teploty elektrolytu. Podle

normy ČSN EN 60 095-1 jmenovitá kapacita je dvacetihodinová C₂₀, výrobci akumulátorů používají C₁₀ a C₅ jmenovité kapacity.

2.3.1. Závislost kapacity na teplotě.

Na obrázku je zobrazena závislost kapacity na teplotě. Z grafu je patrné, že s klesající teplotou výrazně klesá hodnota dostupné kapacity článku.



Obr. č. 2.8: Závislost kapacity na teplotě [L7]

Měření hodnoty kapacity podle předepsaných podmínek podle 2.1.

$$C = I \cdot t, \text{ Ah} \tag{2.1}$$

kde: I- vybíjecí proud, A

t- doba vybíjení, hod.

2.4. Analýza základních charakteristik akumulátorů.

Olověné akumulátory jsou typově nejstarší. Měrná energie nepřevyšuje 30 až 50 Wh/kg. Napětí jednoho článku je cca 2 V. U alkalických akumulátorů (metal hydridové) měrná energie dosahuje 80-120 Wh/kg. Měrná energie Lithiove akumulátoru je dosahuje rozsahu 90-190 Wh/kg.

Největší naději pro aplikaci v elektromobilech mají baterie Li-ion nebo Li-polymerové. Získat o mnoho větší měrnou energii není ze zásadních fyzikálních důvodů nadějně.

Tab. č. 2.2: Parametry olovených akumulátorů různých technologie

Charakteristika	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion (kobalt)	Li-ion (mangan)	Li-ion (fosfát)
Kapacita W/kg	30-50	30-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Cykly (do 80%)	500-1000	1000-2000	1000-2000	1000	1000	1500
Samovybíjení (%/mes)	5	20	30	10	10	10
Vnitřní odpor (mΩ)	30-50	100-200	60-120	110-160	110-160	110-160
Rychlonabíjení, (hod)	8-16	1	2-4	2-4	2-4	2-4
Kapacita	2*	2*	3*	5*	4*	4*
Cykly (nabíjení/vybíjení)	3*	5*	5*	4*	4*	5*
Min. čas vybíjení	3*	5*	4*	4*	4*	4*
Pracovní teplota	4*	5*	3*	3*	3*	3*
Samovybíjení	5*	3*	2*	4*	4*	4*
Napětí	3*	2*	2*	5*	5*	5*
Vnitřní odpor	5*	4*	2*	3*	3*	3*
Proud zatížení v závislosti na kapacitě	2*	5*	2*	2*	2*	3*
Toxicita	2*	1*	4*	5*	5*	5*
Cena	5*	4*	4*	4*	4*	4*
Střední hodnota	3,36*	3,27*	2,9*	3,55*	3,4*	3,64*

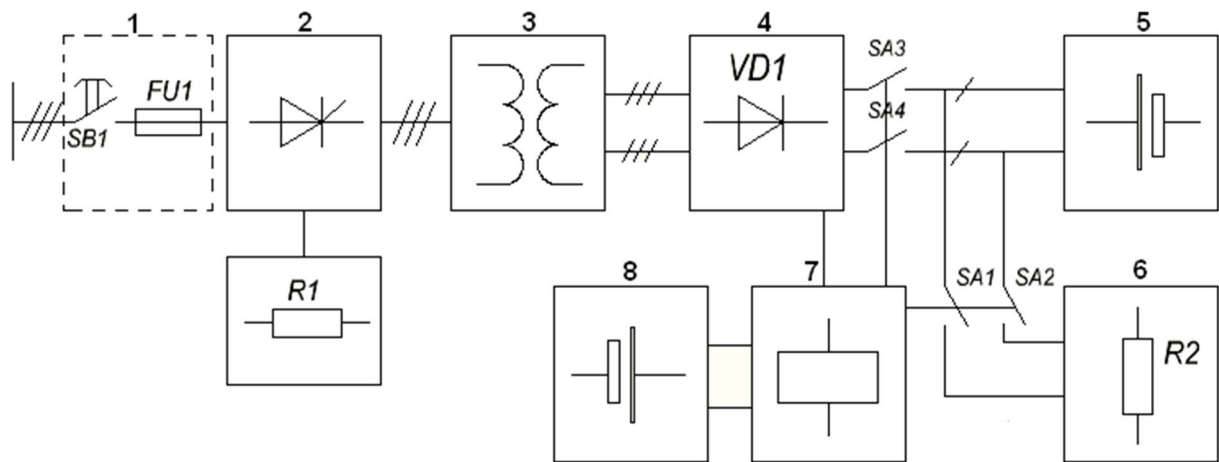
(*kde 1-nejhorší, 5-výborně)

3. Návrh koncepce pracoviště pro automatizovaný provoz, sběr a analýzu dat.

Pracoviště má být koncipováno s ohledem na nabíjení osobních elektromobilů popsanych v úvodní kapitole. Původním záměrem bylo navrhnout pracoviště tak, aby umožňovalo nabíjení vozidla CITROEN BERLINGO které je na katedře provozováno jako experimentální vozidlo v několika studentských projektech. Vozidlo Peugeot 106 pracuje s akumulátory SAFT typ STM5100 s celkovou kapacitou 100Ah, jmenovité napětí 162V. Dimenzování pracoviště má být provedeno tak, aby bylo možné jej provozovat jak v režimu rychlo-nabíjení na plnou kapacitu za cca 0,5 hod, tak v režimu pomalého nabíjení z distribuční 1F resp. 3F sítě 400V v běžné domácnosti (hlavní jistič 16 resp. 25A). Zároveň má být zdroj použitelný jako stacionární budič v zapojení s neřízeným usměrňovačem.

3.1. Výběr technických prostředků a návrh systému.

Vzhledem k požadavkům na univerzální použití zdroje byly zvolena základní koncepce dle obr.č.: 3.1:

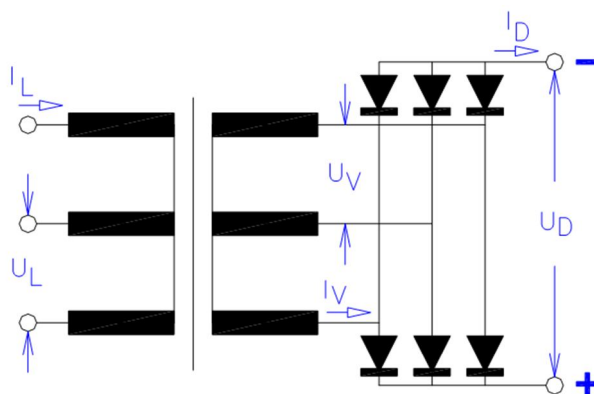


Obr. č.: 3.1 Koncepce pracoviště - obvodové schéma

Hlavní komponenty pracoviště dle obr 3.1 tvoří:

1. ovládání a jištění
2. vstupní měnič pracující s fázovou regulací
3. usměrňovačový třívlnutový transformátor
4. neřízený 12 pulzní usměrňovač
5. testovaný akumulátor
6. odporová zátěž pro cyklické testování
7. řídicí obvody a ovládání na bázi EASY relé
8. napájecí akumulátor pro řídicí obvody a ovládání

Z hlediska dimenzování je stěžejní volba provedení transformátoru a usměrňovače, které musí umožnit využití hlavních komponent v zapojení neřízeného usměrňovače pro budiče v laboratořích katedry. Z hlediska omezení velikosti zvlnění je proto zvoleno 12-ti pulzní usměrňování s paralelním zapojením dvou 6-pulzních můstkových usměrňovačů viz. obr.č. 3.2.

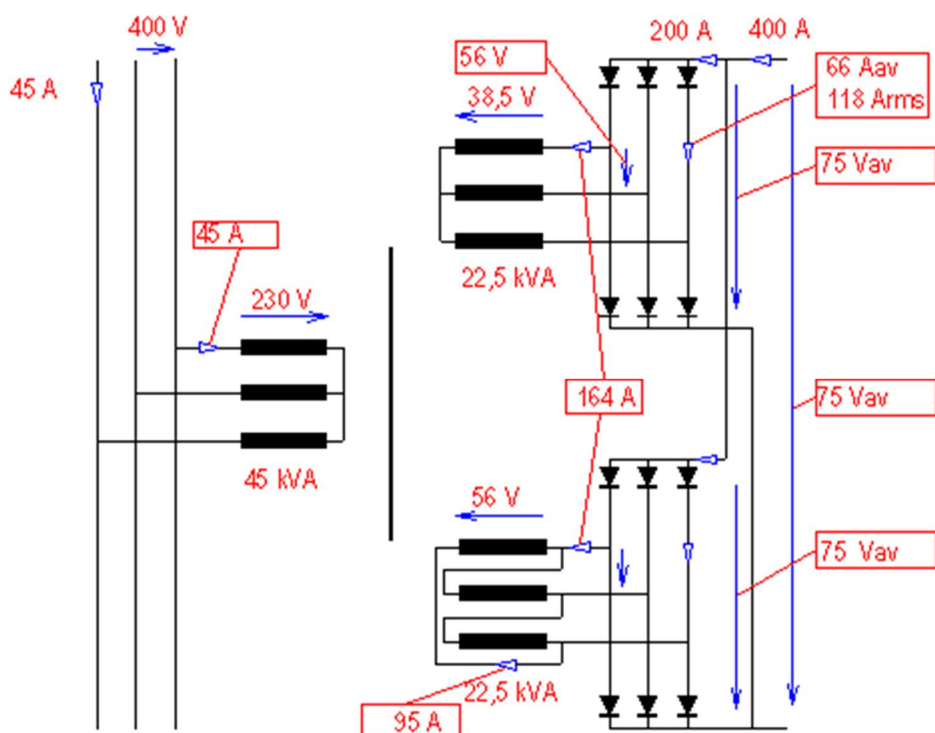


Obr. č. 3.2: Dimenzování transformátoru a usměrňovače, 2 x šestipulzní zapojení

Tab.č. 3.1: Parametry usměrnění dle obr.č.3.2

počet pulzů		6
kmitočet 1. harmonické	Hz	300
střední hodnota usměrněného napětí (U_D)	V	75
napětí sekundárního vinutí TR	V	55,5
činitel tvaru		1,001
zvlnění	%	4,2
střední proud usměrňovače (I_D)	A	200
střední proud diodou (I_V)	A	66
efektivní proud diodou	A	118
efektivní proud sekundárního vinutí	A	164
dimenzování sekundární strany TR	VA	15750
dimenzování primární strany TR	VA	15750
typový výkon TR	VA	15750
napětí primárního vinutí (U_L)	V	400
spojení primárního vinutí	-	Y
proud primárního vinutí (I_L)	A	22,7

Uspořádání a zatížení hlavních obvodů dvanáctipulzního usměrňovače je uvedeno na obrázku 3.3. Požadované napětí 150 V pro nabíjení akumulátorů vozidla Peugeot vznikne přepojením můstkových usměrňovačů do serie.



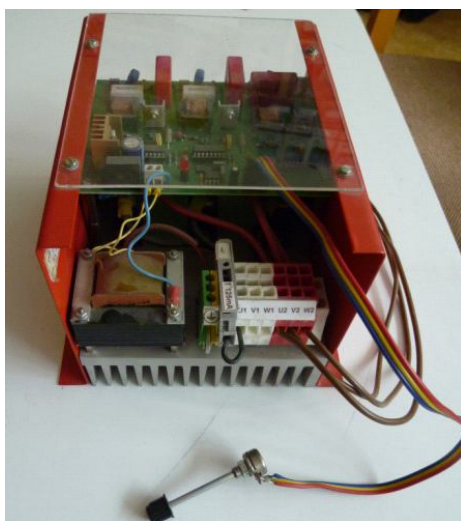
Obr. č. 3.3: Schema a dimenzování transformátoru a usměrňovače, v zapojení jako zdroj buzení

3.1.1. Vstupní měnič.

Jako fázový regulátor na vstupu transformátoru bude použit manuálně ovládaný měnič viz. obr. 3.4.

Tab.č. 3.2: Parametry měniče

Typové označení	RAM - 28
Počet fází	3
Jmenovité napětí	400 V
Jmenovitý proud	100 A



Obr. č. 3.4: Měnič RAM 28 3x 400V, 3 x 100 A

3.1.2. Usměrňovačový transformátor.

Transformátor vhodný pro realizaci zdroje není v laboratořích katedry k dispozici a je třeba ho zakoupit.

Tab.č. 3.3: Parametry transformátoru

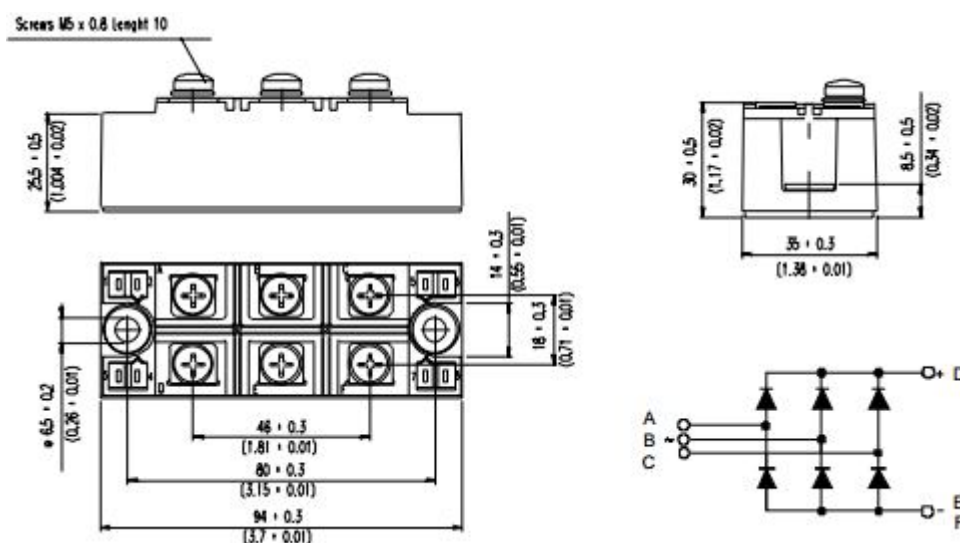
	třínuťový suchý usměrňovačový
Typový výkon	45 // 22,5 / 22,5 kVA
Jmenovité vstupní napětí	400 // 56 / 56 V
Spojení	Yny0d1
Jmenovitý proud	45 // 164 A
Chlazení	AN
Provedení	IP00
Třída izolace	F

3.1.3. Usměrňovač.

Usměrnění lze realizovat buď trojicí bezpotenciálových modulů na společném chladiči, případně jedním třífázovým můstkovým modulem viz. tab. č. 3.1. [L12].

Tab. č. 3.4: Parametry usměrňovače MT70KB SERIES

Třífázový můstkový modul	MT70KB SERIES
Napětí (U_D)	80 V
Střední proud usměrňovače (I_D)	200 A
Střední proud diodou (I_V)	70 A
Efektivní proud diodou	118 A
Provozní teplota	- 40 až 150 °C



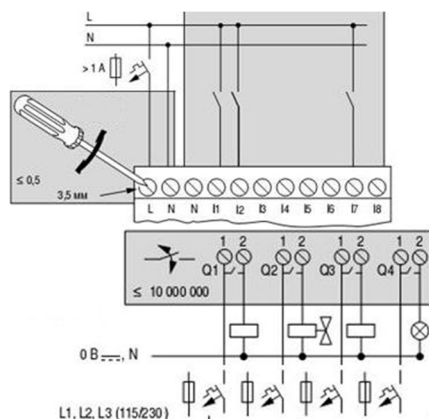
Obr. č. 3.5: Usměrňovač MT70KB SERIES

3.1.4. Zapojení řídicích obvodů.

Důležitou součástí systému je Eaton easy relé, které je ovládáno z prostředí Easy Soft pro 6.21. Serie EASY rele 512-DC-RCX. Programovatelné řídicí relé společnosti Moeller je pokrokovým řídicím přístrojem, který obsahuje: elektromagnetické relé, časové relé, časové spínače, čítač pulsů, komparátor apod. Zapojení silových obvodů umožňuje relé EasySoftu prostřednictvím logických vstupů (I), výstupů (Q) viz. obr. č. 3.6. Podle [L13].

Tab. č. 3.5: Parametry Easy rele 512

	EASY 512-AC-RCX	EASY 512-DC-RCX
Napětí napájení, V	115 / 240 AC	24 DC
Vstupy	8	8
Analogové vstupy	2	2
Výstupy relé	4	4
Proud výstupu, A	8	8
Čítač	8	8
Časové relé	16	16
Analogový komparátor	16	16
Marker	32	32
Pracovní teplota	-25°C,+50°C	-25°C,+50°C

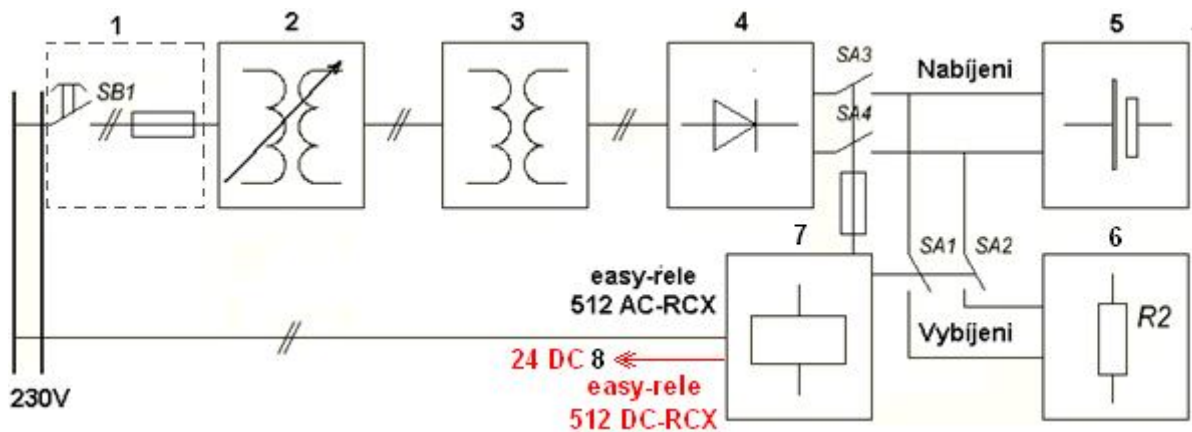


Obr. č. 3.6: Zapojení relé do ovládacího obvodu (vstupy a výstupy)

3.2. Zapojení pro experimentální ověření funkce pracoviště.

Vzhledem k tomu, že z finančních důvodů nemohlo být pracoviště realizováno s projektovaným výkonem, je dále popsáno pracoviště které bylo sestaveno pro provedení zadaných testů trakčních akumulátorů.

Pro testování trakčních akumulátorů, byla zvolena koncepce dle obr. č. 3.2. Toto zapojení je určeno pro měření kapacit jednotlivých akumulátorů 12V.

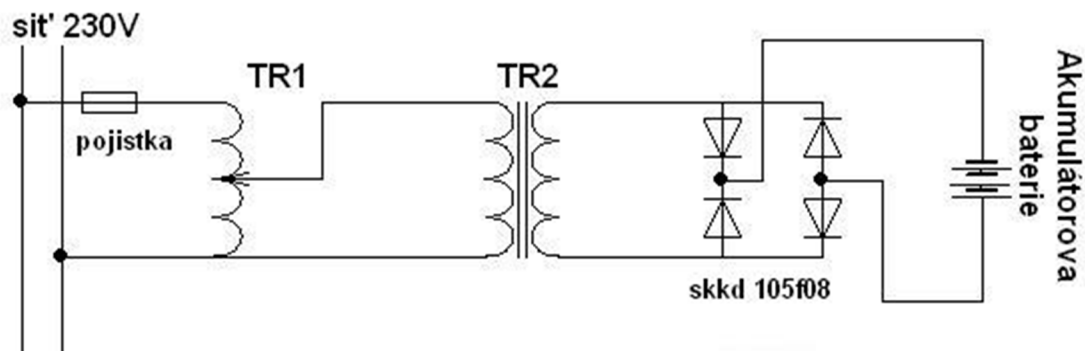


Obr. č. 3.7: Koncepte pracoviště - obvodové schema 2

Hlavní komponenty pracoviště dle obr. č. 3.7 tvoří:

1. ovládání a jištění
2. autotransformátor
3. jednofázový transformátor
4. neřízený usměrňovač
5. testovaný akumulátor
6. odporová zátěž pro cyklické testování
7. řídicí obvody a ovládání na bázi EASY relé
8. napájecí akumulátor pro řídicí obvody a ovládání

Dvoupulzní můstkové spojení (regulace napětí pomocí ATR)



Obr. č. 3.8: Schéma dvoupulzního můstkové zapojení

3.2.1. Řízení napětí na vstupu (autotransformátor).

Autotransformátor TR1 vhodný pro realizaci jsou k dispozici v laboratoře H104.

Tab. č. 3.6: Parametry autotransformátoru

Typové označení	ZPA Prešov, RA 10
Výkon, S	2,5 kVA
Jmenovité napětí	120/220 V
Řízené napětí	0/250 V
Jmenovitý proud	8-10 A
Frekvence, F	50-60Hz



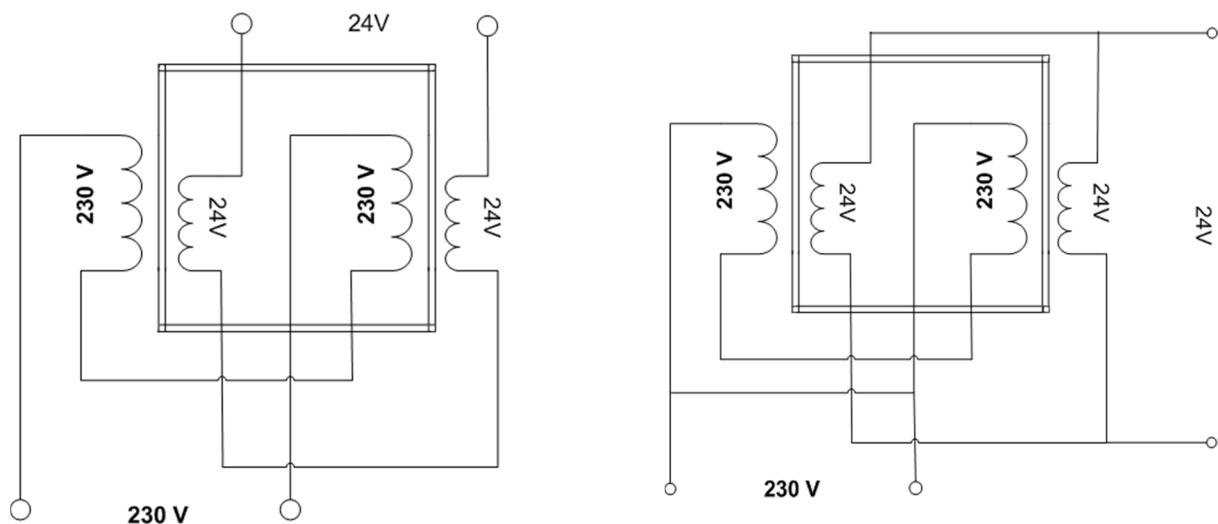
Obr. č. 3.9: Autotransformator ZPA Prešov, RA 10

3.2.2. Jednofázový transformátor.

Transformátor vhodný pro realizaci zdroje z inventáře laboratoře H104:

Tab.č. 3.7: Parametry jednofázového transformátoru TR2 dle obr. č. 3.8

Typové označení	dvouvinuťový suchý
Jmenovité vstupní napětí	230/24 V
Jmenovitý proud	20 A
Chlazení	AN
Frekvence, F	50-60Hz
Třída izolace	F



Obr. č. 3.10: Zapojení jednofázového transformátoru

Schema provedení jednofázového jadrového přepojitelného tototransformátoru viz. obr. č. 3.10.



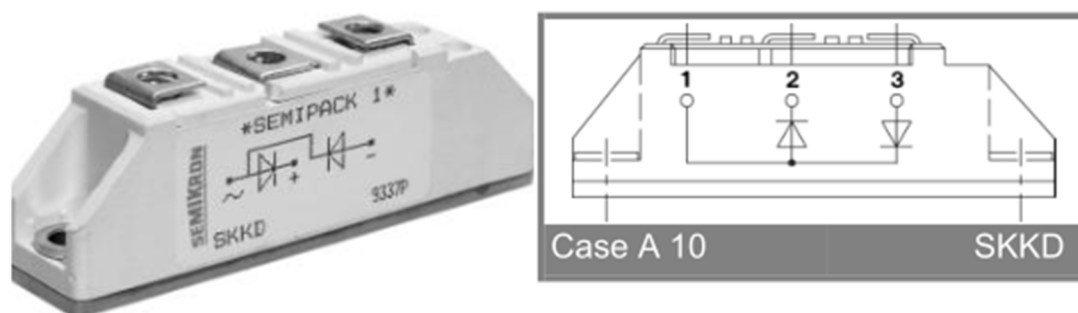
Obr. č. 3.11: Jednofazový transformátor

3.2.3. Usměrňovač.

Usměrnění lze realizovat můstkovým v spojení viz. obr. č. 3.8 pomocí dvou modulů roněž v lab. H104 viz. obr. č. 3.10. Technické parametry použitého výkonového modulu Semipack Fast Diode Modules skkd 105f08 jsou v tab. č. 3.8. Podle [L14].

Tab. č. 3.8: Parametry modulů SKKD 105F08

Můstkový modul	skkd105f08
Napětí diodou (U_D)	0-15V DC
Střední proud usměrňovače (I_D)	25 A
Střední proud diodou (I_V)	12 A
Provozní teplota	- 55 až 150 °C
Napětí (U_{RRM})	400 V
Proud (I_{FSM})	400 A



Obr. č. 3.12: Dioda skkd105f08

3.2.4. Zapojení řídicího obvodu.

Zapojení řídicího obvodu bylo realizováno pomocí EASY rele serie 512-DC-RCX (stejnoseměrné provedení), a variantně 512-AC-RCX (střídave provedení), parametry viz. tab. č. 3.5.

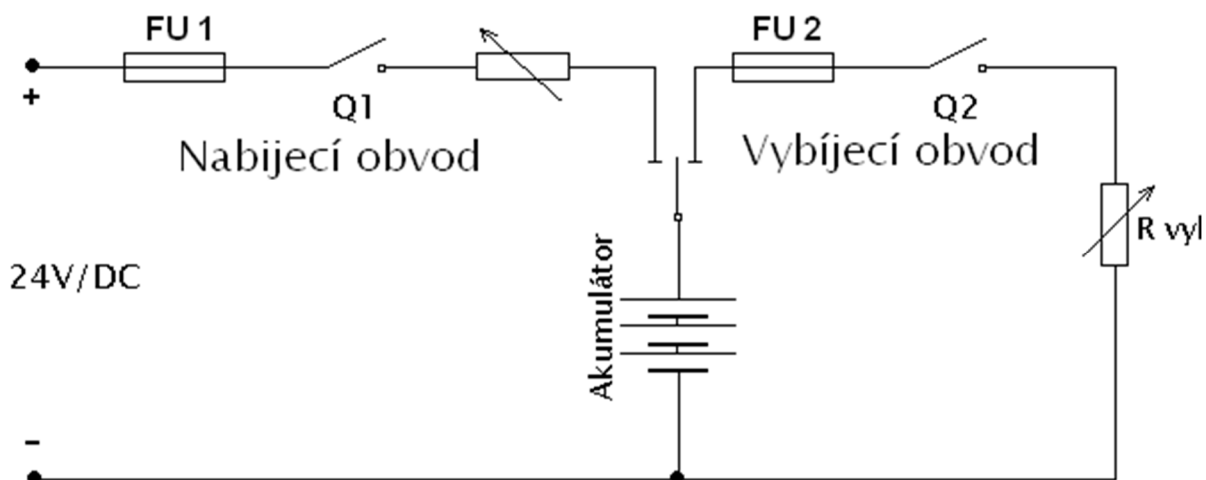
Tab. č. 3.9: Parametry Easy rele 512

	EASY 512-AC-RCX	EASY 512-DC-RCX
Napětí napájení, V	115 / 240 AC	24 DC
Vstupy	8	8
Analogové vstupy	2	2
Výstupy relé	4	4
Proud výstupu, A	8	8
Čítač	8	8
Časové relé	16	16
Analogový komparátor	16	16
Marker	32	32
Pracovní teplota	-25°C,+50°C	-25°C,+50°C



Obr. č. 3.13: Rele Easy 512-DC-RCX

Obvod nabíjení/vybíjení podle obr. č. 3.14. a jeho realizace v prostředí EASY-SOFT pro ovládání obvodu podle obr. č. 3.15.



Obr. č. 3.14: Obvod nabíjení/vybíjení v Easy rele

- Vstup (I)

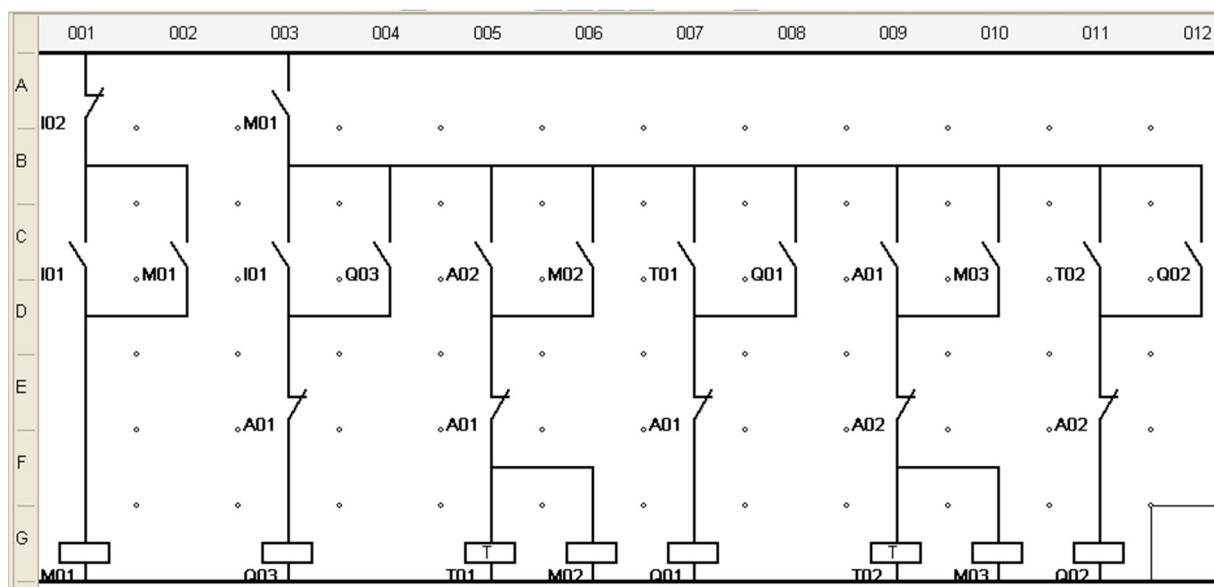
Vstup I1 a I2 jsou tlačítka S1 a S2.

- Výstup (Q)

Výstup Q03- sepnutí obvodu, výstup Q01- cyklus nabíjení, výstup Q02- cyklus vybíjení.

- Analogový komparátor (A)

Připojujeme na vstupy 7 a 8. Měří hodnoty od 0 do 10V (10V odpovídá digitální hodnotě 1023 easy relé).



Obr. č.3.15: Řídící obvod easy-rele

- Časové rele (T)

Časové relé, používáme pro nastavení času pro regeneraci baterie mezi cyklem nabíjení/vybíjení podle Normy ČSN EN 60896-21.

- Markery (M)

Markery M - pomocná relé. Ve spínacím schématu můžeme použít buď jako cívky s rozdílnými cívkovými funkcemi, nebo jako spínací kontakt a rozpínací kontakt.

3.2.5. Testované baterie.

Pro definici požadovaných parametrů testovacího zařízení bylo nutné analyzovat parametry baterií, které budeme testovat.

1) Akumulátor Banner Batterien 544 09

Tab. č.3.10: Akumulátor Banner Batterien 544 09

Napětí (V)	Kapacita (Ah)	Startovací proud EN (A)	Parametry			Charakteristika baterie	Úchytná lišta
			Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)		
12	44	360	210	175	175	mGGA	B13

2) Akumulátor Akuma Comfort

Tab. č. 3.11: Akumulátor Akuma Comfort

Napětí (V)	Kapacita (Ah)	Startovací proud (A)	Parametry			Rozmístění pólů	Úchytná lišta
			Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)		
12	44	420	210	175	175	0, pravá	B13/15

3) Fiamm Monolite UMBT 105

Tab. č. 3.12: Akumulátor Fiamm UMBT 105

Napětí (V)	Kapacita (Ah)	Zkratový proud (A)	Parametry			Vnitřní odpor (mΩ)	Hmotnost (kg)
			Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)		
12	105	2300	558	126	230	5,5	41

4) Banner GiVC 12-80

Tab. č. 3.13: Akumulátor Banner GiVC 12 -80

Napětí (V)	Kapacita (Ah)				Parametry			Zapojení	Provedení
	C20	C10	C5	C3	Délka (mm)	Šířka (mm)	Výška (mm)		
12	80	77,8	68,1	60,6	260	168	211	B	M8

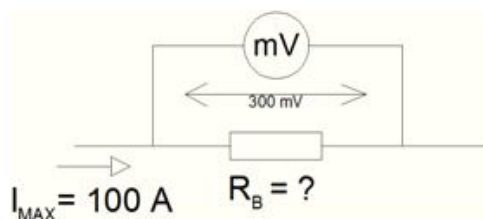
3.2.6. Měřicí jednotky.

3.2.6.1. Datalogger.

Byl použit datalogger Squirell 2010, reletivně výkonný přenosný digitální záznamík pro sběr a ukládání dat. Zařízení umožňuje měřit úbytky napětí s různými rozsahy od nejmenších kolem -0,6 V k větším, až 12 V. Používáme 2 kanály, jeden proud (A), druhý napětí (V) obr. č. 3.7.

3.2.6.2. Panelový ampérmetr A_x.

Vzhledem k vypočtenému vybíjecímu proudu (při měření vnitřního odporu), který se rovná 100 A, jsem přístroj dimenzoval na rozsah 0–120 A. Metoda spočívá v sestavení malého odporu (tzv. bočník), který by nezpůsobil velké ztráty v obvodu a na kterém by se měřil úbytek napětí jednoduchým stejnosměrným milivoltmetrem.



Obr.č. 3.16: Výpočet bočniku pro ampermetr

Použil jsem voltmetr M-80/40, rozsah 0–300 mV, stupnice 0–100 %. To znamená, podle Ohmova zákona hodnota bočniku bude:

$$R_b = \frac{U_{mV}}{I_{vyb}} = \frac{0,3}{100} = 3\text{m}\Omega. \quad (3.1)$$

3.2.7. Další použití prostředky.

3.2.7.1. Akumulátor pro napájení řídicího relé.

Napájení 24V realizované pomocí dvou akumulátorů viz. kapitola 3.1.5

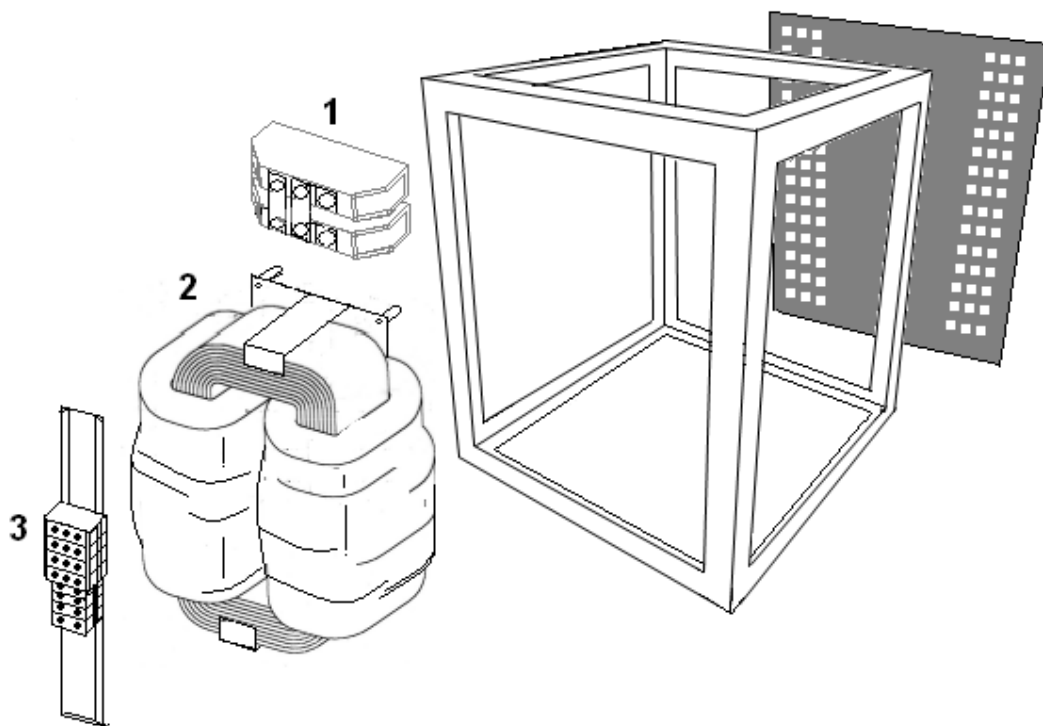
3.2.7.2. Ochrany.

Ochranná část je realizována tavnými pojistkami (10 A)

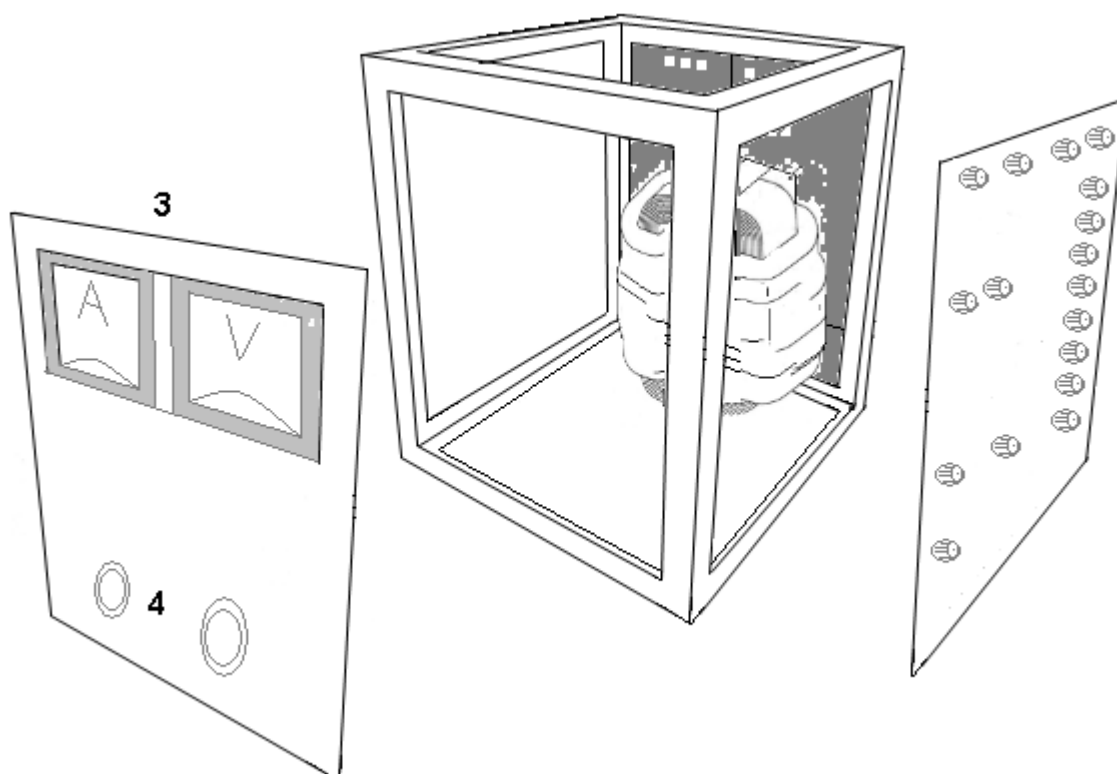
4. Realizace pracoviště.

Pracoviště bylo fyzicky realizováno v laboratořech H26 a E104. Sestava je na obr. č. 4.1 který popisuje základní modul pracoviště. Základní části experimentálního pracoviště tvoří :

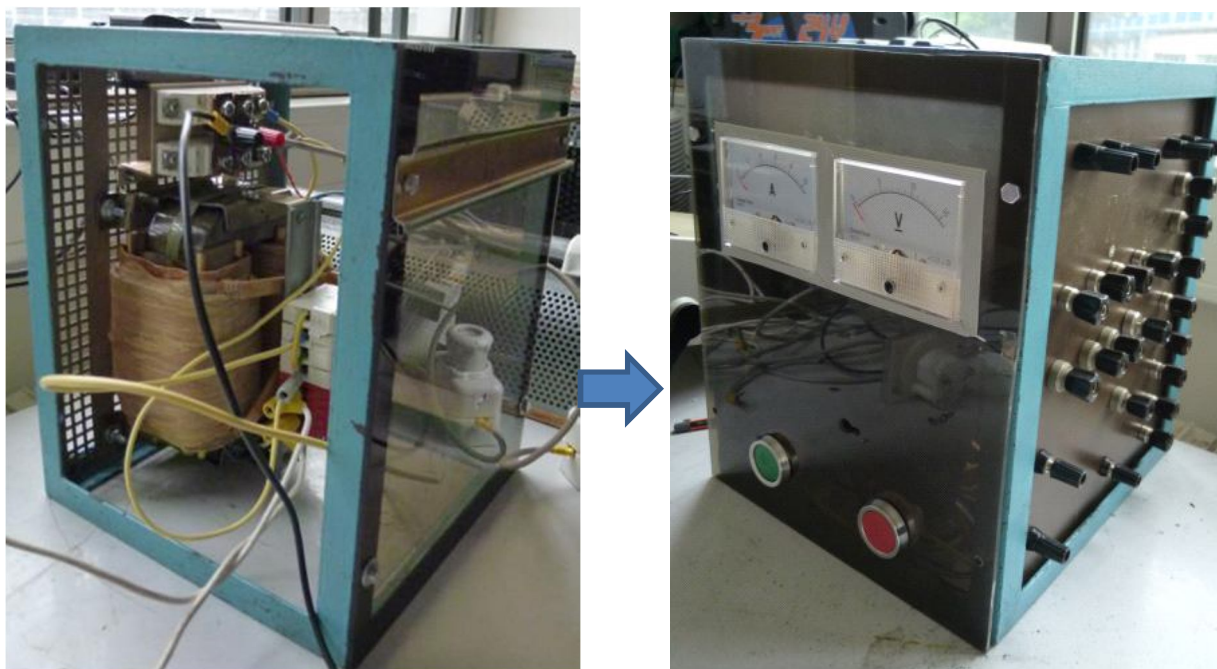
1. neřízený usměrňovač
2. jednofázový transformátor
3. panelové měřicí přístroje
4. ovládací tlačítka



Obr.č.4.1: Pracoviště podle obr. č. 3.7



Obr.č.4.1: Pracoviště podle obr. č. 3.7



Obr.č.:4.2 Pracoviště podle zapojení 2

5. Experimentální ověření funkce na dva vybrané typy trakčních akumulátorů.

5.1. Pracovní plán.

Spočíval v provedení co možná největšího počtu testů simulujících cyklické zatěžování testovaných baterií s cílem stanovit vývoj kapacity v čase resp. stav akumulátoru (zbytkovou životnost). Dále bylo záměrem vyzkoušet různé metody testování, určit potřebnou přesnost a citlivost. Zvolená metoda měla být použita k:

- a) měření vnitřního odporu baterie
- b) výpočtu kapacity akumulátorů
- c) určení samovybíjení baterie

Typy všech akumulátorů které byly předmětem testování jsou dokumentovány v podkapitole 3.2.5.

Akumulátory staniční, Fiamm UMBT s kapacitou 105 Ah mohou být zatěžovány proudem 5A po dobu 20 hodin. Ale, čím větší proudem je zatížíme, tím dosáhneme menší účinnosti přeměny odebírané energie (baterie 100Ah při zatížení proudem 100A vybijeme za méně než 1 hodinu). Při jízdě elektromobilu přerušované zastávkami se akumulátor

regeneruje a jeho kapacita vzroste. Důvodem tohoto jevu je, že průtok proudu baterií je umožněn díky iontové vodivosti. Pokud je iontová vodivost elektrolytu dostatečně vysoká, je proces uvolnění iontů mezi deskami poměrně pomalý. To znamená, že při rychlém vybíjení se část iontů nemůže uvolnit z elektrody do elektrolytu (nebo naopak) a tím omezuje kapacitu baterie.

Jak zjistit, že se baterie blíží ke konci své životnosti? Velmi jednoduše - vnitřní odpor baterie se časem zvyšuje a to vede k rychlejšímu růstu napětí při nabíjení baterie.

Akumulátor se zaplavenými elektrodami – je buď údržbový či bezúdržbový. U akumulátorů se zaplavenými elektrodami Banner Batterien Starting Bull, před nabíjením, vyšroubujeme zátky a zkontrolujeme hladinu elektrolytu, dle potřeby dolijeme destilovanou vodu. Připojíme nabíjecí/vybíjecí zařízení a zapneme jej. Akumulátory GiVC 12 80 a Fiamm UMBT jsou bezúdržbové.

Ohřev akumulátoru při nabíjení je nebezpečný tím, že způsobuje sulfataci elektrod, případně i zkratky mezi mřížkami. Měříme svorkové napětí v průběhu nabíjení. Nabíjení ukončíme po dosažení 14,8-15 V. Výhodou nabíjení akumulátorů se zaplavenými elektrodami (Banner Batterien 544 09) je menší citlivost na přebíjení.

Postup automatického ovládání: Easy-relé pomocí analogového (vstup I7) komparátoru pak vypne nabíjení při dosažení maximální hodnoty nabíjení, sepne se časové relé a akumulátor po dobu 5 min regeneruje. Potom sepne na vybíjecí cyklus. Níže v tab. č. 5.1, uvádím svorková napětí 12V odpojeného akumulátoru naprázdno (nesmí být na svorky připojen žádný spotřebič) a přibližný stav nabití. Při dosažení 12,6V je akumulátor v zásadě 100% nabit, ale nebyl zcela ukončen proces desulfatace. U klasického akumulátoru ukončíme nabíjení při svorkovém napětí akumulátoru o hodnotě 14,2 – 14,8V, nebo při dosažení dosažení hustoty elektrolytu 1,28 g/cm³.

Pro kontrolu tedy potřebujeme relativně přesný voltmetr. Nabíjení ukončujeme po dosažení plynovacího napětí akumulátoru tj. 14,4V resp. 14,8V dle typu. Napětí naprázdno uvedených akumulátorů po cca 5 min od odpojení od zdroje je uvedeno v tab.č.5.1:

Tab. č.5.1: Napětí naprázdno u akumulátoru VRLA a GEL

Typy	VRLA	GEL
100%	12,6-12,8 V	12,8 V
75%	12,4-12,5V	12,5-12,6V
50%	12,1-12,2V	12,2-12,3V
25%	11,9-12,0V	12,0-12,1V
vybitý	11,8V	11,8V

Sulfátovaný akumulátor vykazuje v provozu ztrátu kapacity, a tím se akumulátor rychle vybíjí. Přesné pokyny a hodnoty pro nabíjení/vybíjení, případně nabíjecí/vybíjecí křivky, nalezneme v technické dokumentaci akumulátoru. Můžeme také odhadnout dobu potřebnou pro nabíjení. To je poměrně snadné v případě dobíjení konstantním proudem a pomocí časového relé podle obr.č.3.7.

5.2. Doporučení postupu měření.

Ze štítku nebo datasheetu akumulátoru je třeba zjistit maximální nabíjecí proud, na zdroji nastavit omezení na tuto hodnotu. Pokud zdroj není na tuto hodnotu dimenzován, nastavíme maximální proud podle omezení zdroje. Podle uvážení lze nabíjet menším proudem (C10, C20).

Při provozním nabíjení nabíjíme články, jejichž napětí není menší než konečné vybíjecí napětí maximálním nabíjecím proudem. V první fázi je tedy akumulátor nabíjen konstantním proudem, jehož velikost limituje maximální proud akumulátoru nebo nabíječe. Tato fáze končí dosažením hrany plynovacího napětí. V druhé fázi udržujeme napětí na této hodnotě až do poklesu proudu asi na 5% I_{max} . Při této hodnotě je akumulátor nabit zhruba na 95% jmenovité kapacity.

Nabíjení jsem realizoval na akumulátorů Banner Batterien 544 09, Fiamm UMBT 105 a GiVC 12 80. Na zdroji jsem nastavil příslušné maximální napětí (14,8). Potom jsem uzavřel proudový obvod zdroje a akumulátoru a provedl s četností 1, 10 a 60 s odečty proudu, napětí, času a teploty okolí. Naměřené hodnoty jsem zpracoval formou časových závislostí (nabíjecí charakteristiky).

Akumulátor GiVC 12 80 má dle výrobce standardní dobu nabíjení 20 hodin. Podle tab. č. 5.2 čím je menší doba vybíjení, tím je menší kapacita akumulátoru. Články akumulátorů Fiamm UMBT mají vyšší plochu elektrod, důsledkem je vyšší kapacita.

Tab. č. 5.2: Závislost kapacity na vybíjecím proudu u akumulátoru GiVC 12-80

Jmenovité napětí	Kapacita, Ah			
	C 20	C 10	C 5	C 3
12	80	77,8	68,1	60,6

Dle zadání jsem měl rovněž přesně (s vyšší četností odečtů) odměřit průběhy napětí a proudu na počátku charakteristiky.

5.3. Kapacitní zkoušky olověných akumulátorů.

5.3.1. Vybíjení za předepsaných podmínek.

Akumulátor před zkouškami musíme úplně nabít. Všechny parametry musí dosahovat hodnot udaných v datasheetu. Teplotu elektrolytu během vybíjení u GiVC 12 80 udržujeme 20°C. Pro sběr a ukládání měřeného napětí a proudu je vhodné použít DataLogger . Vybíjení ukončíme na hodnotě 9 V.

Výpočet kapacity akumulátoru:

$$C_k = I_v * t,$$

kde:

C- kapacita akumulátoru (Ah),

k- střední teplota okolí během kapacitní zkoušky (°C),

I_v- vybíjecí proud (A),

t- vybíjecí doba (hod).

Výpočet kapacity akumulátoru viz. [L15]:

a) $C_k = I_v * t$ dosazením $C_{20} = 6 * 13,5 = 80,2 \text{ Ah}$

b) $C_{25} = \frac{C_k}{1+0,01*(k-25)}$

Výpočet kapacity při závislosti na teplotě okolí u akumulátoru GiVC 12 80:

dosazením $C_{20} = 6 * 13,5 = 81 \text{ Ah}$

$$C_{25} = \frac{C_k}{1+0,01*(k-25)} = \frac{81}{1+0,05} = 77,1 \text{ Ah}$$

Výpočet kapacity při závislosti na teplotě okolí u akumulátoru BannerBatterien 544 09:

$$C_{25} = \frac{C_k}{1+0,01*(k-25)} = \frac{44}{1+0,03} = 42,7 \text{ Ah}$$

Výpočet kapacity při závislosti na teplotě okolí u akumulátoru Fiamm UMBT 105:

$$C_{25} = \frac{C_k}{1+0,01*(k-25)} = \frac{105}{1+0,05} = 100 \text{ Ah}$$

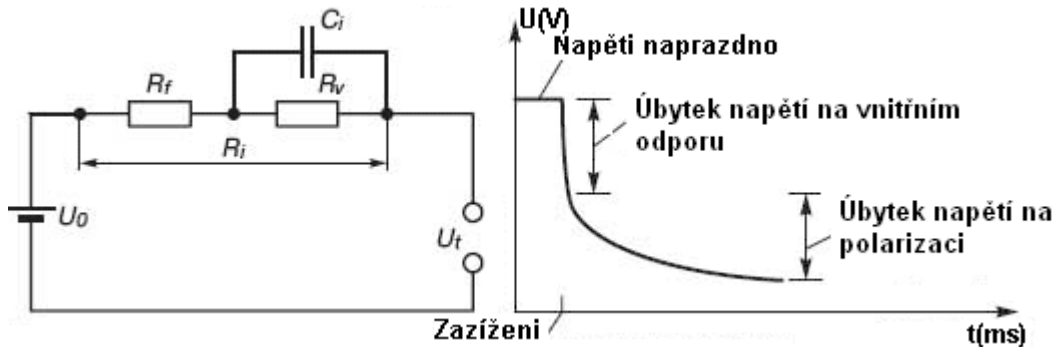
6. Analýza shromážděných dat, kapacita, životnost.

Na základě úvah uvedených ve 5. kapitole byly realizovány experimentální práce na ověření stavu výše popsaných akumulátorů. Vzhledem k tomu, že neexistují žádné jednoduché metodiky měření kapacity akumulátorů v závislosti na stáří akumulátoru, bylo

mým záměrem vybudovat na uvedené testy na katedře pohonů a trakce experimentální pracoviště pro zkoušení trakčních akumulátorů které je výše popsáno.

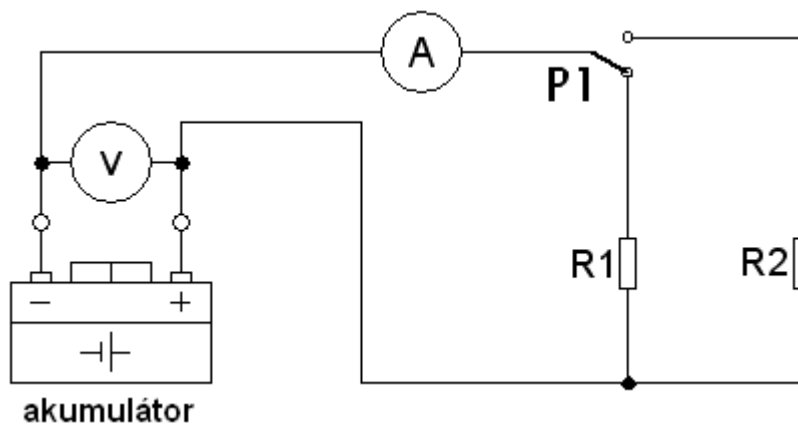
6.1. Měření vnitřního odporu olověného akumulátoru.

Čím je nižší hodnota vnitřního odporu, tím je akumulátor lepší. Nulový vnitřní odpor má ideální akumulátor který schopen dodat jakýkoliv proud bez poklesu jeho svorkového napětí. Takový ideální akumulátor však neexistuje.



Obr. č. 6.1: Vnitřní odpor akumulátoru

6.1.1. Schéma zapojení.



Obr. č. 6.2: Schéma zapojení měření vnitřní odpor akumulátora

Testovány akumulátor: olověny trakční, staniční nebo startovací (12V)

Odpor $R_1 = 0,15 \Omega$

Odpor $R_2 = 0,45 \Omega$

Měřicí přístroje:

Voltmetr: multimetr, jelikož bude měřit napětí na baterii, které by se mělo pohybovat v rozmezí 9 V až 15,4 V.

Ampérmetr: musí být schopný měřit proudy v rozmezí 0,5 A až 90 A, proto by bylo vhodné použít bočník (nutné uvážit při nabíjení za konstantního napětí).

Průběh měření:

Norma ČSN EN 60896-21 stanovuje, podle [L16], že před začátkem měření musí být akumulátor plně nabit. Dále norma stanovuje zatěžovací proud I_1 na čtyři desetiny kapacity $0,4C$. Po dobu t_1 , $s=20$ sekund je pak akumulátor zatěžován tímto proudem a změřeno napětí U_1 . Následuje regenerace po dobu 5 minut. Následuje další zatěžování proudem I_2 o velikosti dvojnásobku kapacity $2C$, po dobu t_2 , $s=5$ sekund a poté změřeno napětí U_2 . Měření provádíme na kontaktech nezávislých na vedení proudu. Po celou dobu měření je nutné udržovat teplotu okolí 25°C . Vnitřní odpor je pak dán:

Výpočet vnitřního odporu provedeme podle vztahu (6.1)

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \quad (6.1)$$

Tab. č.: 6.1 Proud vybíjení akumulátorů

Akumulátory	I_1	I_2	t_1 , s	t_2 , s
Dlouhé vybíjení	$0,2C_5$	$2C_5$	10	3
Střední vybíjení	$0,5C_5$	$5C_5$	10	3
Rychle vybíjení	$1,0C_5$	$10C_5$	10	3
Olověný	$4,0C_5$	$20C_{10}$	20	5
Lithiový	$0,2C_5$	$1C_5$	10	1

6.1.2. Naměřené hodnoty.

FIAMM 1 UMBT 105

Pro hodnotu $0,4 \cdot 105\text{Ah} = 42$

Pro hodnotu $2 \cdot 105\text{Ah} = 210$

$I_1 = 21\text{A}$, $U_1 = 12,33\text{V}$

$I_2 = 105\text{A}$, $U_2 = 11,52\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,33 - 11,52}{105 - 21} = 9,64\text{m}\Omega$$

FIAMM 2 UMBT 105

Pro hodnotu $0,4 \cdot 105\text{Ah} = 42$

Pro hodnotu $2 \cdot 105\text{Ah} = 210$

$I_1 = 21\text{A}$, $U_1 = 12,2\text{V}$

$I_2 = 105\text{A}$, $U_2 = 11,6\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,2 - 11,6}{105 - 21} = 7,14\text{m}\Omega$$

Banner Batterien 54409 (1)

Pro hodnotu $0,4 \cdot 44\text{Ah}$

Pro hodnotu $2 \cdot 44\text{Ah}$

$I_1 = 10,4\text{A}$, $U_1 = 12,094\text{V}$

$I_2=88\text{A}$, $U_2=10,85\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,094 - 10,85}{88 - 10,4} = 16\text{m}\Omega$$

Banner Batterien 54409 (2)

Pro hodnotu $0,4*44\text{Ah}$

Pro hodnotu $2*44\text{Ah}$

$I_1=10,4\text{A}$, $U_1=12,04\text{V}$

$I_2=88\text{A}$, $U_2=11,45\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,04 - 11,45}{88 - 10,4} = 7,6\text{m}\Omega$$

Banner Batterien 54409 (3)

Pro hodnotu $0,4*44\text{Ah}$

Pro hodnotu $2*44\text{Ah}$

$I_1=10,4\text{A}$, $U_1=12,59\text{V}$

$I_2=88\text{A}$, $U_2=11,5\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,59 - 11,5}{88 - 10,4} = 14\text{m}\Omega$$

GiVC 12-80

Pro hodnotu $0,4*80\text{Ah}$

Pro hodnotu $2*80\text{Ah}$

$I_1=32$, $U_1=12,59\text{V}$

$I_2=160\text{A}$, $U_2=11,5\text{V}$

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{12,7 - 11,9}{40 - 8} = 6,25\text{m}\Omega$$

Tab. č. 6.2: Naměřené hodnoty vnitřního odporu

Typ akumulátoru	Vnitřní odpor
Banner Batterien 54409 (1)	16 mΩ
Banner Batterien 54409 (2)	7,6 mΩ
Banner Batterien 54409 (3)	14 mΩ
FIAMM UMBT 105 (1)	9,64 mΩ
FIAMM UMBT 105 (2)	7,14 mΩ
GiVC 12-80	6,25 mΩ

Nový akumulátor by měl mít malý vnitřní odpor (cca 0,001 Ohmu), díky němuž je akumulátor schopen krátkodobě dodávat velké množství energie. Při opakovaném vybíjení akumulátoru vnitřní odpor vzrůstá. Čím větší proud zatížení, tím větší úbytek napětí.

Pro srovnání jsem použil akumulátory podle podkapitoly 1.3. Banner Batterien 544 09 s kapacitou 44Ah, Banner GiVC 12-80 s kapacitou 80Ah, FIAMM Monolite UMBT 105 s kapacitou 105 Ah. Podle výsledků testů tab. č. 6.2. můžeme říci, že všechny akumulátory jsou opotřebený. Jak vyplývá z naměřených hodnot, nejslabší jsou akumulátory Banner Batterien 1, Banner Batterien 3 a Fiamm 1. Gelový trakční akumulátor GiVC nevykazuje zvýšenou hodnotu vnitřního odporu, ale podle užití technologie, pro další provoz, by měly mít hodnotu vnitřního odporu 3-5mΩ, což je menší než naměřená hodnota.

Počet a rozdílné vlastnosti jednotlivých článků způsobují, že vnitřní odpor akumulátoru je velmi proměnná veličina, kterou není možno vyjádřit konstantní hodnotou ani funkčním vztahem.

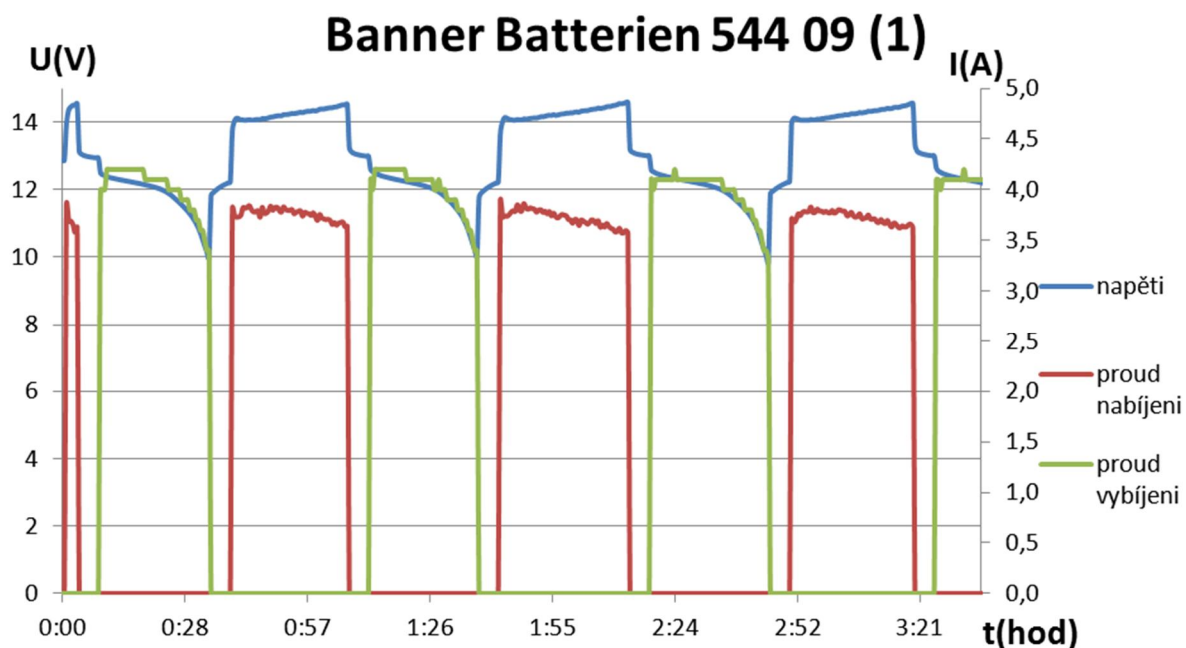
Nemyslím si, že vnitřní odpor přesně odráží stav baterie vzhledem k tomu, že opakovaná měření na stejné baterii dávají různé výsledky které se liší o 10-20 procent.

Testování uvedených baterií bylo provedeno v laboratoři H104 FEL ČVUT v Praze.

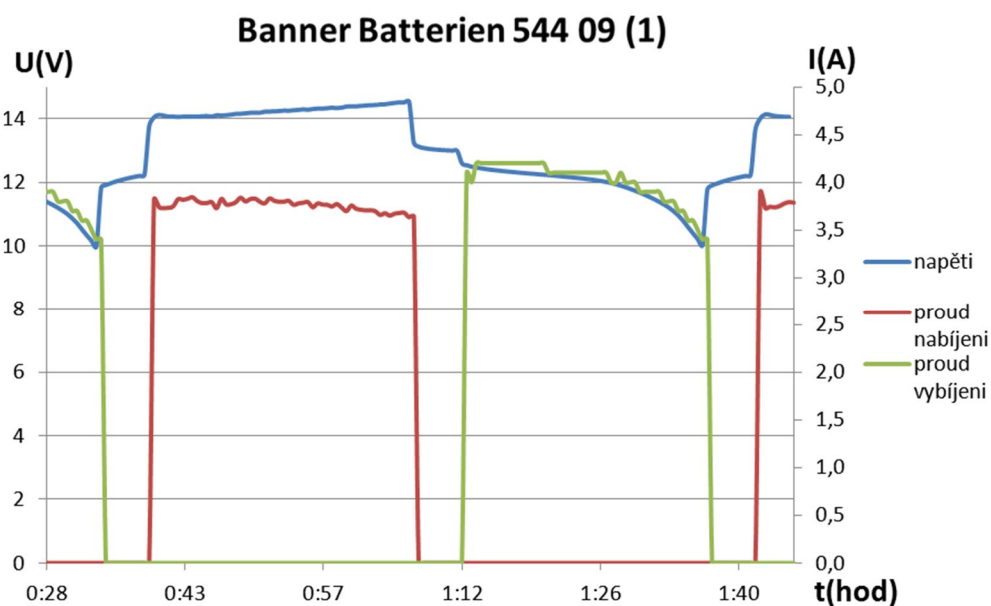
6.2. Kapacitní zkoušky akumulátorů.

V této podkapitole uvádím pro názornost pouze hodnoty čtyř resp. dvou prvních cyklů. Kompletní soubor naměřených hodnot je uveden v příloze č.:1.

Podmínkou úspěšné kapacitní zkoušky je plně nabitý akumulátor. Během měření je třeba kontrolovat teploty článků akumulátoru a bezpečné odvádění energie ze zátěže, aby nedošlo k jejímu poškození.



Obr. č.6.3: Cyklus Banner Batterien 544 09 (1)



Obr. č.6.4: Jeden cykl Banner Batterien 544 09 (1)

$$U_{nab.poc} = 12,1V$$

$$U_{vyb.poc} = 13,1V$$

$$U_{nab.kon} = 14,57V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,1V$$

Tab. č. 6.3: Banner Batterien 1

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,82	3,64	1,72	24,53	27

vybíjení 1				
Ivyb.p, A	Ivyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,4	1,74	20,60	25

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
3,9	3,56	1,89	26,96	30

vybíjení 2				
I _{vyb.p} , A	I _{vyb.k} , A	C, Ah	E, Wh	t,min
4,1	3,4	1,70	20,28	26

$$\eta_1 = \frac{E_{vyb1}}{E_{nab1}} * 100\% = \frac{20,6}{24,53} * 100\% = 83,9\%$$

$$\eta_2 = \frac{E_{vyb2}}{E_{nab2}} * 100\% = \frac{20,28}{26,96} * 100\% = 75,2\%$$

$$\eta_3 = \frac{E_{vyb3}}{E_{nab3}} * 100\% = \frac{22,03}{25,68} * 100\% = 85,78\%$$

$$\eta_4 = \frac{E_{vyb4}}{E_{nab4}} * 100\% = \frac{21,71}{24,29} * 100\% = 85,84\%$$

$$\eta_5 = \frac{E_{vyb5}}{E_{nab5}} * 100\% = \frac{20,84}{24,35} * 100\% = 85,56\%$$

$$\eta_6 = \frac{E_{vyb6}}{E_{nab6}} * 100\% = \frac{20,2}{23,97} * 100\% = 84,3\%$$

$$\eta_7 = \frac{E_{vyb7}}{E_{nab7}} * 100\% = \frac{19,48}{24,4} * 100\% = 79,8\%$$

6.2.1. Účinnost procesu nabíjení/vybíjení.

Efektivita chemické reakce nabíjení / vybíjení, která určuje přijatou energii je dána účinností vybíjení resp. nabíjení. Určit účinnost má smysl jenom při cyklickém nabíjení/vybíjení (v procesech s definovaným, omezeným cyklem). Podle [L17]

Účinnost kapacitní (Ah):

$$\eta_{Ah} = \frac{C_{vyb1}}{C_{nab1}} \quad (6.2)$$

Účinnost energetická (Wh):

$$\eta_{Wh} = \frac{E_{vyb1}}{E_{nab1}} \quad (6.3)$$

Tab. č. 6.4: Účinnost vybíjení -nabíjení

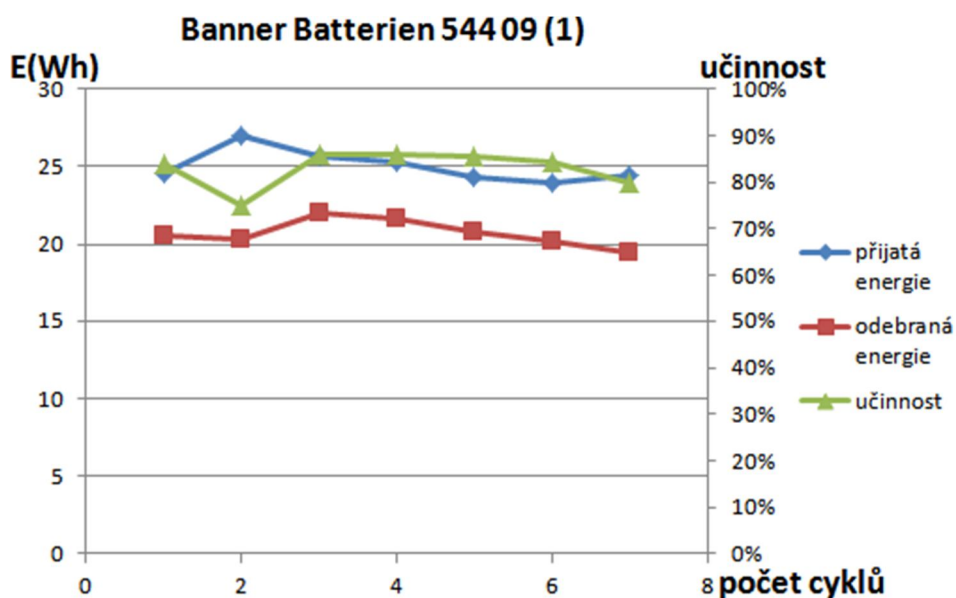
Účinnost kapacitní / energetická	
η_{Ah}	0,8 - 0,96
η_{Wh}	0,65-0,8

K čemu slouží parametr účinnost nabíjení a vybíjení, který jsem právě vypočítal při měření kapacitních zkoušek? Je to koeficient, který umožňuje určit množství energie uložené a odebráno během cyklického provozu.

Tab. č. 6.5: Účinnost vybíjení/nabíjení Banner Batterien 544 09 1

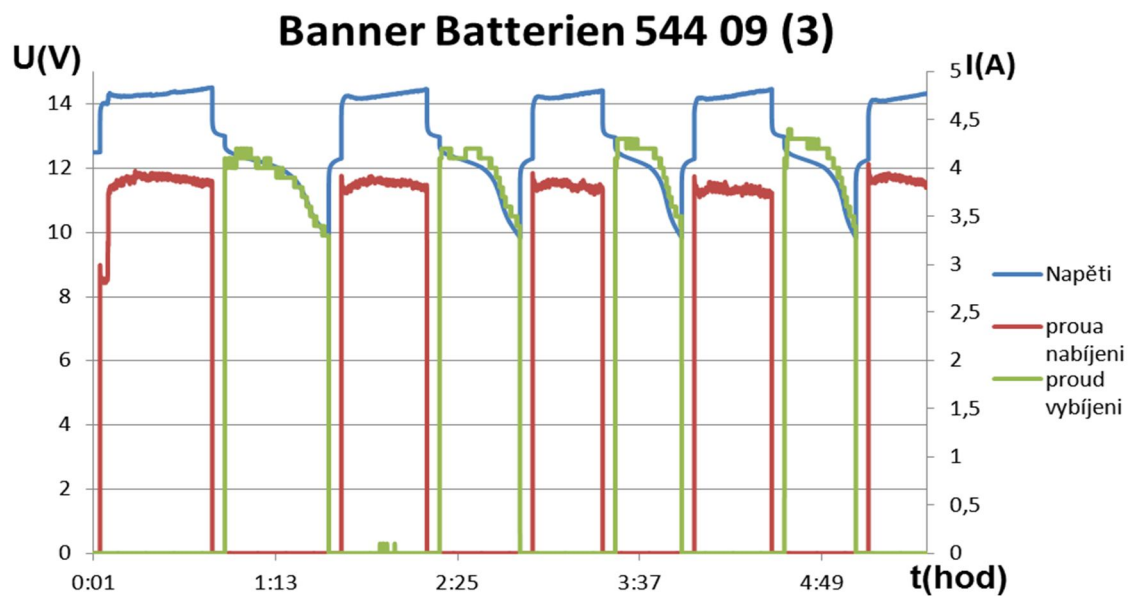
cyklus		
1.	0,839	0,98856
2.	0,752	0,994118
3.	0,8578	0,972973
4.	0,8584	0,978022
5.	0,8556	0,977143
6.	0,843	0,999409
7.	0,798	0,98785

Podle Tab. č. 6.4 účinnost energetická η_{Wh} musí být vyšší než účinnost kapacitní η_{Ah} nabíjení.

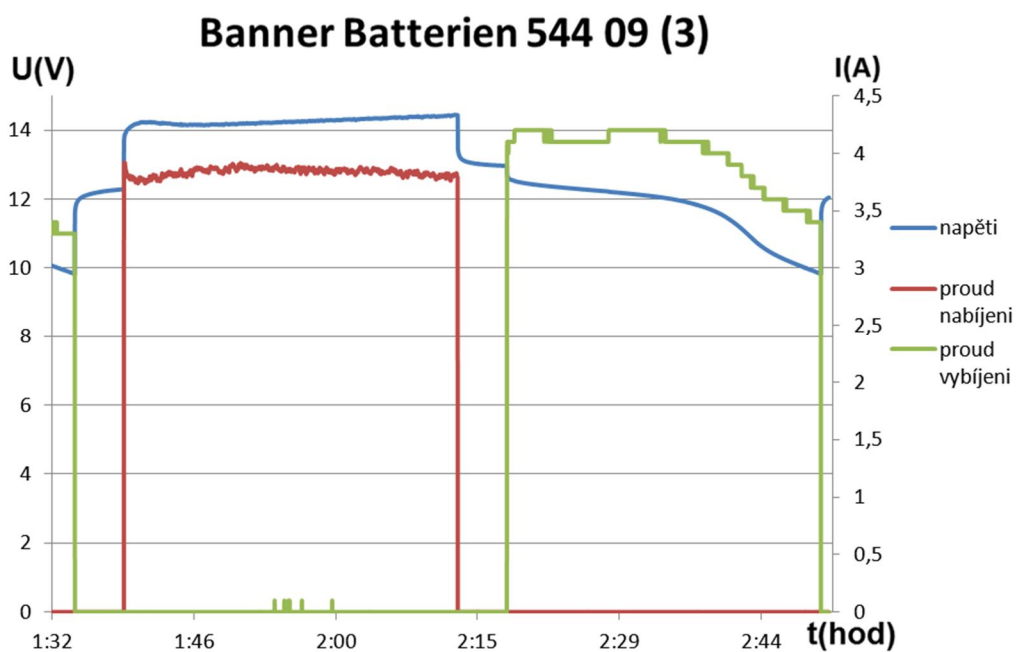


Obr. č. 6.5: Účinnost Banner Batterien 544 09 (1)

Banner Batterien 544 09 (3)



Obr. č.6.6: Cyklus Banner Batterien 544 09 (3)



Obr. č.6.7: Jeden cykl Banner Batterien 544 09 (3)

$$U_{nab.poc} = 13,47V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,78V$$

$$U_{nab.kon} = 14,45V$$

$$U_{vyb.kon} = 9,83V$$

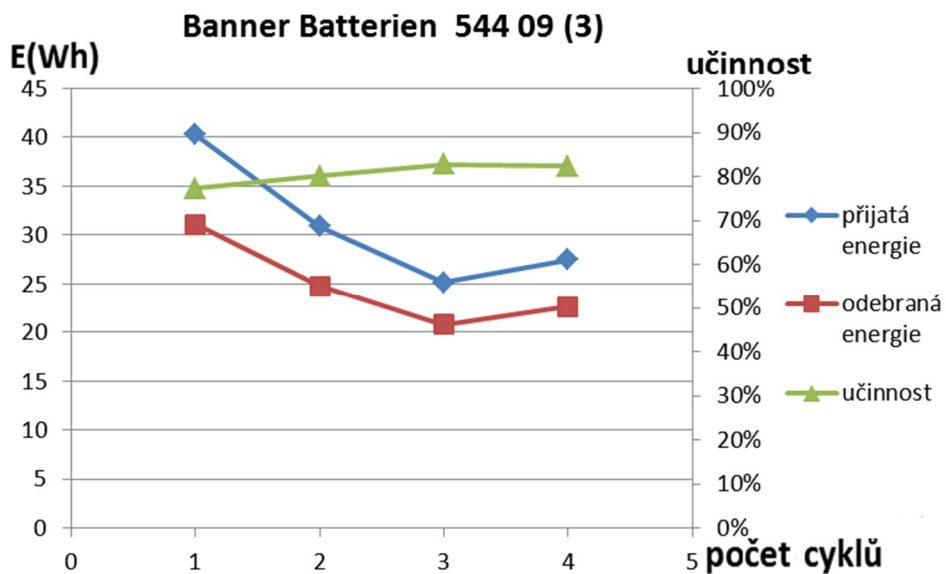
Tab. č. 6.6: Banner Batterien 3

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
3	3,84	2,82	40,26	44

vybíjení 1				
Ivyb.p, A	Ivyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
4,1	3,3	2,65	31,12	41

nabíjení 2				
Inab,p, A	Inab,k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
3,91	3,78	2,165	30,89	34

vybíjení 2				
I _{vyb,p} , A	I _{vyb,k} , A	C, Ah	E, Wh	t,min
4,15	3,4	2,12	24,76	32



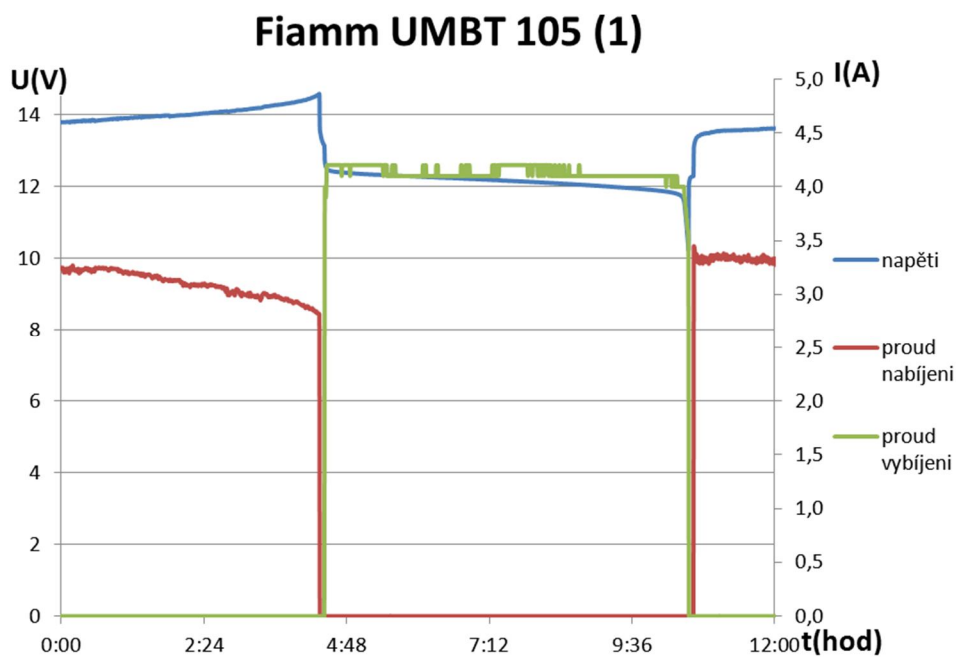
Obr. č. 6.8: Účinnost baterie Banner Batterien 544 09 (3)

Účinnost se rovná 1, pokud v akumulátoru žádné nežádoucí reakce (ztráty teploty a podal.)

Tab. č.6.7: Koeficienty vybíjení/nabíjení Banner Batterien 544 09 (3)

cyklůs		
1.	0,839	0,98856
2.	0,752	0,994118
3.	0,8578	0,972973
4.	0,8584	0,978022

Fiamm Monolite UMBT 105 (1)



Obr. č. 6.9: Jeden cykl FIAMM UMBT 1

$$U_{nab.poc} = 13,15V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,83V$$

$$U_{nab.kon} = 14,58V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,17V$$

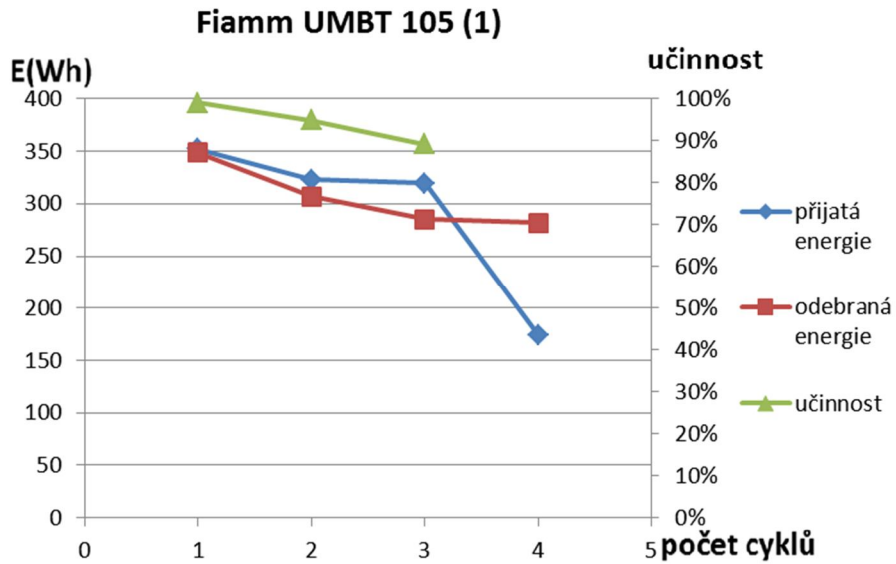
Tab. č. 6.8: FIAMM UMBT 105 (1)

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,5	2,8	25,64	352	290

vybíjení 1				
I _{vyb.p} , A	I _{vyb.k} , A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,3	3,5	28,94	348,7	424

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,45	2,85	23,61	323,2	437

vybíjení 2				
I _{vyb.p} , A	I _{vyb.k} , A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,15	3,5	25,3	306,86	362

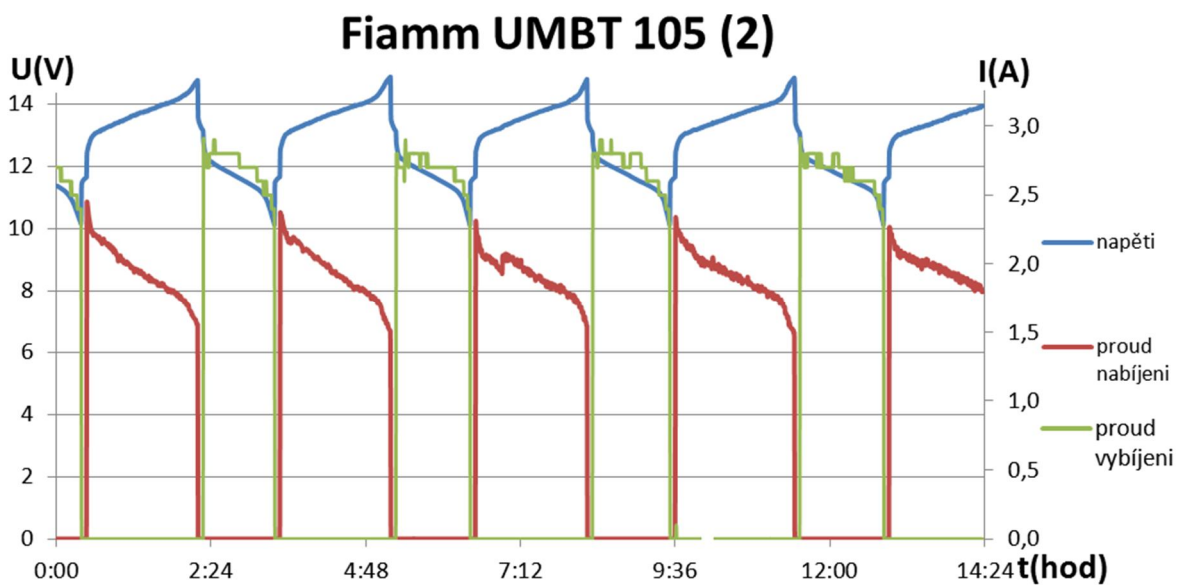


Obr. č. 6.10: Účinnost FIAMM UMBT (1)

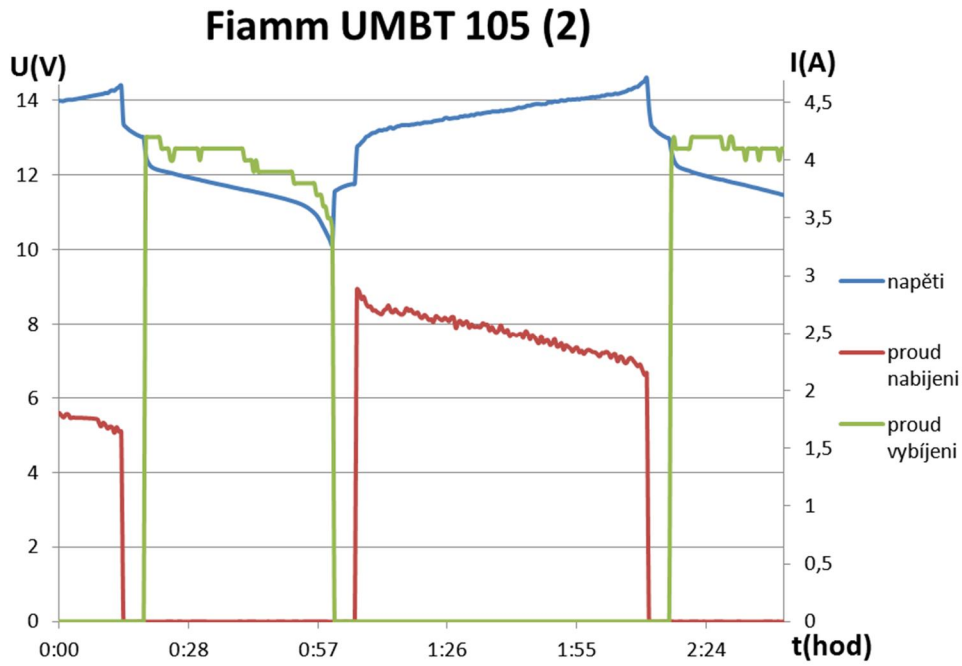
Tab. č.6.9: Koeficienty vybíjení/nabíjení FIAMM UMBT (1)

cyklůs		
1.	0,839	0,987
2.	0,99	0,995
3.	0,949	0,998
4.	0,892	

Fiamm Monolite UMBT 105 (2)



Obr. č. 6.11: Cyklůs FIAMM UMBT (2)



Obr. č. 6.12: Jeden cykl FIAMM UMBT 1

$$U_{nab.poc} = 12,5V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,72V$$

$$U_{nab.kon} = 14,86V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,125V$$

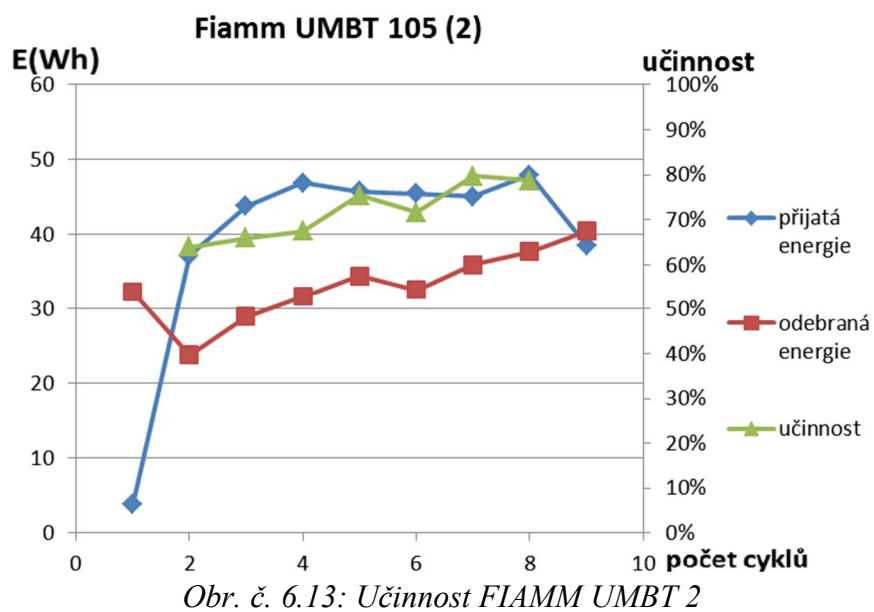
Tab. č. 6.10: FIAMM UMBT 105 (2)

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
1,8	1,65	2,7	38,57	15

vybíjení 1				
I _{vyb.p} , A	I _{vyb.k} , A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,2	3,4	2,78	32,3	41,7

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,15	2,7	37,2	65

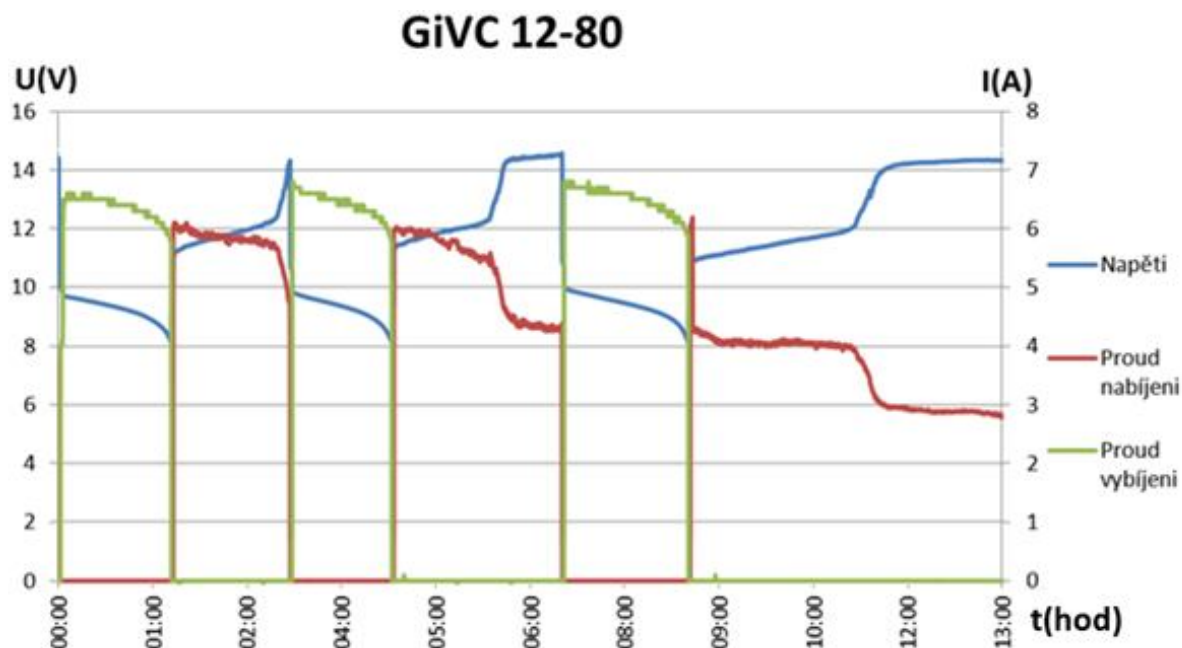
vybíjení 2				
I _{vyb.p} , A	I _{vyb.k} , A	C, Ah	E, Wh	t, min
0,415	0,4	2,02	23,84	30



Tab. č. 6.11: Koeficienty vybíjení/nabíjení FIAMM UMBT (2)

cyklůs		
1.	0,64	0,748148
2.	0,659	0,809969
3.	0,675	0,814706
4.	0,754	0,893284
5.	0,716	0,900901
6.	0,7975	0,933735
7.	0,787	0,919263

Banner GiVC 12-80



Obr. č. 6.14: Cyklus GiVC 12 80

Akumulátory je možné snadno odvětrat, a tím můžeme nabíjet i nad „plynovacím napětím“ podle obr. č. 2.1.

$$U_{nab.poc} = 12,7V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,23V$$

$$U_{nab.kon} = 14,8V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,15V$$

Tab. č. 6.12: GiVC 12 80

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
5	4,61	0,8148	11,626	290

vybíjení 1				
Ivyb.p, A	Ivyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6,5	4,9	37,658	429,60	424

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
5,7	4,58	36,735	507,55	437

vybíjení 2				
Ivyb.p, A	Ivyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6	4,8	34,648	395,67	362

$$\eta_1 = \frac{E_{vyb1}}{E_{nab1}} * 100\% = \text{neuplný cykl}$$

$$\eta_2 = \frac{E_{vyb2}}{E_{nab2}} * 100\% = \frac{395,67}{507,55} * 100\% = 77,96\%$$

$$\eta_1 = \frac{E_{vyb1}}{E_{nab1}} * 100\% - \text{neuplný cykl}$$

GiVC 12-80. Měření 15.01-17.01

$$U_{nab.poc} = 12,9V$$

$$U_{vyb.poc} = 11,93V$$

$$U_{nab.kon} = 16,2V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,12V$$

Tab. č. 6.13: GiVC 1280 2

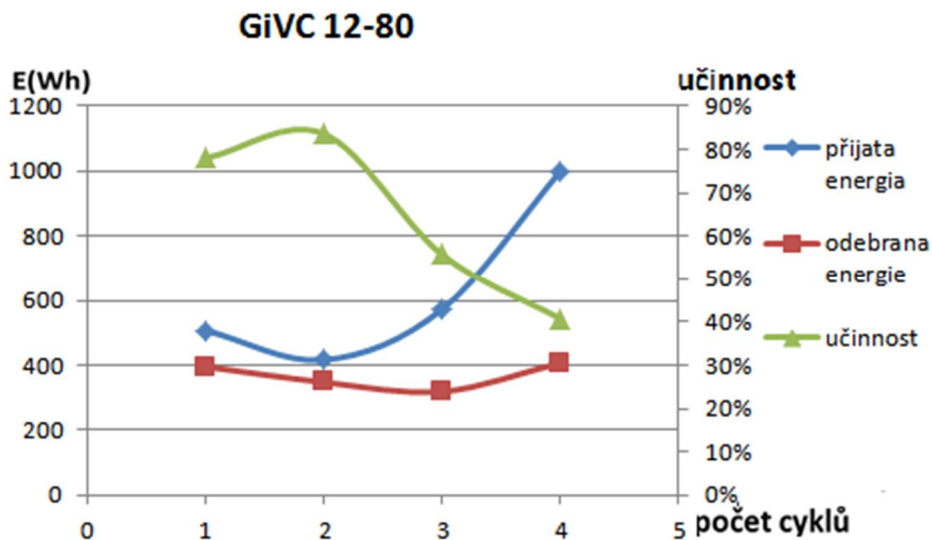
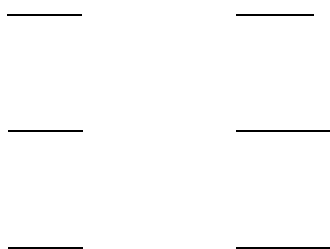
nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6	4,75	29,9	415,9	307

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6,5	5,8	30,89	347,6	305

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6	4,38	38,94	572,34	441

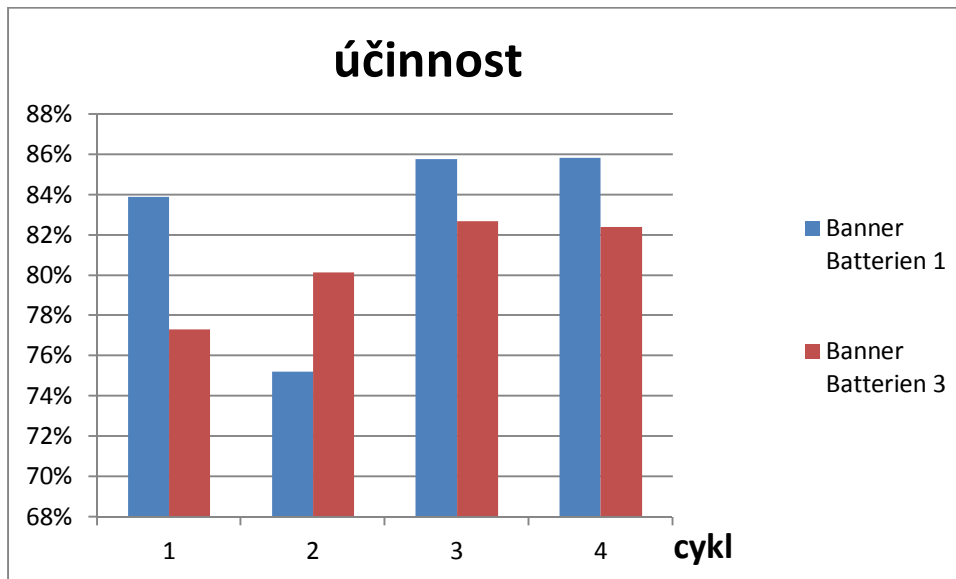
vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6,7	5,8	28,246	318,89	257

Kapacita je udávána při 5-7 hodinovém vybíjení. Můžeme očekávat u našich baterií cca o 15 Ah nižší kapacitu, podle tab.č. 5.2.



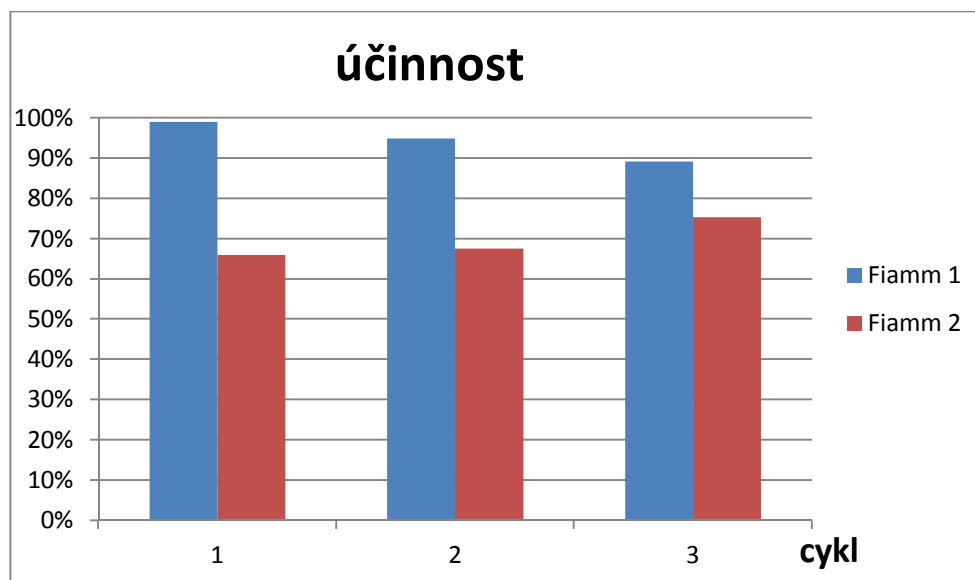
Obr. č. 6.15: Účinnost GiVC 12 80

6.2.2. Srovnání účinnosti u akumulátorů stejné kapacity.



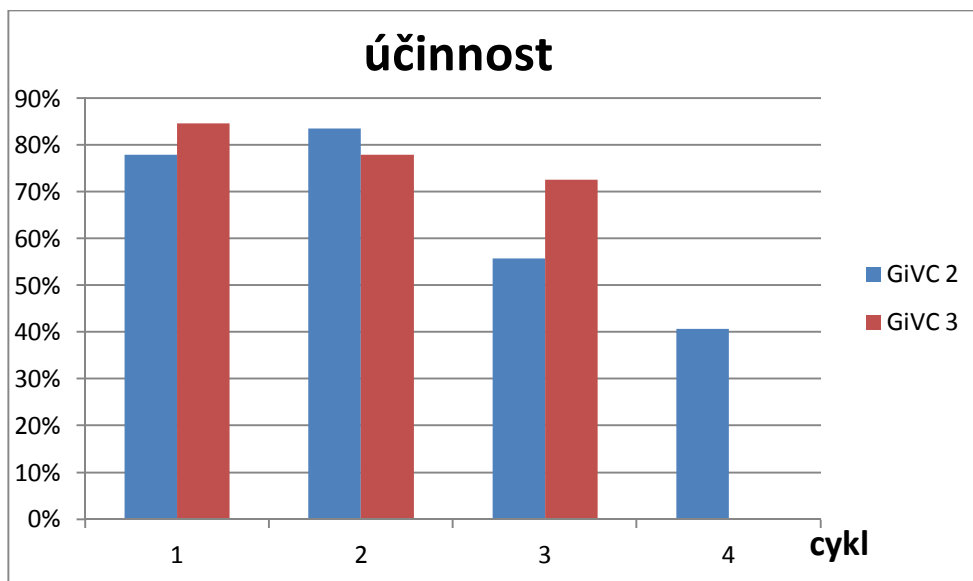
Obr. č. 6.16: Účinnost akumulátorů Banner Batterien 544 09

Podle obr. č. 6.15 má nejvyšší účinnost akumulátor Banner Batterien č.1. To znamená, že tento akumulátor má lepší schopnost uložit či doplnit energii do jednotlivých článků během cyklického provozu. Pozn.: po 3. - 4. cyklech se účinnost akumulátoru č.:3 poněkud zvýšila.



Obr. č. 6.17: Účinnost akumulátorů Fiamm UMBT 105

Podle obr. č. 6.16 účinnost akumulátoru Fiamm UMBT 1 je od počátku poměrně vysoká, ale při každém dalším cyklu má klesající trend. Akumulátor Fiamm UMBT 2 má naopak tendenci při každém příštím cyklu zlepšit svou účinnost.



Obr. č. 6.18: Účinnost akumulátorů GiVC 12 80

Podle Obr. č. 6.17, u gelových akumulátorů GiVC 12 80 účinnost klesá po každém cyklu.

Tab.č. 6.14: Zavislost vybíjecí doby a proudu na získané kapacitě

Vybíjecí režim, C _x	10	9	8	7,5	7	6	5	4	3	2	1	0,5
kc	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3
ki	1	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	2	2,5	3	5,1	6,8

kde, x-vybíjecí doba

kc- koeficient maximalní získané kapacity

ki- koeficient vybíjecího proudu.

Čím větší je vybíjecí proud (ve srovnání s předepsaným nominálním režimem vybíjení pro dobu 10 hodin), tím je menší kapacitu můžeme z akumulátoru odčerpat. Závislost kapacity na vybíjecím proudu je uvedena v tabulce. 6.14. [L18]. Koeficient ki, vyjadřuje, kolikrát vybíjecí proud překročí nominální 10-hodinový vybíjecí režim. Tento jev, snížení odebrané kapacity, lze vysvětlit následujícím způsobem: při vysokých vybíjecích proudech se chemický proces rozvíjí tak rychle, že koncentrace elektrolytu v mřížkách rychle klesá.

Zhodnocení naměřených dat:

Pro vybíjení akumulátoru Banner Batterien 12 V 44 Ah jsem zvolil zatěžovací proud o velikosti 4 A. Tuto hodnotu jsem vybral proto, abychom během jednoho měření mohli

akumulátor několikrát nabít a vybit. Z naměřených dat je zřejmé, že jsem tak byl schopen odčerpat z baterie mnohem menší náboj, než jaký je předepsaný výrobcem.

Ze srovnání akumulátorů Banner Batterien konstatuji, že je na tom lépe baterie číslo 3, které vydržela déle 1,5h, ale nejmenší vnitřní odpor má baterie číslo 2. Během vybíjení Banner Batterien 1 a 3 zpočátku rychle pokleslo napětí z hodnoty naprázdno 13 V na 12,5 V a dále klesalo velmi pomalu na hodnotu 11,5 V. Ke konci vybíjení začalo rychle klesat a při dosažení napětí 9 V se vybíjecí režim ukončil a došlo k regeneraci chemismu baterie. Z důvodu úbytku napětí na vnitřním odporu akumulátoru hodnota konečného vybíjecího napětí (bod 7, podle obr. č. 2.1) je nižší než při vybíjení podle normou předepsané kapacitní zkoušce.

Na základě provedených zkoušek můžeme říct že baterie jsou značně opotřebený a nevratně ztratily více než 40% své kapacity. Proces regeneračního nabíjení zvýšil kapacitu baterie (dle nabíjení 15.10 a 23.10) pouze o cca 4%.

Při vybíjení akumulátorů Fiamm UMBT 105 1 a 2 zpočátku rychle pokleslo napětí z hodnoty naprázdno 13,2 V na 12,2 V a dále klesalo rychleji než u startovací baterie až do hodnoty 11,2 V. Na konci vybíjení byl pokles velmi rychlý. Průběhy vybíjecích resp. nabíjecích cyklů se u staničních baterií výrazně liší od průběhů sejmutých u baterií startovacích.

Dále jsem měřil vnitřní odpor staničního akumulátoru Fiamm 1 a 2 o kapacitě 105 Ah, který vyšel 7 resp. 10 mOhm. Tato hodnota je vyšší než jsem očekával. Akumulátory Fiamm pozbyly cca 70% ze své původní kapacity.

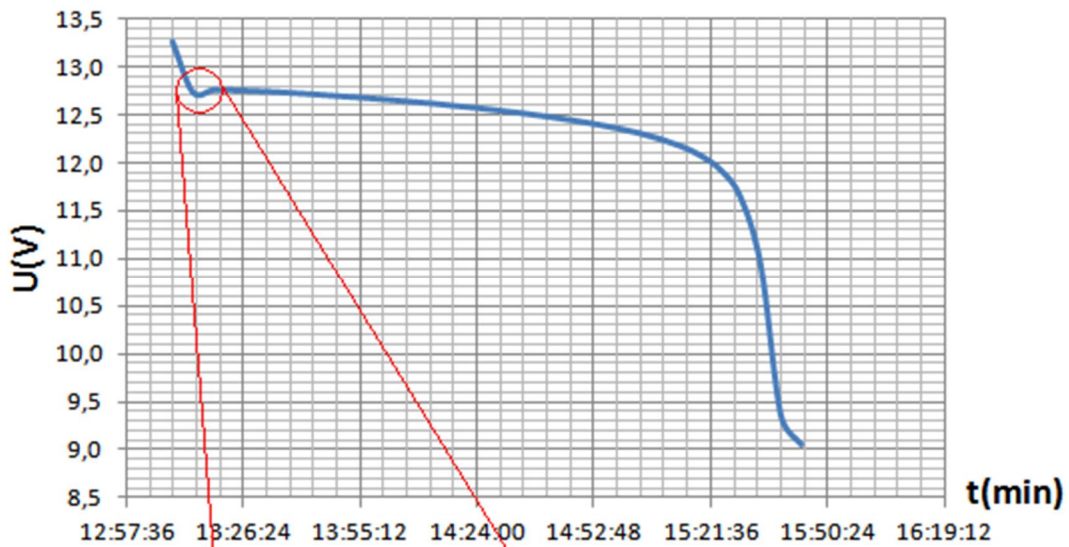
Hluboké vybíjení nejlépe snášejí gelové akumulátory GiVC. Při vybíjení akumulátorů ze začátku rychle pokleslo napětí z hodnoty naprázdno 13,7 V na 12,07 V. Vnitřní odpor není vysoký, ale dle kapacitních zkoušek dosáhly ztráty kapacity až o 56%. V Tab. č. 5.2 a Tab. č. 6.13, je uvedena maximální kapacita kterou lze u těchto akumulátorů očekávat, činí cca 68 Ah.

6.3. Přechodný jev.

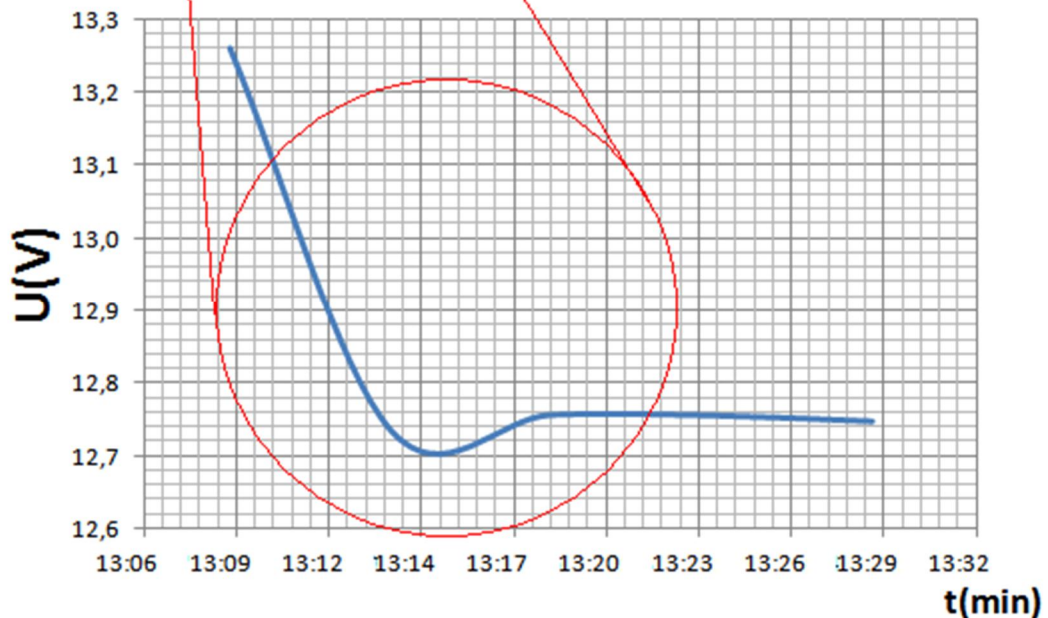
Počátky vybíjecích charakteristik nebývají většinou v grafech uváděny. Průběh charakteristiky na počátku vybíjení krátkodobě klesá v důsledku změn koncentrace iontů. Velikost a doba jevu je závislá na typu akumulátoru a všech jeho parametrech (intenzita vybíjení a nabíjení proudem, technickým stavem a životností akumulátoru). Tento jev dosahuje jen několika miliVolt, tudíž jsou při běžném použití akumulátorů zanedbatelné.

Experimentálně jsem přechodný jev ověřil u kapalných akumulátorů.

Charakteristika vybíjení Banner Batterien 3



Přibližný průběh napětí článku kratně po zápnutí na vybíjení



Obr. č. 6.19: Přechodný jev

6.4. Samovýbíjení.

Samovýbíjení je bohužel běžnou realitou u každého typu akumulátoru. Olověná baterie se zcela obvykle vybijí za cca 6 - 12 měsíců. Pro odpojený gelový akumulátor (GiVC 12 80) uvádí výrobci tuto dobu na cca 7 měsíců, u akumulátorů se zaplavenými elektrodami na cca 2 měsíce. Hodnoty jsou závislé na konkrétním výrobcí, typu a provedení akumulátoru. Samovýbíjení je silně závislé také na okolní teplotě.

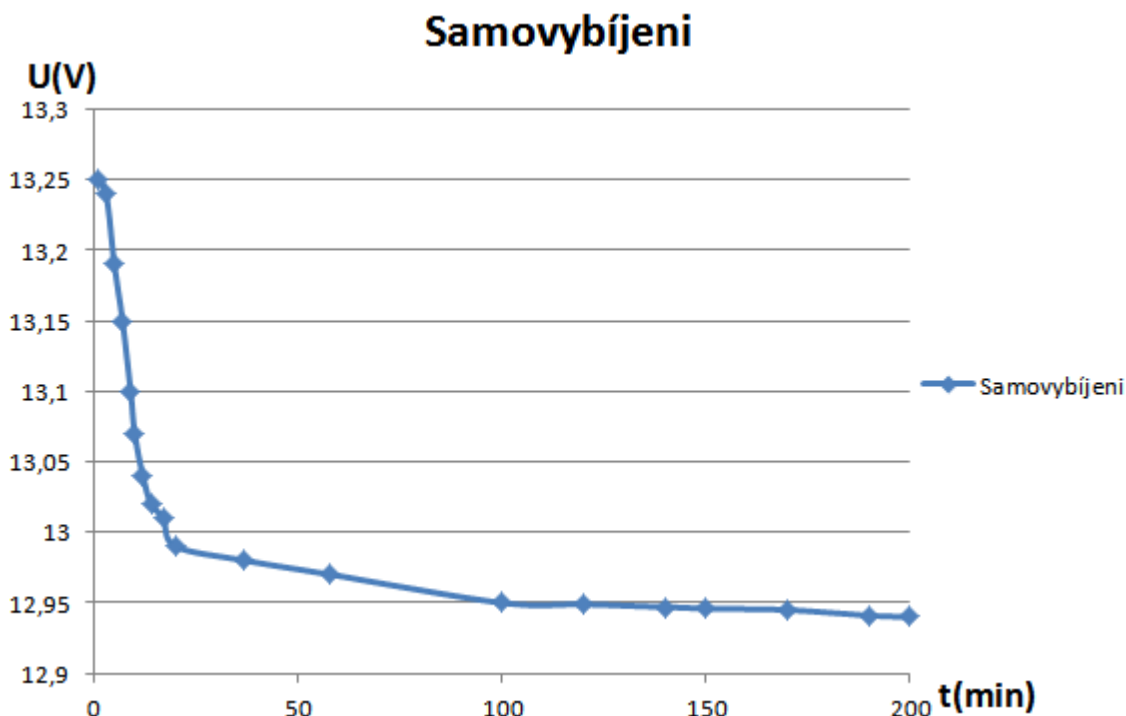
Samovýbíjení akumulátoru jsou maximalně po první době odpojení od zatížení. Kapalinové olověné akumulátory, díky samovolnému vybíjení, snižují své svorkové napětí

cca 8-10 mV/den, gelové cca 2 - 3 mV/den. Samovybíjení akumulátoru GiVC je dokumentováno viz. obr. č. 6.20 a obr. 6.21.

Tab. č. 6.15: Samovybíjení akumulátorů

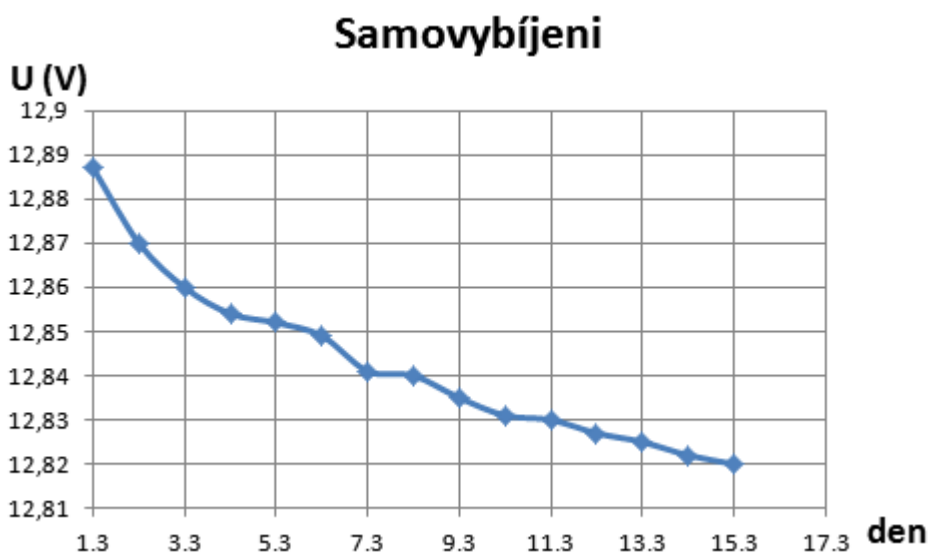
Akumulátory	Napětí na svorkách akumulátorů								
	25.2. 2013	25.3. 2013	15.4. 2013	29.4. 2013	27.5. 2013	21.6. 2103	27.8. 2013	20.9. 2013	15.10. 2013
Banner Baterien -1	12,6	12,5	12,5	12,4	12,6	12,6	12,4	12,3	12,2
Banner Baterien -2	12,3	12,3	12,3	12,2	12,4	12,5	12,3	12,2	12,1
Banner Baterien -3	12,6	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	11,7	11,5	11,4
Fiamm UMBT 1	12,5	12,7	12,6	12,4	12,3	12,5	12,4	12,3	12,3
Fiamm UMBT 2	11,7	11,4	11,5	11,5	11,6	11,5	11,2	11,1	11
Akuma Comfort					12,6	12,5	12,4	12,3	12,3
GiVC 12-80	12,8	12,7	12,6	12,6	12,5	12,1	11,8	11,6	11,5

V tab. č. 6.15 jsou uvedeny charakteristiky samovybíjení baterie. Jednotlivé články baterie mohou mít mírně odlišné vlastnosti. Důvodem je změna parametrů při výrobě baterií, nerovnoměrné rozdělení teploty uvnitř baterie během provozu a různé míry stárnutí jednotlivých baterií. V důsledku toho se při nabíjení, budou baterky s menší kapacitou znovu nabíjena . To způsobuje další degradaci baterie.



Obr. č. 6.20: Samovybíjení akumulátoru GiVC 12 80

Z naměřených hodnot podle obr. č. 6.20 je patrné, že napětí na svorkách baterie v první 20 minut při odpojení od nabíjení rychle klesá, 1,4 V/hod. Potom klesá napětí článku pomaleji (9- 10 mV/den).



Obr. č. 6.21: Samovybíjení akumulátoru GiVC 12 80(mV/den).

Vypočet kapacity dle rovnice (5.2):

$$S = \frac{C_1 - C_2}{C_1 * n} * 100\% \quad (5.2)$$

kde, C_1 – kapacita na začátku měření,

C_2 – kapacita na konci měření,

n- počet dnů.

Tab. č. 6.16: Ztrata kapacity při samovybíjení

Akumulátory	S, %
Banner Baterien -1	1,59
Banner Baterien -2	1,2
Banner Baterien -3	1,25
Fiamm UMBT 1	2,57
Fiamm UMBT 2	2,21
Akuma Comfort	0,9
GiVC 12-80	1,45

Podle tab. č. 6.16 jsou nejhorší parametry u staničních akumulátorů FIAMM, 2,21-2,57% na den.

7. Zhodnocení, závěr.

V souladu se zadáním diplomové práce bylo vytvořeno zařízení, které umožňuje řízené cyklické nabíjení a vybíjení akumulátorů. Pro úspěšné řešení práce bylo nutné provést celou řadu výše popsaných zkoušek. Testy byly realizovány na akumulátorech v inventáři katedry pořízených vesměs před více než 5 lety. Provedená měření prokazují, že všechny testované akumulátory ztratily více než 40 % své kapacity. To znamená, že jsou pro provoz v elektromobilech téměř nepoužitelné.

Co se týče životnosti akumulátorů, byla v daném případě posuzována v množství cyklů úplného vybití resp. nabíjení do ztráty kapacity na 50% původní hodnoty. Lze říci, že všechny testované akumulátory dosáhly své životnosti. Tomu také odpovídá vnitřní odpor akumulátoru, který se skládá z odporu desek, separátorů a elektrolytu. Převažující význam má odpor elektrolytu, ale vnitřní odpor se zvyšuje rovněž v souvislosti s tvorbou síranu olovnatého v aktivní vrstvě mřížek.

Neexistuje konkrétní metoda pro zjištění přesného stavu akumulátorů. Při měření vnitřního odporu baterií nastává odchylka 10-20%. Při výpočtu kapacity akumulátorů metodou vybíjení konstantním proudem činí odchylka 6-15%, v závislosti na nabití akumulátoru a hodnotě vybíjecího proudu (ve srovnání s předepsanými podmínkami vybíjecího režimu podle výrobců). Čím je větší vybíjecí proud, tím menší kapacitu můžeme z akumulátoru odčerpat. Opakovaná měření na stejné baterii dávají odchylku 7-12%. K přesnějšímu zjištění stavu baterie použijeme alespoň 2 metody.

Seznam použité literatury

- [L1] EVI Global EV Outlook 2013, 2013, Харьков. «Атомиздат»
- [L2] Technicky tydenik 2013, č. 25., Dostupné na <http://www.technickytydenik.cz/>
- [L3] Technicky tydenik 2013, č. 26, 17.12.2013
- [L4] Dostupné na www.teslamotors.com
- [L5] EF Research Center, Moscow.
- [L6] Časopis "Visions", zima 2011, Josef Janku, www.siemens.cz/visions
- [L7] CENEK, Miroslav a kolektiv. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. 248s. ISBN 80-86534-03-0
- [L8] Dostupné na <http://habrahabr.ru/post/137276/>
- [L9] <http://www.bannerbatterien.com/banner/files/FolderGiVCBlocCz.pdf> -Baterie GiVC a Starting Bull 544 09.
- [L10] Dostupné na www.fiamm.ru- baterie FiammUMBT 105.
- [L11] Normativní odkaz IEC 60095-1:2006 Lead-acid starter batteries - Part 1 (MOD). 8.2.2.
- [L12] Datasheet *MT70KB SERIES*. Dostupný na <http://www.semic.cz>
- [L13] О.А. Андрющенко., В.А. Водичев. Электронное программируемое реле Easy и MFD-Titan, Украина, Одесса. 2008.
- [L13] Manualy Easy relé MOELLER, Dostupné na <http://www.easy-mfd.cz>
- [L13] Manualy PLC automat MOELLER, Dostupné na <http://www.moeller.cz>
- [L14] Datasheet *SKKD 105F08*. Dostupný na <http://www.semic.cz>
- [L15] Kozumplík Josef, Akumulátory vozidel, Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1977
- [L16] Normativní odkaz ČSN EN 60896-21
- [L17] Электрохимические накопители энергии, Информационные днив Эрлане, АО Варта; 15.03.1993
- [L18] Тяговые аккумуляторы. Стегнеев Д.У., 2010.
- [L19] Haze Battery CompanyLtd. Sealed Lead Acid 6 & 12 Volt Monobloc 5 Year Range Datasheet [online]. Dostupný na <http://www.hazebattery.com/HZS/default.htm>
- [L20] Dostupný na http://www.niva-faq.msk.ru/tehnika/elektro/akku/akku_av.htm- olovene baterie
- [L21] Technical guide Banner Batterien, www.bannerbatterien.com
- [L22] В.И.Болотовский, З.И.Вайсгант «Эксплуатация,обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов»,Ленинград, Энергоатамиздат, 1989 год.

- [L23] М. А. Дасоян, В. В. Новодережкин, Ф. Ф. Томашевский «Производство электрических аккумуляторов», Москва, «Высшая школа», 1977.
- [L24] Д.А.Сицин, «Современная теория свинцового аккумулятора», Минск, Энергиядост, 2010.
- [L25] Manual Squirrel Dataloggeru 2010
- [L26] Барковский В.И. и др. Влияние годичного хранения на параметры необслуживаемых свинцово-кислотных аккумуляторов//Электротехника. - 1988. - №8. - С.6-9.
- [L27] <http://sevbat.com/consulting/1/>- nabíjeni akumulátoru
- [L28] Энергосбережение. Азумный А.В., Пивняк Г.Г., 2001.

Základní pojmy

Záporná elektroda (anoda) - je materiál, který má záporný elektrodový potenciál (uvolňuje elektrony).

Kladná elektroda (katoda) - je materiál který má kladný elektrodový potenciál (přijímá elektrony).

Desky-mřížka – záporné a kladné elektrody. Nejrozšířenější jsou akumulátory s plochými mřížkami, ale lze se setkat i s mřížkami stočenými do spirály.

Elektrolyt - je látka schopná se v roztoku (gelu) štěpit na nosiče náboje - anionty a kationty, které slouží k transportu nábojů (vedení proudu).

Separátor - je nevodivá, propustná hmota oddělující obě elektrody zabraňující jejich galvanickému spojení (zabraňuje elektrickému zkratování).

Nádoba a obal – fixují vzájemnou polohu elektrod a separátorů a zabraňují vytečení elektrolytu, jsou z materiálů inertních vůči působení elektrochemické reakce.

Životnost článku - a) u akumulátorů udává počet nabíjecích a vybíjecích cyklů, po nichž poklesla kapacita článku na 80 % jmenovité kapacity.

b) u primárních článků udává dobu, za kterou samovybitím poklesla kapacita článku na 80 nebo 50% původní nebo deklarované kapacity.

Pracovní teplota – rozmezí teplot, v nichž je článek schopen dodávat elektrickou energii. Množství odebratelné energie je silně závislé na teplotě článku, s klesající teplotou klesá. Udává se v [°C].

Skladovací teplota - rozmezí teplot, v nichž článek nemusí být schopen dodávat elektrickou energii, ale nedochází k jeho poškození nebo změně vlastností při provozu v rozsahu pracovních teplot. Udává se v [°C].

Pracovní nebo skladovací poloha – u některých typů článků je předepsána. V jiných polohách může dojít ke znehodnocení článku (vylití elektrolytu, zborcení elektrod).

Kapacita článku (Ah) - elektrický náboj, který je možno z článku za definovaných podmínek získat, příp. je nutno jej při nabíjení dodat.

Jmenovitá kapacita - se udává jako kapacita článku při vybíjení proudem, jehož číselná hodnota v ampérech je rovna jedné desetině jmenovité hodnoty kapacity, po dobu 10 hodin. Označuje se symbolem CA10. V některých případech u akumulátorů se udává CA20 nebo CA5 (v soulase s mezinárodní dohodou ČSN EN 60 095-1). Udává se v ampérhodinách [Ah].

Rezervní kapacita - označení RC. je to doba, po kterou je akumulátor schopen dodávat proud 25 A do poklesu napětí každého článku pod 1,75 V. Udává se v minutách [min].

Startovací kapacita, vybíjecí proud - (CCA) definuje startovací schopnosti akumulátoru za studena. Udává se však dle různých norem EN, IEC, DIN, SAE.

Metodika EN: ochladit akumulátor na -18 °C a zatížit vybíjecím proudem po dobu 10 s. Napětí akumulátoru nesmí klesnout pod 7,5V. Potom akumulátor se následně zatíží proudem o velikosti 60% původní hodnoty do poklesu napětí na hladinu 6V.

Metodika DIN: akumulátor se vybíjíme po dobu 30 s, přičemž koncové napětí nesmí klesnout pod 9V.

Metodika IEC: vybíjí po dobu 60 s a napětí nesmí klesnout pod 8,4V.

Metodika SAE: vybíjí po dobu 30 s a napětí nesmí klesnout pod 7,2V.

Napětí akumulátoru - je závislé na počtu článků baterie. U oloveného 6-ti článkového u nabitého akumulátoru je jeho svorkové napětí cca 12,6 až 12,8V, úplně vybitého cca 10,5V. Udává se ve voltech [V].

Jmenovité napětí - hodnota napětí olovených akumulátorů v klidu.

Klidové napětí - kdy neprochází žádný proud, toto napětí je vyšší než pracovní.

Nabíjecí napětí - je vždy vyšší než napětí akumulátoru v klidu.

Watthodinová kapacita - je násobek ampérhodinové kapacity vybíjecím napětím. Udává se v watech [W].

Vybíjecí proud - vybíjecí proud je proud, který je plně nabitý akumulátor schopen dodávat při teplotě -18°C po dobu 10 s, přičemž napětí akumulátoru nesmí poklesnout pod 7,5 V.

Hluboké vybíjení - vybíjení, při kterém napětí klesá k hladině 10,5V. Takto vybitý akumulátor musíme ihned nabít, jinak jej ohrozíme masivní sulfatací. Hluboké vybíjení vždy zkracuje životnost akumulátoru.

Peukertova konstanta - pojmenovaná po německém vědci. Závislost kapacity akumulátoru na rychlosti vybíjení, kde můžeme korigovat vybíjecí proud mocninou konstanty „k“. Následně tak lze stanovit kapacitu akumulátoru.

Normální nabíjení - nabíjecí proud činí asi 10 % číselné hodnoty jmenovité kapacity.

Rychlonabíjení - nabíjecí proud činí maximálně 80 % číselné hodnoty jmenovité kapacity. Rychlé nabíjení se však smí provádět pouze do dosažení plynovacího napětí, teplota elektrolytu při tom nesmí přesáhnout 55 °C.

Vnitřní odpor akumulátoru - složkami vnitřního odporu jsou odpor činné hmoty, odpor jejího spojení s mřížkou, vlastnosti přechodové vrstvy a separátorů. Značný vliv na vnitřní odpor má i hustota a teplota elektrolytu. Udává se v ohmech [Ω].

Formování desek - formování desek je *elektrochemický proces*, při kterém se na kladné a záporné elektrodě vytváří požadovaná aktivní hmota.

Samovybíjení - příčinou samovybíjení jsou chemické procesy na povrchu akumulátoru, které probíhají, i když na akumulátor není připojena žádná zátěž. Hlavní příčinou vzniku proudů, které samovybíjení způsobují, jsou nečistoty na povrchu akumulátoru, které vytváří svod mezi svorkami navzájem i mezi svorkami a kostrou. Značný vliv na samovybíjení má i teplota, s rostoucí teplotou samovybíjení vzrůstá.

Sulfatace - Sulfatace je proces, při němž se *amorfní* síran olovnatý mění na *krystalický*, který je v elektrolytu nerozpustný. Desky se pokrývají bílými skvrnami, tvrdnou a bortí se. Krystalický síran má podstatně zmenšený činný povrch, proto jsou reakce pomalejší, mimoto narůstající krystaly uzavírají póry a trhají činnou hmotu.

Slovník

A battery- baterie
acid storage battery- olověny akumulátor
air battery- zinkovzduchové baterie
AGM (Absorbed Glass Mat)- gelový olověne baterie
alkaline battery- (primární) alkalický článek
alkaline battery- zinko-uhlíkový článek
alkaline dry battery- alkalický článek
alkaline manganese battery- zinko-uhlíkový článek
alkaline storage battery- alkalický akumulátor
anode battery- anodová baterie
B battery- anodová baterie
Bansen battery- Bunsenův článek
battery- baterie
Clark battery- Klarkův článek
cadmium normal battery- Westonův článek
carbon battery- zinko-uhlíkový článek
carbon-zinc battery- (suchy) zinko-uhlíkový článek
cell- článek
CCA –Cold Cranking amps - startovací schopnosti akumulátoru za studena
chemical battery- chemická baterka
chargeable battery- sekundární článek
cooper-zinc battery- Danielův článek
Daniel battery- Danielův článek
dichromate battery- (primární) dichromatni článek
divalent silver oxide battery- stříbro-zinkový článek
drum storage- nikl-zinkový článek
Edison battery- Edisonův článek
electric battery- primární článek
Faradey battery- Faradeův článek
Grenet battery- Grenetův zinkové článek
galvanic battery- galvanická baterka
Lalande battery- Lalandův článek
Leclanche battery- zinko-uhlíkový článek (Leclanche battery), (Zn-Mn)
lead (-acid) battery- olověný (Pb) akumulátor
lead-acid (lead-storage) battery- olověný (Pb) akumulátor
lithium battery- lithiový článek
magnesium mercuric oxide battery- magnazium rtuťová alkalicka baterie
magnesium-silver chloride battery- magnazium stříbný článek
mercury battery- magnazium rtuťový článek
metal-air storage battery- vzduchometalický článek
MF–(Maitenance Free) - takto se označují plně bezúdržbové akumulátory.

nicad battery- nikel-kadmiový (NiCd)
nickel-cadmium battery- nikel-kadmiový (NiCd)
nickel-iron battery- nikelmetalhydridová (NiMH) baterie
primary battery- (primární) článku
Ruben battery- zink rtuťový článku
rechargeable battery- sekundární akumulátorova baterie
sealed battery- hermetický akumulátor
secondary battery- sekundární baterie
silver-cadmium storage battery- Stříbro-kadmiový baterie
silver-zinc primary battery- zinko-stříbrný primární článku
SLA - (Sealed Lead Acid) hermeticky uzavřené olovené kyselinové akumulátory
SLI - (Starting-Lights-Ignition) startovací akumulátory, které jsou schopné podat značný startovací proud.
solar battery- solární panel
VRLA (Valve Regulated Lead Acid)- bezúdržbové ventilem řízené akumulátory
Voltaic battery- Voltův článku
wet battery- článku s kapalným elektrolytem
zinc-nickel battery- zinkoniklová baterie

Příloha1

Banner Batterien 544 09 (1)

$$U_{nab.poc} = 12,1V$$

$$U_{nab.kon} = 14,57V$$

$$U_{vyb.poc} = 13,1V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,1V$$

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,82	3,64	1,72	24,53	27

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,4	1,74	20,60	25

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,9	3,56	1,89	26,96	30

vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,4	1,70	20,28	26

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,71	3,62	1,80	25,68	29

vybíjení 3				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,3	1,85	22,03	28

nabíjení 4				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,78	3,64	1,78	25,29	28

vybíjení 4				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,3	1,82	21,71	27

nabíjení 5				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,85	3,6	1,71	24,35	27

vybíjení 5				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,3	1,75	20,84	26

nabíjení 6				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4	3,6	1,69	23,97	26

vybíjení 6				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,4	1,69	20,20	26

nabíjení 7				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,95	3,6	1,72	24,4	27

vybíjení 7				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,3	1,64	19,48	24

Banner Batterien 544 09 (3)

$$U_{nab.poc} = 13,47V$$

$$U_{nab.kon} = 14,45V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,78V$$

$$U_{vyb.kon} = 9,83V$$

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3	3,84	2,82	40,26	44

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,1	3,3	2,65	31,12	41

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,91	3,78	2,165	30,89	34

vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,15	3,4	2,12	24,76	32

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,945	3,78	1,76	25,12	28

vybíjení 3				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,25	3,4	1,775	20,78	26

nabíjení 4				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,91	3,74	1,927	27,46	31

vybíjení 4				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,32	3,4	1,92	22,63	28

nabíjení 5				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4	3,82	1,60	22,72	25

Fiamm Monolite UMBT 105 (1)

$$U_{nab.poc} = 13,15V$$

$$U_{nab.kon} = 14,58V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,83V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,17V$$

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,5	2,8	24,64	342	290

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,3	3,5	28,94	348,7	424

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,45	2,85	23,34	323,2	437

vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,15	3,5	25,3	306,86	362

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,34	2,76	23	319,5	435

vybíjení 3				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,25	3,5	23,49	285	341

nabíjení 4				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3	627160,4	12,77	174,2	240

vybíjení 4				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,15	3,5	23,256	282	261

Fiamm Monolite UMBT 105 (2)

$$U_{nab.poc} = 12,5V$$

$$U_{nab.kon} = 14,86V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,72V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,125V$$

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
4,2	3,4	2,78	32,3	41,7

nabíjení 2				
------------	--	--	--	--

vybíjení 2				
------------	--	--	--	--

Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,15	2,7	37,2	65

lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
0,415	0,4	2,02	23,84	30

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,52	1,56	3,21	43,85	91

vybíjení 3				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
3,6	2,4	2,6	28,96	61

nabíjení 4				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,36	1,55	3,4	46,9	105

vybíjení 4				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,4	2,77	31,67	59

nabíjení 5				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,45	1,56	3,35	45,77	102

vybíjení 5				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,4	2,9925	34,54	67

nabíjení 6				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,37	1,5	3,33	45,5	103

vybíjení 6				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,4	3	326	68

nabíjení 7				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,3	1,54	3,32	45,14	104

vybíjení 7				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,8	2,3	3,1	36	67

nabíjení 8				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,34	1,5	3,53	48	120

vybíjení 8				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,8	2,3	3,245	37,77	71

nabíjení 9				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,27	1,81	2,88	38,6	87

vybíjení 9				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
2,9	2,3	3,47	40,5	77

Banner GiVC 12-80

$$U_{nab.poc} = 12,7V$$

$$U_{nab.kon} = 15,8V$$

$$U_{vyb.poc} = 12,23V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,15V$$

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
5	4,61	0,8148	11,626	290

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t, min
6,5	4,9	37,658	429,60	424

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
5,7	4,58	36,735	507,55	437

vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6	4,8	34,648	395,67	362

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
5,7	2,75	35,87	497,01	435

GiVC 12-80. Měření 15.01-17.01

$$U_{nab.poc} = 12,9V$$

$$U_{nab.kon} = 16,2V$$

$$U_{vyb.poc} = 11,93V$$

$$U_{vyb.kon} = 10,12V$$

nabíjení 1				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6	4,75	29,89	415,9	307

vybíjení 1				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6,5	5,8	30,89	347,6	305

nabíjení 2				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6	4,38	38,94	572,34	441

vybíjení 2				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6,7	5,8	28,246	318,89	257

nabíjení 3				
Inab.p, A	Inab.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
5,9	2,8	66,82	999,89	1260

vybíjení 3				
lvyb.p, A	lvyb.k, A	C, Ah	E, Wh	t,min
6,8	5,9	35,74	407,17	302