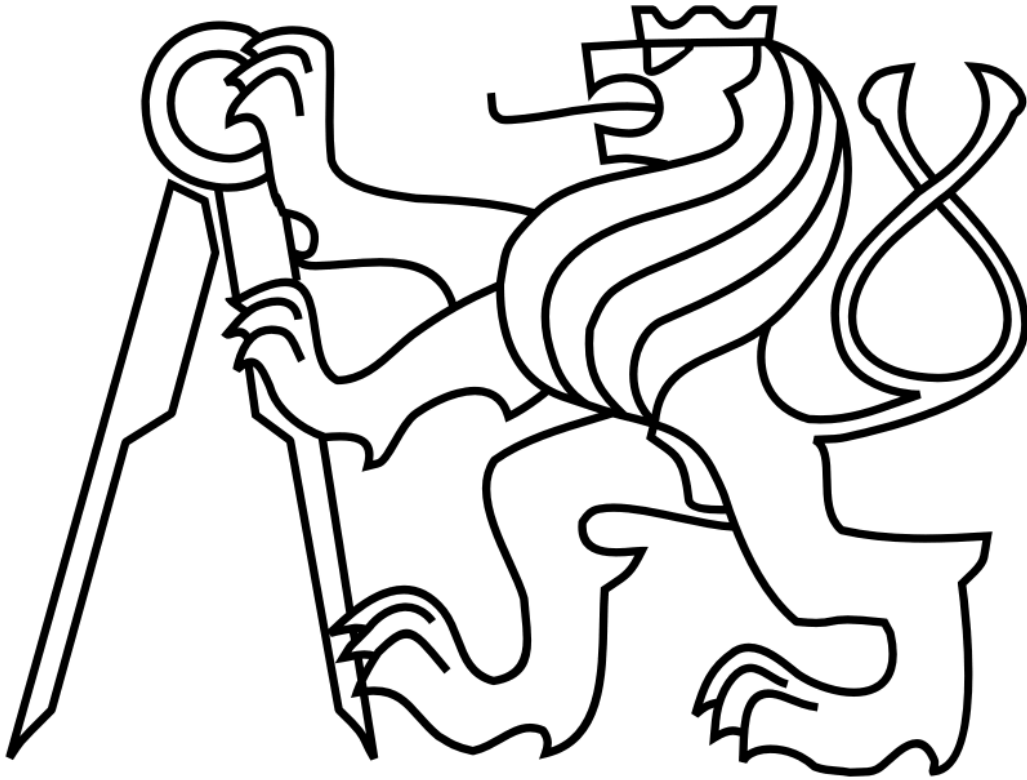


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace oběhu baterií

Autor: Bc. Tomáš Fulka

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.

Akademický rok: 2016/2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fulka** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **398569**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace oběhu baterií

Název diplomové práce anglicky:

Battery flow optimization

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište oběh baterií pro elektrické vozíky v rámci závodu Škoda Auto Kvasiny.
- 2) Charakterizujte zátěž trakčních baterií v jednotlivých provezech.
- 3) Na základě shromážděných údajů se pokuste o optimalizaci oběhu trakčních baterií v závodě.
- 4) Na závěr zhodnoťte výhody a nevýhody vámi navržené optimalizace. Optimalizaci buď doporučte, nebo zamítněte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BUCHMANN, Isidor. Battery University [online]. Richmond, British Columbia, Canada: Cadex Electronics, 2016. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com/>
- [2] REDDY, Thomas B a David LINDEN. Linden's handbook of batteries. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2011, 1 v. (various pagings). ISBN 9780071624213.
- [3] Technické listy a podklady výrobců baterií a bateriových vozíků.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Hrzina Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **14.02.2017** Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 22. 5. 2017

Tomáš Fulka

Poděkování

V úvodu mé diplomové práce bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu při studiu, dále vedoucímu práce Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D., za vedení mé diplomové práce a velmi cenné konzultace, které mi v průběhu tvorby této práce vždy s ochotou poskytoval.

ABSTRAKT

Název práce: Optimalizace oběhu baterií

Autor: Bc. Tomáš Fulka

Obor: Elektroenergetika

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., FEL ČVUT

Abstrakt: Tato práce se zabývá rešerší stávajícího systému nabíjení baterií v závodě Kvasiny a následné vydávání do oběhu. Práce seznamuje s principem používaného systému. Následuje návrh optimalizace stávajícího systému nabíjení baterií a jejich lepšího využití. Výstupem práce je praktické měření a analýza současného stav s některými doporučeními.

Klíčová slova: Trakční baterie, nabíjení, účinnost, optimalizace

Title: Battery flow optimization

Author: Tomáš Fulka

Specialization: Electricity industry

Kind of work: Diploma thesis

Supervisor: Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., FEL ČVUT

Abstract: The thesis deals with the actual system of battery charging and its use in an electrical circuit. Both the principle and review of the system are described, and optimization of the so-far existing system of battery charging is offered then. Conclusions inferred are supported by an experimental data.

Keywords: Traction battery, charging, efficiency, optimization

OBSAH

1. Úvod	11
2. Elektrochemické zdroje	13
2.1 Historie.....	13
2.2 Základní pojmy	13
2.3 Elektrochemické zdroje proudu	14
3. Olověné akumulátory.....	16
3.1 Elektrolyt – promíchávání	17
3.2 Konstrukce olověných akumulátorů.....	18
3.3 Elektrody	18
3.3.1 Kladné elektrody	18
3.3.2 Záporné elektrody.....	21
3.4 Sulfatace	21
3.5 Formování elektrod.....	22
3.6 Separátory (oddělovače elektrod).....	22
3.6.1 Plošné separátory.....	22
3.6.2 Separátory ve tvaru obálek.....	22
3.7 Akumulátorové nádoby a víka	22
3.8 Zátky pro automatické udržování hladiny elektrolytu.....	23
3.9 Voda pro olověné akumulátory	23
4. Olověné akumulátory trakční.....	24
5. Nabíjení olověných akumulátorů	24
5.1 Rychlost nabití	24
5.1.1 Vliv zdroje	24
5.1.2 Vliv baterie	25
5.2 Energetická účinnost nabíjení.....	25
5.3 Vliv nabíjení na životnost baterie	25
5.4 Druhy nabíjecích charakteristik.....	25
5.4.1 Nabíjení podle charakteristiky I, případně I _a	26
5.4.2 Nabíjení podle charakteristiky W, případně W _a	27
5.4.3 Nabíjení podle charakteristiky WoWa a WoW	28
5.4.4 Nabíjení podle charakteristiky U	29
5.4.5 Nabíjení podle charakteristiky IU nebo WU	29
5.4.6 Nabíjení podle charakteristiky IUW.....	30

5.4.7	Nabájení podle charakteristiky IU1a	30
6.	Nabíjecí stanice v hale svařovny	31
6.1	Samoobslužná výměna baterií	32
6.2	Diagram průběhu výměny baterie v nabíjecí stanici	32
6.3	Typy baterií podle použití v manipulační technice	32
7.	Baterie Enersys	33
7.1	Konstrukce baterie	34
7.2	System doplňování vody do článků baterie	34
8.	Zátěž baterií v provozu	34
9.	Současná optimalizace baterií v provozu	35
10.	Nabíječ Eprona typ HFR 39.....	36
10.1	Technické parametry nabíječe.....	36
10.2	Charakteristika nabíječe	36
10.3	Zapojení nabíječe na baterii a automatické doplňování vody.....	37
10.4	Schéma silové části nabíječe	37
10.5	Popis funkce	37
10.6	Nabíjecí charakteristika MinitCharger.....	38
10.7	Ekonomika nabíjení	39
11.	Měření na baterii.....	40
11.1	Zátěžový test	40
11.2	Naměřené hodnoty	41
11.3	Výsledek prvního měření kapacity baterie.....	45
12.	Experiment oživení baterie	46
13.	Měření po experimentu oživení	46
13.1	Výsledek měření po experimentu	51
14.	Teoretická optimalizace	52
14.1	Promíchávání elektrolytu	52
14.2	Pulzní nabíjení	52
14.3	Úprava nabíjecí charakteristiky v nabíječi HFR 39	53
14.4	Bezdrátové nabíjení za jízdy.....	53
15.	Závěr.....	54
16.	Použitá literatura.....	55
16.1	Tištěné zdroje	55
16.2	Internetové zdroje	55
17.	Přílohy.....	56

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Čelní technika (vlevo typ FM-X a na pravo RX60-20) [9]	11
Obrázek 2 - Tahač typu R06 s připojenou hydraulickou tažnou soupravou E-rámů [9]	12
Obrázek 3 - Ruční manipulační technika od firmy Still [9].....	12
Obrázek 4 - Historie, jak vznikly první články [6].....	13
Obrázek 5 - Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru [12]	17
Obrázek 6 - Konstrukce klasického olověného článku [12].....	18
Obrázek 7 – Kladná velkopovrchová (Plantého) elektroda [2]	19
Obrázek 8 - Kladná mřížková elektroda [2]	20
Obrázek 9 - A) povrch aktivní hmoty bez sulfatace [8] B) povrch aktivní hmoty se začínající sulfatací [8].....	21
Obrázek 10 - Povrch aktivní hmoty s velkou sulfatací [8].....	21
Obrázek 11 - Zátka k automatickému doplňování článků trakčních akumulátorů vodou [11]	23
Obrázek 12 - Nabíjení podle charakteristiky I [7]	26
Obrázek 13 - a) Charakteristika W [4] b) Časová závislost mapětí a proudu při nabíjení [4]	27
Obrázek 14 - Nabíjecí charakteristiky WoWa a WoW [8].....	28
Obrázek 15 - Nabíjecí charakteristika U [8].....	29
Obrázek 16 - Nabíjecí charakteristika IU [3].....	29
Obrázek 17 - Nabíjení podle charakteristiky IUW [8]	30
Obrázek 18 - Nabájení podle charakteristiky IUla [8].....	30
Obrázek 19 - Nabíjecí stanice v hale svařovny ve Škoda auto závodu Kvasiny	31
Obrázek 20 - Konstrukce článku [11]	33
Obrázek 21 - Trakční baterie Hawker [11]	33
Obrázek 22 - Zátka systému aquamatic [11].....	34
Obrázek 23 - Nabíječ HFR 39 od firmy Eprona.....	36
Obrázek 24 - Zapojení baterie na nabíječ a automatické doplňování vody [11]	37
Obrázek 25 - Měřicí pracoviště	40
Obrázek 26 - Protokol z měření kapacity baterie	41
Obrázek 27 - Průměrné napětí na člancích vůči nejslabšímu článku baterie v průběhu kapacitní zkoušky	42
Obrázek 28 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (relativní čas měření 0:18:39)....	42
Obrázek 29 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (relativní čas měření 1:01:46)....	43
Obrázek 30 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (relativní čas měření 2:01:23)....	43
Obrázek 31 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 8).....	44
Obrázek 32 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 9).....	44
Obrázek 33 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 10).....	45

Obrázek 34 - Porovnání napěťových hladin jednotlivých měření	45
Obrázek 35 – Protokol z kapacitní zkoušky po oživení baterie	47
Obrázek 36 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 00:21:26	48
Obrázek 37 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 01:05:34	48
Obrázek 38 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 02:20:55	49
Obrázek 39 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:10:24	49
Obrázek 40 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:43:11	50
Obrázek 41 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:57:10	50
Obrázek 42 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 04:08:40	51
Obrázek 43 - Porovnání napětí na člancích z druhé kapacitní zkoušky.....	51
Obrázek 44 - Průběh proudu při pulzním Obrázek 45 - Průběh proudu při pulzním	52

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Účinky nabíjecího napětí na malé olověné baterie. [7].....	27
Tabulka 2 - Rozdělení baterií do skupin v nabíjecí stanici	32
Tabulka 3 - Technické parametry nabíječe HFR39.....	36

1. Úvod

Ve firmě Škoda auto a.s. v závodu Kvasiny je v logistice 253 ks manipulační techniky od výrobců Still, Linde, Sichelschmit, Movexx a další. Z těchto 253 ks manipulační techniky je 231 ks v operativním leasingu a zbylých 22 ks v majetku Škoda auto a.s. Každá manipulační technika má výměnou olovenou trakční baterii od výrobce IBG [\[10\]](#) nebo Enersys [\[11\]](#), která se nabíjí v jedné ze tří nabíjecích stanic. Ke každému typu manipulační technice náleží určitý typ baterie, který je na daném příslušném místě v nabíjecí stanici.

Manipulační technika se rozděluje do tří skupin.

a) Čelní technika

Všechny vozíky, které jsou vybaveny na přední části vidlicemi. Tato technika se rozlišuje nejen podle nosnosti břemene, ale i třeba výšky požadovaného zdvihu. Čelní technika typ FM-X se používá právě na zvedání břemen až do 8 m. Typy rx60-16 až rx60-50 jsou stavěny pro zátěž od 1600 Kg do 5000 Kg podle typu.



Obrázek 1 - Čelní technika (vlevo typ FM-X a na pravo RX60-20) [\[9\]](#)

b) Tahače

Manipulační technika, která je určena k tahání souprav. Tyto soupravy mohou být pouze další přípojné tažené vozíky nebo inteligentní tažné soupravy. (e-rámy, c-rámy, b-rámy).[\[9\]](#)

Typy použité jako tahače jsou R06, LTX a CXT.



Obrázek 2 - Tahač typu R06 s připojenou hydraulickou tažnou soupravou E-rámů [\[9\]](#)

c) Ruční manipulační technika

Používá se na stohování materiálů na paletách především ve skladech, kde je málo prostoru na manipulaci do regálových systémů.



Obrázek 3 - Ruční manipulační technika od firmy Still [\[9\]](#)

2. Elektrochemické zdroje

2.1 Historie

Historie, a vznik prvních článků (baterie)?

rok 1800 n.l.	Ital Alessandro Volta sestavil první chemický zdroj elektrického proudu, byl to takzvaný Voltův sloup, prototyp primárního galvanického článku (primární galvanické články nelze po vybití znovu nabíjet)
rok 1859 n.l.	Francouz Gaston Platé sestavil článek ze dvou olověných desek, oddělených plátěným separátorem a ponořil je do roztoku kyseliny sírové, článek disponoval elektrickým napětím zhruba 2V a po vybití jej bylo možné opět nabít (jednalo se o první sekundární článek)
rok 1899 n.l.	Švéd Waldmar Junger patentoval první Niklo-Kadmiový (NiCd) akumulátor
rok 1901 n.l.	Američan Thomas Alva Edison patentoval první Niklo-Železový (NiFe) akumulátor

Obrázek 4 - Historie, jak vznikly první články [6]

2.2 Základní pojmy

Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie. [1] Elektrochemické zdroje elektrické energie jsou zařízení na přímou přeměnu chemické energie v energii elektrickou. [2] Každý zdroj je ve své podstatě měničem energie. [3] Během vybíjení v nich dochází k chemické reakci aktivních materiálů: reakční energie se uvolňuje v podobě stejnosměrného elektrického proudu.

Elektrochemické zdroje podle jejich principu dělíme na primární a sekundární články neboli akumulátory.

Primární články – Při vybíjení článku v nich dochází k nevratné přeměně materiálů elektrod na elektrickou energii, protože obsahují omezené množství aktivních materiálů přeměňovaných elektrochemickou reakcí. Po spotřebování těchto materiálů články ztrácejí svoji funkčnost. Články se vybijí a napětí na nich klesá. Zároveň stoupá vnitřní odpor a článek ztrácí schopnost napájet připojené zařízení či spotřebič. Poté se ze článku stává odpad.

Sekundární články – Oproti primárním článkům umožňují vratnou přeměnu elektrické energie a chemické formy energie (tzv. vybíjení a opětné nabití článků) a tento proces lze několikanásobně opakovat. Lépe řečeno, mají také omezené množství reaktantu, ale když se vybíjením spotřebuje, lze však reakční produkty znovu převést elektrickým proudem z vnějšího okruhu v aktivní materiály. Elektrická energie, která je do článku dodávána se v článku akumuluje. Jednomu nabití a vybití říkáme jeden cyklus. Většina článků snese stovky až tisíce takových cyklů.

2.3 Elektrochemické zdroje proudu

Základní jednotkou elektrochemického zdroje proudu je elektrochemický článek (dále jen článek) tvořený kladnou a zápornou elektrodou, které jsou ve styku s elektrolytem. Z hlediska konstrukčního musí být zachovány dva základní principy:

- a) Prostorové oddělení reaktantů a tím i prostorové oddělení elektrodových reakcí,
- b) každý z reaktantů musí být ve styku s elektrolytem

Zápornou elektrodou (anodou) je materiál, který se při vybíjení článku oxiduje a uvolňuje elektrony. Má záporný elektrodový potenciál E_A^0 .

Kladnou elektrodou (katodou) je materiál s kladným elektrodovým potenciálem E_K^0 , který uvolněné elektrony přijímá a tím se redukuje.

Elektrolyt je látka schopná se v roztoku štěpit na nabitě částice (ionty) - kationty s kladným znaménkem a anionty se záporným znaménkem. Ionty umožňují vedení proudu v článku.

Separátor je nevodivá, propustná nebo průlinčitá hmota oddělující obě elektrody a tím zabraňuje elektrickému zkratování elektrod opačné polarity, avšak umožňující pohyb nosičů náboje v elektrolytu. Obecně je to pórzní izolátor ve formě tkaniny, desky, fólie aj. chemicky stálý vůči elektrolytu a všem složkám elektrod a článku. Musí být mechanicky pevný a případně schopný zadržovat některé ionty vyskytující se v systému.[\[2\]](#)

Napětí článku dělíme na jmenovité a skutečné.

Jmenovité napětí článku je uváděno na výrobku a jeho velikost se přibližně rovná průměrnému napětí při vybíjení za standardních podmínek.

Skutečné napětí je měřené na svorkách článku a udává se ve voltech (V). Jeho hodnota značně závisí na pracovních podmínkách článku. Velikost napětí článku se mění v závislosti na

stavu nabití článku, na směru a velikosti protékajícího proudu a teplotě. Jako základní orientační údaje je možno uvést napětí nabitého článku naprázdno, tedy bez zatížení (měřeno měřicím přístrojem s velkým vnitřním odporem), a napětí konečné, tedy nejnižší hodnota napětí článku na konci jeho praktické použitelnosti.

Kapacita článku se udává v (Ah) je množství elektrického náboje, který je možno za definovaných podmínek při vybití článku získat. Kapacitu článku rozlišujeme na skutečnou a jmenovitou.

Skutečná kapacita je kapacita, kterou naměříme za určitých podmínek a mění se podle stáří článku, podmínkách nabíjení, velikosti vybíjecího proudu, konečném vybíjecím napětí, teplotě a dalších mnoha faktorech.

Jmenovitá kapacita se obvykle udává pro zatížení jmenovitým proudem po dobu 20 nebo 10 hodin. Označuje symbolem „C“ a číslicí vyjadřující dobu zatížení v hodinách. Například $C_{20} = 55 \text{ Ah}$ znamená, že při zatížení jmenovitým proudem po dobu 20 hodin, dosahuje akumulátor kapacity 55 Ah. Nebo jinak, při odběru $55 / 20 = 2,75 \text{ A}$ bude akumulátor kryt energetickou potřebou spotřebiče po dobu 20 hodin. Čím větší udávaná kapacita, tím více energie je akumulátor schopen naakumulovat a následně vydat. Jmenovitá kapacita se zjišťuje dle různé metodiky, proto je dobré zjistit, co daný údaj znamená. Například dle EN norem se zjišťuje při teplotě 25 °C a zatížení daným proudem tak dlouho, dokud napětí na článek neklesne pod $1,5 \text{ V}$. Obvyklé vyjádření jmenovité kapacity akumulátoru je tedy C_{20} (zatěžování po dobu 20 hodin) nebo C_{10} (zatěžování po dobu 10 hodin).

Watt hodinová kapacita C_{Wh} zdroje je násobek ampérhodinové kapacity průměrným vybíjecím napětím. Udává se ve Wh. [\[2\]](#)

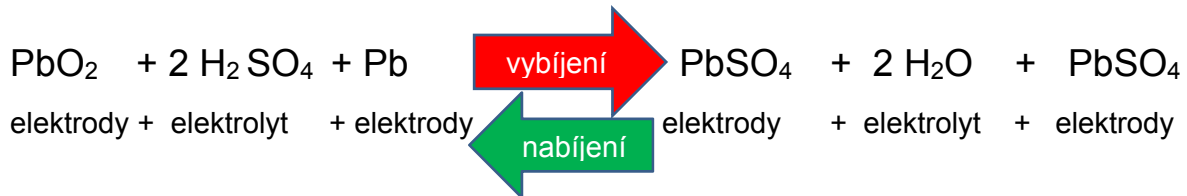
V mé diplomové práci se budu dále zabývat olověnými trakčními akumulátory s kyselým elektrolytem. Než začnu psát o bateriích, nejprve si vysvětlíme často zaměňované pojmy články a baterie.

Baterie vznikne paralelním, sériovým nebo sérioparalelním zapojením několika článků. Za baterii lze považovat i jeden článek opatřený vývody a etiketou. Při sériovém zapojení je konečné napětí baterie dáno součtem napětí jednotlivých článků. Kapacita takovéto baterie je dána kapacitou článku, který má nejmenší hodnotu této veličiny. Paralelně je možné spojit pouze články se shodným napětím. Výsledná kapacita baterie je pak dána součtem kapacit jednotlivých článků. V praxi jsou baterie sestavovány pouze ze článků shodných parametrů, pocházejících vždy z jedné výrobní série. [\[1\]](#)

3. Olověné akumulátory

Princip a uspořádání olověných akumulátorů je znám víc jak sto let.

Činnost olověných akumulátorů si ukážeme zjednodušeně vratnou chemickou reakcí.



(směr šipky znázorňuje pochod při vybití a nabíjení)

V nabitém stavu

+ elektroda: oxid PbO_2

- elektroda: houbovitě Pb

Ve vybitém stavu

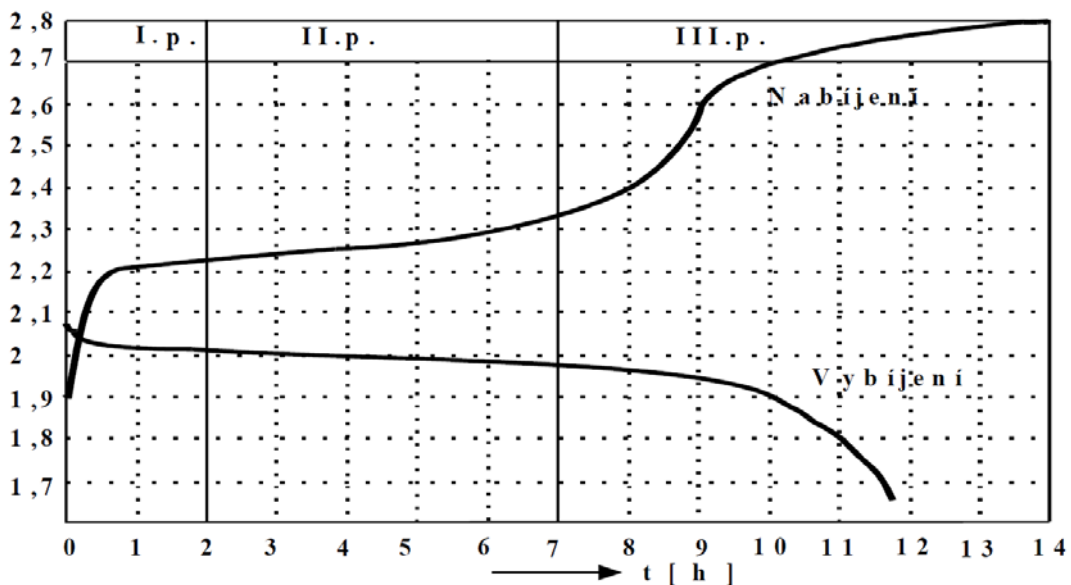
+ elektroda: síran olovnatý PbSO_4

- elektroda: síran olovnatý PbSO_4

Při nabíjení se tvoří kyselina sírová (H_2SO_4) a elektrolyt houstne. Elektrolyt olověných akumulátorů je vodní roztok kyseliny sírové (H_2SO_4). Pro doplňování či ředění koncentrované kyseliny se musí používat destilovaná nebo demineralizovaná voda, v žádném případě nesmíme použít pitnou vodu. Hustota elektrolytu v nabitém článku u trakčních a staničních baterií je $1,24 \text{ g/cm}^3$ (měřeno při pokojové teplotě $18^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}$). Jedním z ukazatelů stavu nabití akumulátoru je zvětšující se napětí při nabíjení. Pomocným ukazatelem je tzv. plynování elektrod. Z akumulátoru totiž při nabíjení unikají bubliny, jako by se elektrolyt „vařil“. Tento jev však ukazuje na to, že je ukončen rozklad síranu olova a že začíná elektrolýza vody. Voda se při nabíjení rozkládá na vodík a kyslík. Proto je třeba akumulátory ve větším množství nabíjet ve větraných místnostech, nebo na volném prostranství. Směs vodíku a kyslíku tvoří třaskavý plyn, který může při nahromadění explodovat. Po skončení nabíjení je na kladné elektrodě tmavohnědý oxid olovičitý (PbO_2) a na záporné elektrodě je jemně rozptýlené tmavošedé olovo. [12]

Při vybití je pochod opačný: elektrolyt řídne (H_2SO_4 se spotřebovává) a ve vybitém stavu je na kladné elektrodě červenohnědý a na záporné elektrodě tmavošedý síran olovnatý (PbSO_4). Hustota elektrolytu se zvětšujícím se nábojem zvětšuje a je tedy spolehlivou známkou stavu akumulátoru. Během vybití se tvoří na obou elektrodách špatně rozpustný síran olovnatý. Jeho měrná vodivost je vzhledem k vodivosti olova a oxidu olovičitého velmi malá, menší než 10^{-8} Scm^{-1} . Velký význam pro funkci elektrod má jejich pórovitá struktura umožňující průnik H_2SO_4 do objemu elektrod. Pórozita nabitých elektrod může být až 50 % a střední průměr pórů je u kladných elektrod 1 až $2 \mu\text{m}$ a u záporných elektrod $10 \mu\text{m}$. Během vybití pórozita značně klesá, protože měrný objem síranu olovnatého je větší

než měrný objem olova a oxidu olovičitého. Typickým efektem je silné zředování elektrolytu během vybíjení, protože kyselina sírová se spotřebovává a tvoří se voda. V nabitých akumulátorových člancích je koncentrace H_2SO_4 od 28 do 40 % (podle typu akumulátoru). Čím menší je objem elektrolytu v porovnání s množstvím aktivních elektrodových materiálů, tím větší je pokles koncentrace při vybíjení; ke konci vybíjení se koncentrace pohybuje mezi 12 až 24 %. Podle toho je bezproudové napětí nabitého akumulátoru 2,06 až 2,15 V a napětí téměř vybitého akumulátoru je 1,95 až 2,03 V. Pro daný akumulátor je pokles koncentrace kyseliny přímo úměrný prošlému náboji. Proto je měření koncentrace nebo hustoty elektrolytu vhodnou a přesnou metodou stanovení stupně nabití akumulátoru, což je výhodou olověného akumulátoru ve srovnání s jinými. Během vybíjení se objem elektrolytu zmenšuje zhruba o 1 ml na každou ampérhodinu. Pro nabíjení a vybíjení olověného akumulátoru jsou typické křivky podle obrázku 5. [12]

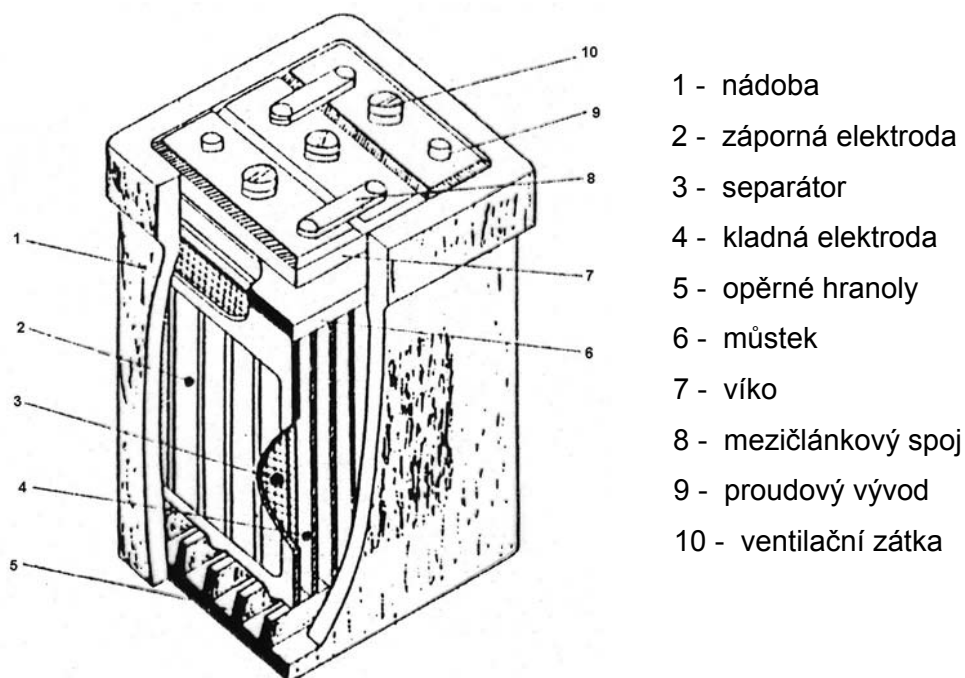


Obrázek 5 - Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru [12]

3.1 Elektrolyt – promíchávání

Někteří výrobci montují do akumulátoru vzduchovací trubičky, zavádějící vzduch na dno. Při nabíjení se rozvádí vzduch z nabíječe přes trubičky až na dno baterie a dochází tak k promíchávání elektrolytu. Toto vzduchování snižuje zatížení ploch elektrod a dochází tak ke zkrácení nabíjecí doby zhruba o 30 % a úspoře energie cca o 15 %. Tímto opatřením se minimalizuje plynování, snižuje se tvorba kalů a klesá i spotřeba vody až o 75 %. Další nespornou výhodou je nižší nárůst teploty při nabíjení o cca 10 °C.

3.2 Konstrukce olověných akumulátorů



Obrázek 6 - Konstrukce klasického olověného článku [12]

3.3 Elektrody

Elektrody jsou hlavní konstrukční částí akumulátorů. Závisí na nich elektrické, rozměrové a hmotnostní parametry i životnost akumulátorů. Vyrábějí se jako kladné (aktivním materiálem je v nabitém stavu PbO_2 - oxid olovičitý, který se vybíjením redukuje na PbSO_4 - síran olovnatý) a záporné (aktivním materiálem je v nabitém stavu velmi porézní olovo, jež se vybíjením oxiduje rovněž na PbSO_4 - síran olovnatý). Z každé základní velikosti elektrod se paralelním spojováním kladných elektrod v kladné sady a záporných elektrod v záporné sady získávají po sestavě články. Ampérhodinová kapacita každého článku je dána kapacitou kladné elektrody násobenou počtem kladných elektrod v sadě; jmenovité napětí článků 2 V se nemění. Zvláštní konstrukcí elektrod používaných jen výjimečně jsou tzv. elektrody bipolární. Ty se zapojují i do série. Napětí akumulátorů sestavených z těchto elektrod odpovídá 2 V násobeným počtem sestavených bipolárních elektrod v akumulátoru; Ah kapacita se s počtem bipolárních elektrod nemění.

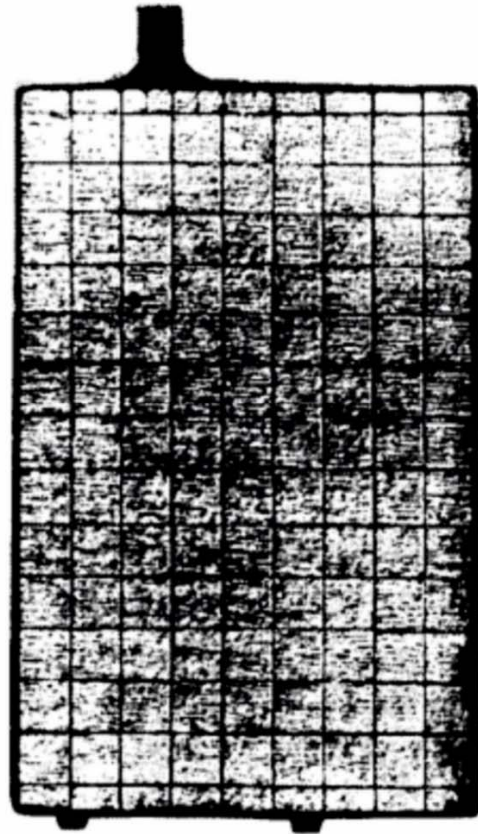
3.3.1 Kladné elektrody

Kladné elektrody mají kratší životnost než elektrody záporné, a proto limitují životnost olověných akumulátorů. Podle konstrukce je dělíme na:

Elektrody velkopovrchové (Plantého) - odlévají se z čistého olova o tloušťce cca 7 mm až 12 mm. Povrch elektrod je zvětšen proti geometrickému rozměru zhruba 10krát členěním na lamely. Provedení velkopovrchové elektrody je na obrázku 3. Tenká vrstva aktivní hmoty se vytváří na povrchu elektrod u výrobce tzv. formováním ve zředěné kyselině sírové s přísadou vhodného oxidačního prostředku, nejčastěji chloristanu draselného $KClO_4$. Velkopovrchové elektrody jsou vhodné jak pro bateriový provoz, při kterém dosahují životnosti kolem 1 000 cyklů nabití - vybití, tak pro provoz trvalého dobíjení, při němž dosahují podle tloušťky elektrod životnosti 15 až 25 let. Přes dobrou životnost velkopovrchových kladných(+) elektrod v bateriovém provozu a velmi dobrou životnost v provozu u trvalého dobíjení nejsou již tyto elektrody používány v trakčních akumulátorech a jejich využití klesá i v akumulátorech staničních. Důvodem je větší objem, hmotnost i cena v porovnání s jinými konstrukcemi (+) elektrod. [2]

Elektrody mřížkové (obr. 8) - zhotovují se odléváním kolektorů (mřížek) z olova legovaného antimonem pro dosažení lepších licích vlastností a pro zvýšení mechanické pevnosti elektrod. Zlepšuje se tím též odolnost elektrod v cyklech nabíjení – vybíjení. Nevýhodou je z výšené samovybíjení akumulátorů, které se stárnutím akumulátorů dále zvyšuje. Proto výrobci snížili v posledních letech množství antimonu v olovu z původních 7 % až 5 % na 2,4 % až 1,8 %, příp. olovo legují arzenem, selenem nebo tellurem. Z ekologického hlediska, ale hlavně pro dosažení minimálního samovybíjení, je nejvhodnější použití olova legovaného 0,06 % až 0,1 % vápníku s 0,3 % až 0,7 % cínu (elektrody jsou však choulostivější na přebíjení a hluboké vybíjení). Výhodou mřížkových elektrod je nižší hmotnost, objem a cena. Tloušťka elektrod určuje oblast jejich použití. Mřížkové (+) elektrody, tenčí než 2,5 mm, se používají pro nízký vnitřní elektrický odpor hlavně ve startovacích akumulátorech zatěžovaných proudy až $10 C_n$ [A] i více. Tlustší (+) elektrody se používají v trakčních akumulátorech, v omezeném rozsahu v akumulátorech staničních a v dalších konstrukcích akumulátorů, u kterých se nepožaduje vybíjení startovacími proudy. [2]

Nevýhodou mřížkových elektrod je krátká životnost. V cyklech nabíjení – vybíjení dosahují startovací akumulátory zhruba 200 cyklů, trakční akumulátory 300 až 700 cyklů. Při trvalém dobíjení se životnost mřížkových (+) elektrod pohybuje podle konstrukce od 3 do 6 let. [2]



Obrázek 7 – Kladná velkopovrchová (Plantého) elektroda [2] Obrázek 8 - Kladná mřížková elektroda [2]

Elektrody trubkové (pancéřové) - sestavují se z olověného hřebene, jehož trny jsou zasunuty do kyselinovzdorných textilních trubic. Prostor kolem olověných trnů v trubicích je vyplněn aktivní hmotou. Protože trubice zabraňují uvolňování a odpadávání hmoty do kalového prostoru, závisí životnost elektrod na korozní odolnosti olověného nosného systému elektrod. Nízkou hmotností a objemem se trubkové elektrody blíží elektrodám mřížkovým. V bateriovém provozu trakčních akumulátorů dosahují trubkové elektrody kolem 1 500 cyklů nabití – vybití a v provozu trvalého dobíjení staničních akumulátorů je jejich životnost 15 až 20 let. Cena trubkových elektrod se pohybuje mezi cenou elektrod velkopovrchových a mřížkových. Určitou nevýhodou trubkových (+) elektrod je vyšší vnitřní elektrický odpor. Akumulátory s těmito elektrodami jsou proto vhodné pro vybíjení proudy maximálně $0,5 C_n$ [A]. Snížení vnitřního elektrického odporu dosahují někteří výrobci použitím trubic o průměru 6 mm, místo klasických o průměru 8,7 mm. [2]

Elektrody tyčové – mají kolektor podobný mřížkovým elektrodám, avšak svislá žebra jsou zesílena do tvaru tyček. Aktivní hmota nanesená na kolektor je zpevněna uzavřením do tašky (obálky) plastového separátoru. Nedochozí proto k uvolňování a odpadávání aktivní hmoty do kalového prostoru, podobně jako u trubkových elektrod. V porovnání s klasickými trubkovými elektrodami mají tyčové elektrody menší vnitřní elektrický odpor a pro vybíjení vyššími vybíjecími proudy jsou vhodnější než akumulátory trubkové. [2]

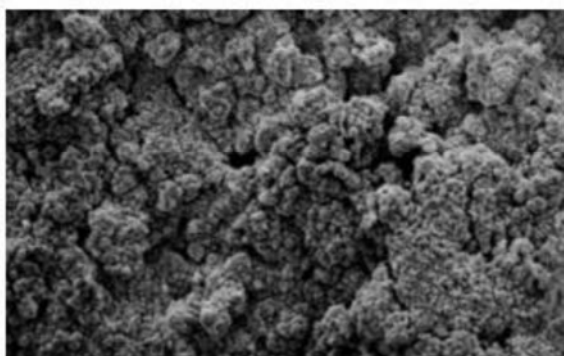
3.3.2 Záporné elektrody

Záporné elektrody pro startovací a trakční i staniční akumulátory se v současné době vyrábějí jako mřížkové. Mřížky mohou být odlévány ze slitin olova podobně jako mřížkové elektrody kladné. Mřížky mohou být vodorovné, svislé a šikmé, příp. paprskovitě se rozbíhající pro stejnoměrnější rozložení elektrické energie po celé ploše. U akumulátorů, tzv. zasucha nabitých, se záporné elektrody po namazání pastou, vyvrání a vyformování perou a suší za nepřístupu vzdušného kyslíku v inertní, případně redukční atmosféře (někdy se opatřují vhodnou ochranou proti působení vzdušného kyslíku). Vyformované záporné elektrody mají tmavě šedou barvu. Během provozu akumulátorů se záporné elektrody méně opotřebovávají, a proto přežívají elektrody kladné. [2]

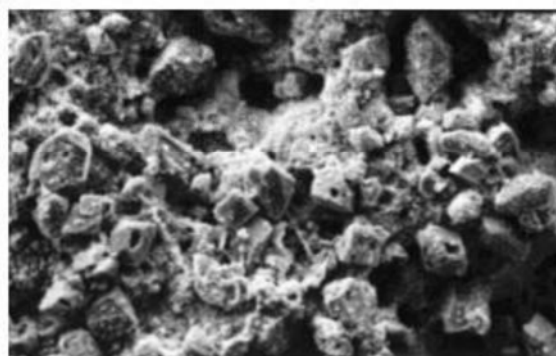
3.4 Sulfatace

Sulfatace je jev, při kterém se tvoří síran olovnatý (PbSO_4) na mřížkách akumulátoru ve formě drobných, jemných krystalků (Obr. 9B). Ty se časem přetvářejí na větší krystaly, protože se PbSO_4 váže primárně na již vzniklé krystaly (Obr. 10). Přítomností těchto krystalů se postupně zmenšuje účinná plocha elektrodových mřížek, které se pak již dále nepodílí na elektrochemických reakcích v akumulátoru. Působením sulfatace se tedy výrazně snižuje kapacita akumulátoru a zvyšuje vnitřní odpor akumulátoru. V některých případech silně zasulfátovaných článků, mající velký vnitřní odpor, může dojít k poklesu kapacity akumulátoru.

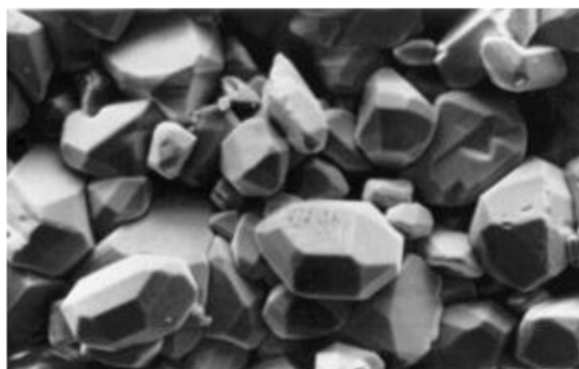
A)



B)



Obrázek 9 - A) povrch aktivní hmoty bez sulfatace [8] B) povrch aktivní hmoty se začínající sulfatací [8]



Obrázek 10 - Povrch aktivní hmoty s velkou sulfatací [8]

3.5 Formování elektrod

Formováním elektrod se nazývá proces vytvoření aktivní hmoty na elektrodách při výrobě. Elektrody se formují v roztoku kyseliny sírové. Výsledkem jsou vrstvy oxidu olovičitého (černé formování) a olověné houby, které se střídavě tvoří na povrchu desky. [12]

3.6 Separátory (oddělovače elektrod)

Separátor slouží ve člancích k oddělení kladné od záporné elektrody. V současné době se používají plošné separátory, které překrývají celou plochu elektrod. Separátory mají klást v elektrolytu minimální elektrický odpor, mají umožňovat maximálně průchod iontů SO_4^{2-} současně zabránit průchodu kovových iontů z elektrod jedné polarity na elektrody polarity druhé. [2]

3.6.1 Plošné separátory

Používají se ve tvaru listů přesahujících rozměry elektrod, aby v případě posunutí nedocházelo ke zkratu. Každý list separátoru je z jedné strany opatřen svislými žebry, kterými se přikládá na kladnou elektrodu. Mezery mezi žebry umožňují klesání uvolněných částic aktivní hmoty do kalového prostoru článků. [2]

3.6.2 Separátory ve tvaru obálek

Jsou ve tvaru obálek, do nichž se vkládají kladné elektrody. Protože uvolněné částice aktivní hmoty zůstávají v obálkách, nemůže docházet ke zkratům elektrod usazeným kolem. Kalový prostor v člancích může být proto zmenšený, případně jej lze u malých článků úplně zrušit. [2]

3.7 Akumulátorové nádoby a víka

Do kapacity zhruba 200 Ah se akumulátorové nádoby zhotovují jako šesti, tří nebo dvoučlánkové bloky. Akumulátory vyšších kapacit se vyrábějí v jednočlánkových nádobách. Každý článek má v nejnižší části nádoby kalový prostor, který musí být tak velký, aby kal vznikající během činnosti akumulátorů nezkratoval elektrody. Nad kalovým prostorem je prostor elektrodový a nad ním bývá, zpravidla na nádobách, vyznačeno minimum a maximum plnicího prostoru pro elektrolyt. V nejvyšší části nádob je plynovací prostor pro plyny vznikající elektrolýzou vody obsažené v elektrolytu. Z materiálů používaných pro výrobu akumulátorových nádob je na ústupu tvrzená pryž. Nahrazuje se plasty, které mají nižší hmotnost, lepší rázuvzdornost a umožňují kontrolovat hladinu elektrolytu přes průsvitné až průhledné stěny nádob. Z nejpoužívanějších materiálů lze uvést například PP (polypropylen), PPE (kopolymer polypropylenu a polyetylen), AS (akrylostyrenovou pryskyřici) a ABS (směs akrylové pryskyřice

s butadienovou pryží). Víka bateriových bloků a článků se zhotovují ze stejných materiálů jako nádoby. Oddělují vnitřní prostor článků od vnějšího prostředí a zamezují i jednak znečišťování elektrolytu zvenčí, jednak omezují odpařování vody z elektrolytu a únik aerosolu elektrolytu do okolního prostředí. U nádob z tvrzené pryže se víka utěsňují zalitím asfaltovou hmotou, u plastových nádob se zataávají nebo přilepují k nádobám. Pólové vývody se zataávají nebo se těsní speciálními průchodkami. Víka jsou opatřena různými konstrukcemi zátek, popř. pojistnými (přetlakovými) ventily, které umožňují únik vznikajících plynů z článků. [2]

3.8 Zátky pro automatické udržování hladiny elektrolytu

Používají se hlavně u trakčních baterií. Zátky mají plovákový ventil a jsou v baterii vzájemně propojeny hadičkou viz. obrázek 11. Mají-li být články doplněny vodou, připojí se na jeden konec hadičky zdroj destilované nebo jinak připravené čisté vody. Voda protéká hadičkou do zátek všech článků. Při nízké hladině elektrolytu v článku je plovákový ventil zátky otevřený a voda přitéká do článku, dokud hladina elektrolytu nedosáhne předepsané výše a plovákový ventil přítok vody do článku neuzavře.



Obrázek 11 - Zátka k automatickému doplňování článků trakčních akumulátorů vodou [11]

3.9 Voda pro olověné akumulátory

Voda pro olověné akumulátory nesmí obsahovat rozpuštěné chemické a mechanické nečistoty. Nevyhovuje proto voda užitková, pitná, změkčená a kondenzovaná, i když je čirá, bez zbarvení a pachu. Vodu požadované čistoty lze nakupovat, popř. si ji můžeme připravovat v destilačních přístrojích, iontoměnných kolonách (deionizací či demineralizací) či v přístrojích se selektivními membránami pracujícími na principu membránového procesu reverzní osmózy. Články doplňujeme vodou vždy pomocí nálevky, aby nedocházelo k potřísnění jejich povrchu. Potřísněná místa ihned otřeme dosucha a kovové části nakonzervujeme, aby nekorodovaly. [2]

4. Olověné akumulátory trakční

Používají se jako samostatný zdroj k pohonu elektrických dopravních prostředků, jako jsou manipulační vozíky tažné, plošinové, zdvižné a atd. Akumulátory můžeme používat v prostředí s teplotami $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Trakční akumulátory se konstruují pro dosažení maximální životnosti v tzv. bateriovém provozu (nabíjení - vybíjení). Podle kladných elektrod dělíme trakční akumulátory do dvou tříd.

1. Akumulátory s kladnými trubkovými elektrodami, které dosahují více než 1000 cyklů nabití vybití, než jejich kapacita klesne na 80 % C, a jsou v současné době nejrozšířenější.
2. Akumulátory s mřížkovými kladnými elektrodami, které do poklesu kapacity na 80 % C, dosahují nejméně 500 cyklů nabití vybití. Trakční baterie se dodávají o jmenovitých napětích 24, 48 a 80 V a kapacitách od 110 do 1200 Ah.

5. Nabíjení olověných akumulátorů

Nabíjení obnovuje elektrický náboj vybitých akumulátorů. U olověných akumulátorů používáme nabíjecí proudy $0,1$ až $0,3\text{ C [A]}$ do vzestupu napětí na $2,4\text{ V}$ na článek a $0,06\text{ C}_n\text{ [A]}$ od počátku nebo po dosažení napětí $2,4\text{ V}$ na článek až do znaků plného nabití. Máme-li dosáhnout plného nabití, musíme akumulátorům dodat o 15 až 20 % vyšší elektrický náboj v Ah, než jsme z nich získali vybíjením. Po dosažení znaků plného nabití ukončíme nabíjení, aby se akumulátory nepoškozovaly.[\[2\]](#)

5.1 Rychlost nabití

Obecně lze říci, že nejlepší by bylo nabití baterie v co nejkratší době – potom můžeme baterii využívat jako zdroj energie po co nejdelší dobu. Rychlé nabití akumulátorů je potřeba z důvodu ekonomického. Čím rychlejší nabíjení, tím méně nabíjecích míst je zapotřebí v nabíjecí stanici a je menší šance, že vytvoříte prostoj ve výrobě. Rychlost nabití je dána především dvěma faktory a prvním je vliv zdroje a druhým vliv baterie.

5.1.1 Vliv zdroje

Nabíječ slouží k přeměně střídavé elektrické energie ze sítě na stejnosměrnou energii přizpůsobenou konkrétní baterii. Rychlost nabití je dána výkonem nabíječe.

Nabíjení velkými proudy je spojeno i s nutností chladit nabíjené články pod dovolenou teplotu. [2]

5.1.2 Vliv baterie

Baterie musí být uzpůsobena rychlému způsobu nabíjení. Jedná se o možnost nabíjení velkými proudy do plynovacího napětí, velikost proudu pro dobíjení a velikost nutného přebití. Dále má velký vliv použití vzduchování baterií, které výrazně zkracuje fázi nabíjení do konečných znaků a tedy celkový čas.

5.2 Energetická účinnost nabíjení

Tato účinnost se hodnotí buď jako odebrané Ah / dodané Ah nebo jako energie odebraná ze sítě při nabíjení / energie odebraná při vybití baterie (ta je samozřejmě nižší). Při běžném způsobu nabíjení se dostáváme na hodnotu 83 % (nabíjecí faktor 1,2 u řízených nabíječů)

5.3 Vliv nabíjení na životnost baterie

Největší vliv na zkrácení životnosti baterie má hluboké vybití případně přebíjení. Hluboké vybití ($U < 1,7$ V/čl.) je nebezpečné zejména tehdy, nenásleduje-li bezprostřední nabíjení baterie. Dochází pak k tvorbě síranů v nevratné formě, což vede k podstatnému zhoršení parametrů baterie (snížení kapacity a zvýšení vnitřního odporu baterie).

Přebíjení baterie je nebezpečné z hlediska působení teploty na probíhající chemický proces. Platí, že chemický proces probíhá 2x rychleji při zvýšení teploty o 10 °C. Úměrně dochází i ke zkrácování životnosti baterie. Proto se volí takový způsob nabíjení, kde dochází k omezenému plynování, a tedy i ohřevu baterie. Rovněž čas dobíjecí fáze je řízen na minimální nezbytně nutnou dobu.

5.4 Druhy nabíjecích charakteristik

Značení dle normy DIN VDE 0510

Charakteristika konstantního proudu – zkratka **I**

Charakteristika konstantního napětí – zkratka **U**

Charakteristika klesající – zkratka **W**

Automatické vypínání – zkratka **a**

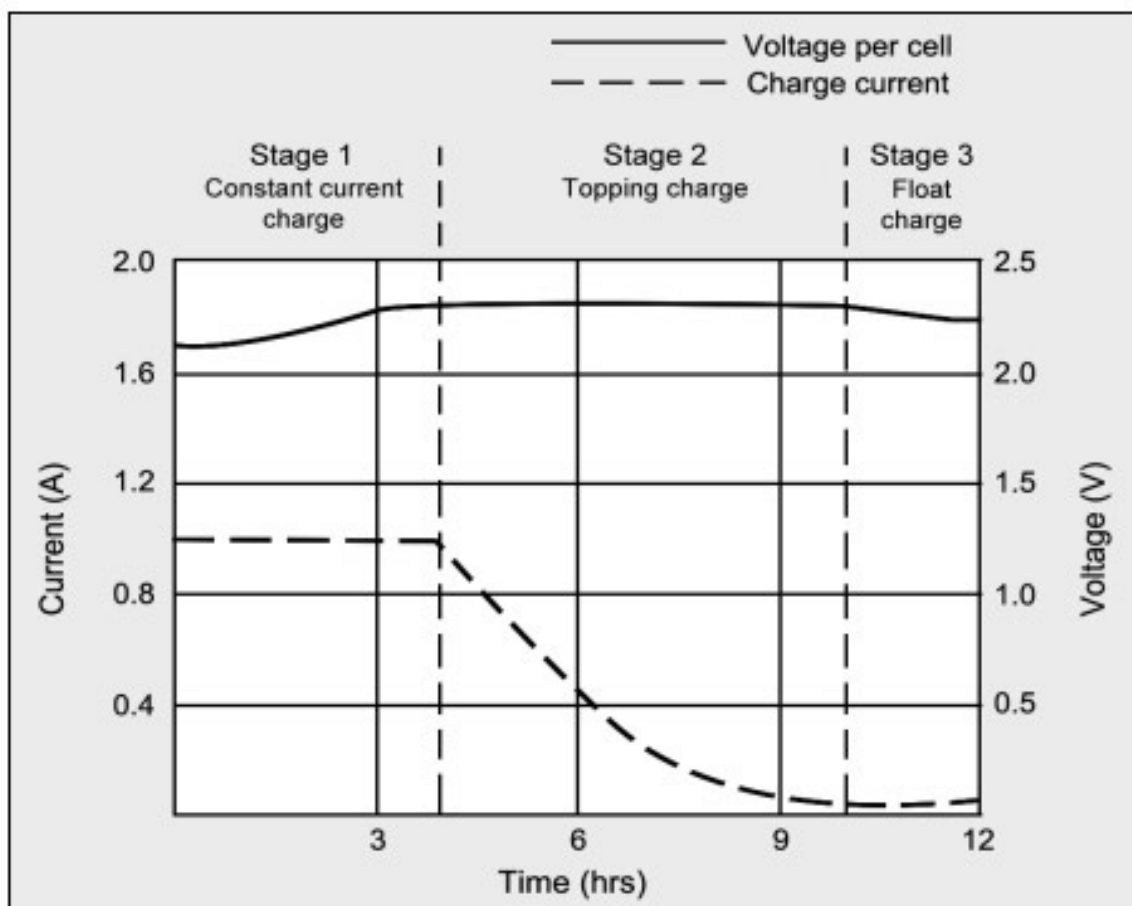
Samočinné přepínání na jinou charakteristiku – zkratka **o**

Pořadí zkratk udává časový průběh nabíjecího postupu při popisu nabíjecího režimu. Charakteristiky **W** jsou všeobecně závislé na rušivých vlivech sítě, např. kolísání síťového napětí a síťového kmitočtu. Rovněž neumožňují ve větší míře přizpůsobení nabíječe pro větší počet různých typů baterií. [5]

Charakteristiky **I** po celou dobu nabíjení bez přepnutí mají delší dobu nabíjení než jiné charakteristiky a nedovolují ponechat akumulátor delší dobu pod jmenovitým nabíjecím proudem, než odpovídá stavu plného nabití. Rovněž od doby dosažení plynovacího napětí akumulátor značně plynuje, což je nepříznivé pro okolí. [5]

5.4.1 Nabíjení podle charakteristiky I, případně Ia

Nabíjí se od počátku do konce konstantním proudem a ručně (I) nebo automaticky (Ia) se vypíná.



Obrázek 12 - Nabíjení podle charakteristiky I [7]

Akumulátor je plně nabitý, když proud klesne na stanovenou nízkou úroveň. Jak je vidět z obrázku 12, napětí se postupně snižuje. Přechod mezi 1 a 2 fází nabíjení je pozvolný. Baterie dosáhne limitu nastaveného napětí a proud začne klesat. Plné nabití je dosaženo, když proud klesne na 3 % - 5 % kapacity Ah baterie. Správné nastavení hodnoty nabíjecího napětí se

pohybuje od 2,30 V do 2,45 V na článek. Nastavení prahového napětí je kompromisem. Na jedné straně potřebujeme baterii plně nabitou a získat maximální kapacitu a samozřejmě se vyhnout sulfataci na záporné desce. Na druhou stranu, pokud přepnu do režimu udržovacího nabíjení, tak na mřížce kladný desky vzniká koroze. To vede k plynování vody, a proto na konci nabíjecího cyklu musíme doplnit vodu. Teplota nám změní napětí. Teplejší okolí vyžaduje prahovou hodnotu mírně nižší napětí a nižší teplota potřebuje vyšší napětí. Existují nabíječky, které mají teplotní čidla pro nastavení nabíjecího napětí pro optimální účinnost nabíjení.

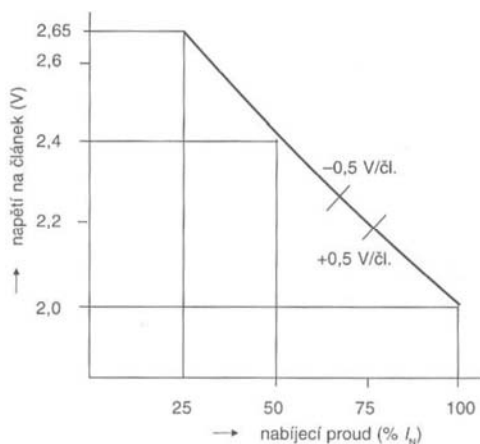
Teplotní koeficient olověného článku je $-3 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$. Pro nastavení 25°C (77°F) jako střední hodnotu, musí být nabíjecí napětí sníženo o 3 mV na článek pro každý stupeň nad 25°C . Pokud to není možné, je lepší zvolit nižší napětí z bezpečnostních důvodů. Tabulka porovnává výhody a omezení různých nastavení špičky napětí.

Tabulka 1 - Účinky nabíjecího napětí na malé olověné baterie. [7]

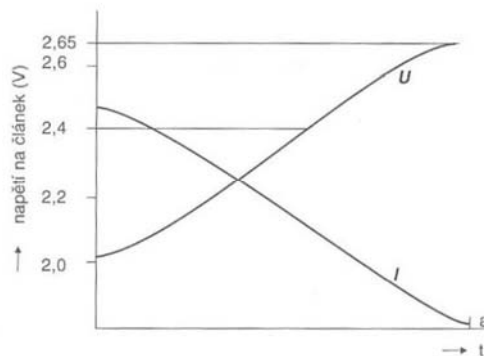
	2,30 V na 2,35 V / článek	2,40 V na 2,45 V / článek
Výhody	Maximální životnost; Baterie zůstává chladná; Teplota při nabíjení může být vyšší než 30°C (86°F).	Při nabíjení dosažení vyšší kapacity a méně sulfatace.
Nevýhody	Dlouhý čas nabíjení; Hodnota kapacity může klesat s každým cyklem. K sulfatace může dojít i bez vyrovnávacího napětí.	Při plynování podléhá korozi. Potřebuje doplňování vody. Není vhodné pro nabíjení při vysoké teplotě v místnosti, což vede k těžkým přebíjením.

5.4.2 Nabíjení podle charakteristiky W, případně Wa

Charakteristika W je nabíjení konstantním výkonem. Proud stále klesá se stoupajícím napětím až na ustálenou hodnotu (konečný nabíjecí proud) a vypíná se ručně (W) nebo automaticky (Wa).



Obrázek 13 - a) Charakteristika W [4]



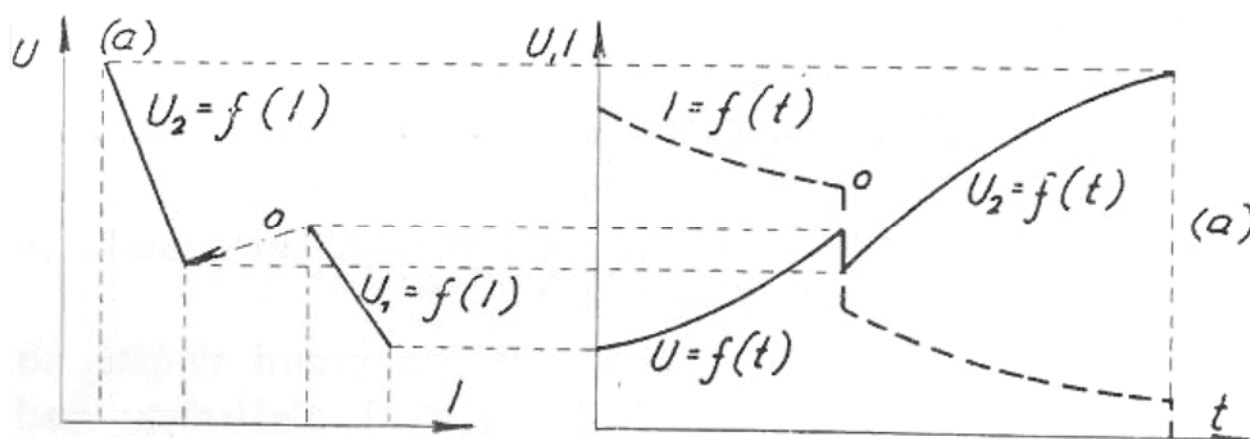
b) Časová závislost napětí a proudu při nabíjení [4]

Nabíječe s touto charakteristikou většinou nejsou regulované, velikost proudu je závislá na kolísání sítě střídavého napětí tím více, čím je charakteristika strmější. Plošší charakteristika vyžaduje menší počáteční proud vzhledem k dovolenému konečnému nabíjecímu proudu. Z toho pak vyplyne delší nabíjecí čas. Není-li jmenovitý proud nabíječe I_N s charakteristikou W dovolen pro trvalé zatížení, pak jím mohou být nabíjeny pouze baterie, jejichž kapacita v Ah není číselně větší, než $5 \times I_N$. Jinak je nebezpečí, že nabíjecí proud na počátku příliš dlouho přesahuje přípustný trvalý proud a nabíjecí zařízení se může poškodit. Ukončení nabíjení je buď po uplynutí nastaveného času ve fázi nabíjení po překročení plynovacího napětí nebo moderněji po dodání potřebného počtu Ah. Tento v současnosti nejvíce používaný způsob ukončování nabíjení je založen na procesorovém vyhodnocování dodaných Ah. Pokud vezmeme počet dodaných Ah do doby dosažení plynovacího napětí jako konstantu Q_1 , pak nad plynovacím napětím je nutno dodat náboj Q_2 rovnajícímu se cca 25 % Q_1 . Přesná hodnota je dána doporučením konkrétního výrobce baterií.

5.4.3 Nabíjení podle charakteristiky WoWa a WoW

Nabíjí se ve dvou stupních s počátečním proudem vyšším než v předchozí charakteristice. Proud se stoupajícím napětím baterie klesá, po dosažení plynovacího napětí je redukován na nižší, opět klesající proud.

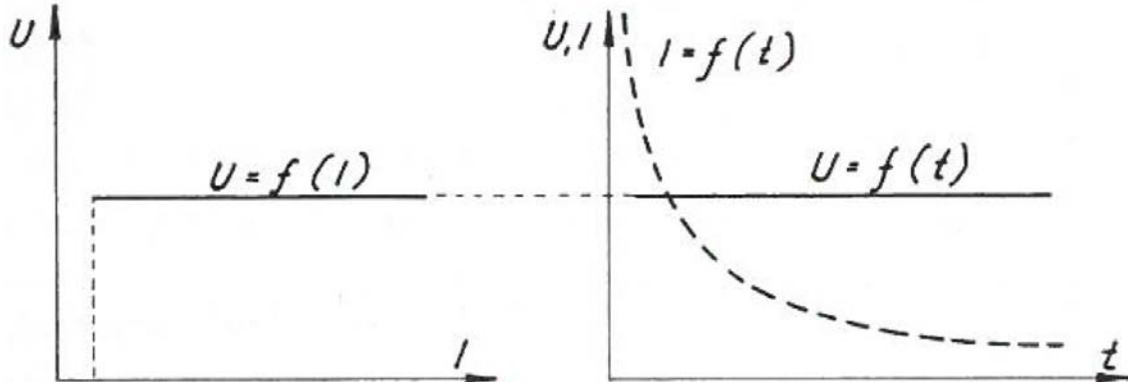
Ukončení nabíjení je buď po uplynutí nastaveného času ve fázi nabíjení po překročení plynovacího napětí ve druhé části nabíjení nebo moderněji po dodání potřebného počtu Ah. Pokud vezmeme počet dodaných Ah do doby dosažení plynovacího napětí v první a z části ve druhé fázi nabíjení jako konstantu Q_1 , pak nad plynovacím napětím je nutno dodat náboj Q_2 rovnajícímu se cca 25 % Q_1 . Přesná hodnota je dána doporučením konkrétního výrobce baterií.



Obrázek 14 - Nabíjecí charakteristiky WoWa a WoW [8]

5.4.4 Nabíjení podle charakteristiky U

Nabíjení začíná s vysokým počátečním proudem, který poklesne v průběhu nabíjení na nižší hodnoty. Vysoký počáteční proud způsobí rychlé ohřátí elektrolytu, které opět poklesne s klesajícím proudem.

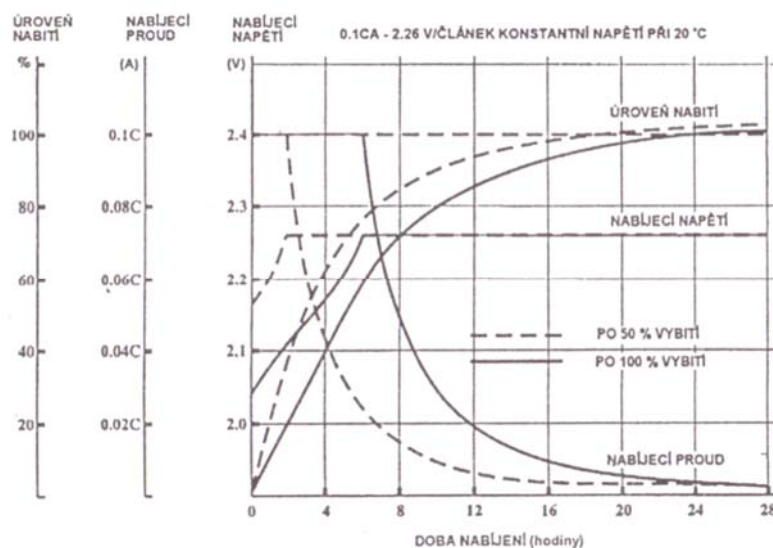


Obrázek 15 - Nabíjecí charakteristika U [8]

Plynovací napětí nesmí být překročeno o více než 1 %. Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet více baterií stejného druhu o stejném jmenovitém napětí v paralelním zapojení, pokud jsou v dobrém stavu a nevyžadují individuální ošetření. Nabíjecí zařízení musí mít veliký výkon a přesnou regulaci napětí.

5.4.5 Nabíjení podle charakteristiky IU nebo WU

Tento způsob nabíjení je nejčastěji používán a umožňuje nabíjet více baterií stejného druhu o stejném jmenovitém napětí v paralelním zapojení. Nezáleží na stavu vybití a jejich jmenovité kapacitě. Od předešlé nabíjecí charakteristiky se liší omezením maximálního proudu, nevyžaduje tedy nabíjecí zařízení tak velkého výkonu.

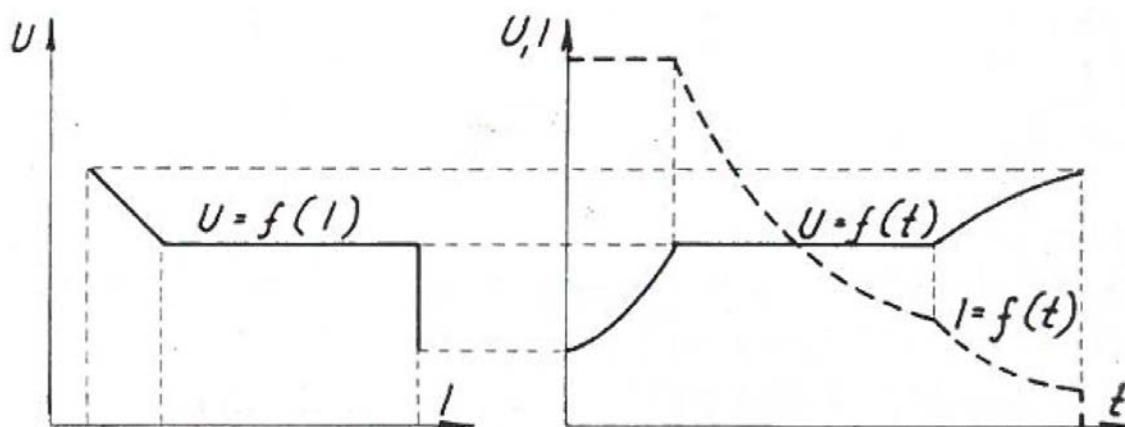


Obrázek 16 - Nabíjecí charakteristika IU [3]

Plnými čarami jsou nakresleny na obrázku 16 průběhy při nabíjení vybitého článku a čárkovaně průběhy článku z poloviny vybitého. V první fázi nabíjíme konstantním proudem cca 0,1 – 0,2 CA (číselná hodnota jmenovité ampérhodinové kapacity). Napětí nám jde nahoru až na hodnotu plynovacího napětí 2,4 V. V první fázi nabíjení se uloží z pravidla cca 60 % - 80 % CA, poté nabíjení přejde do druhé fáze nabíjení, a to s konstantním napětím 2,4 V/čl. Z obrázku je patrné, že ve druhé nabíjecí fázi nám nabíjecí proud klesá a tím se zmenšuje i ukládání další energie do akumulátorů. Z obrázku 16 je vidět že cca po 12 h je baterie z 85 % nabitá. [3]

5.4.6 Nabíjení podle charakteristiky IUW

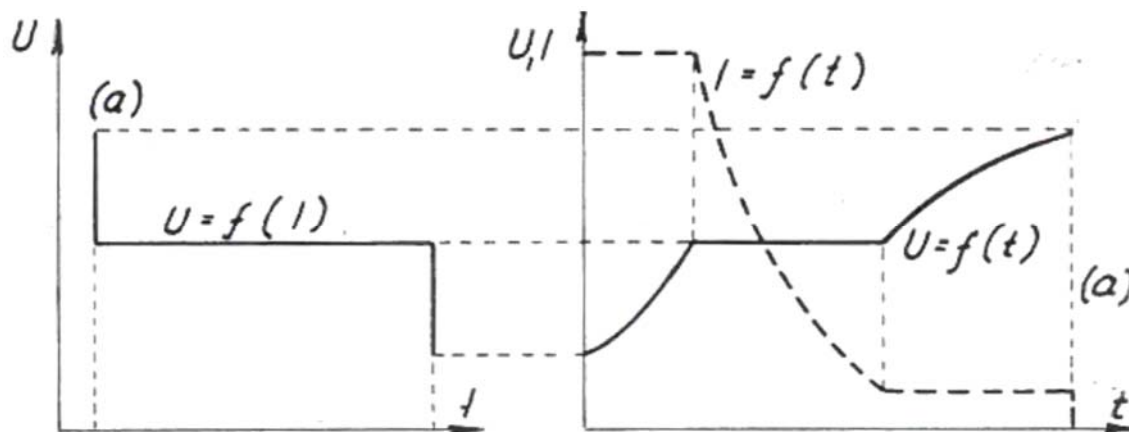
Nabíjení je shodné s předešlou charakteristikou až ke konci nabíjení, kdy napětí se zvyšuje pro zkrácení nabíjecí doby. Zde je nutno dodržet, aby konečný nabíjecí proud nebyl větší než $0.02 C_5$ [A].



Obrázek 17 - Nabíjení podle charakteristiky IUW [8]

5.4.7 Nabíjení podle charakteristiky IUla

Nabíjí se ve třech stupních. V prvním stupni se baterie nabíjí konstantním proudem až do



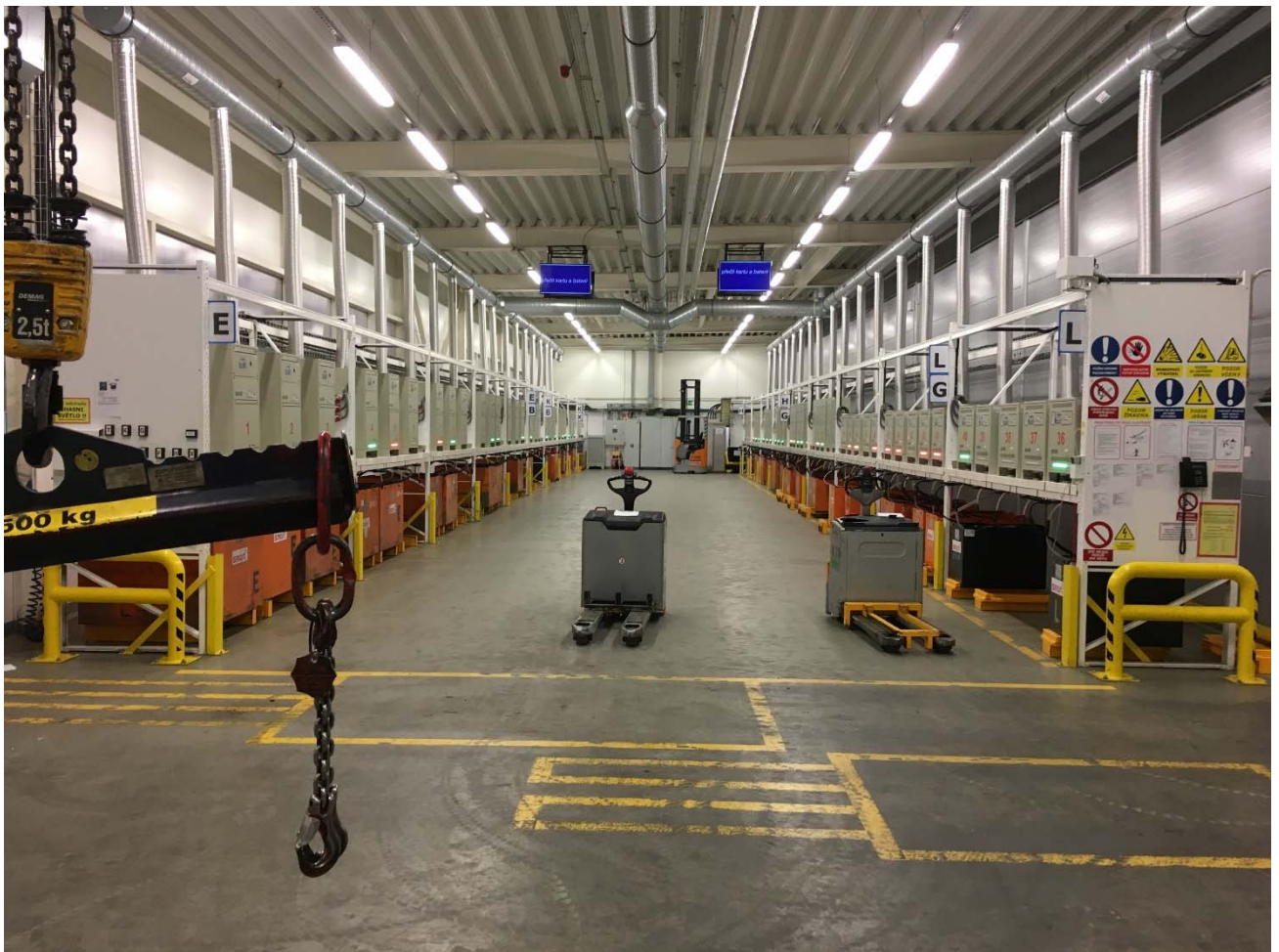
Obrázek 18 - Nabíjení podle charakteristiky IUla [8]

plynovacích napětí. V druhém stupni při konstantním plynovacím napětí klesá proud. Ve třetím stupni se nabíjí konstantním nabíjecím proudem při stoupajícím napětí až do plného nabití. Pak je nutno nabíjecí zdroj vypnout.

Ukončení nabíjení je buď po uplynutí nastaveného času ve třetí fázi nabíjení např. 3 hodiny nebo moderněji po dodání potřebného počtu Ah. Pokud vezmeme počet dodaných Ah do doby přechodu z druhé do třetí fáze nabíjení jako konstantu Q_1 , pak nad plynovacím napětím je nutno dodat náboj Q_2 rovnajícímu se cca 25 % Q_1 . Přesná hodnota je dána doporučením konkrétního výrobce baterií.

6. Nabíjecí stanice v hale svařovny

Zaměřím se na provoz a oběh baterií v nabíjecí stanici v hale svařovny, kde tato nabíjecí stanice je samoobslužná. Je zde 83 ks nabíječů od firmy Eprona rozdělených do 10 skupin podle typu nabíjených baterií. Nabíječe mají nabíjecí charakteristiku MinitCharger (viz. kapitola 10.6).



Obrázek 19 - Nabíjecí stanice v hale svařovny ve Škoda auto závodu Kvasiny

6.1 Samoobslužná výměna baterií

Proces výměny baterií a tím i jejich vlastní oběh ve výrobě je programově řízen. Aby mohl pracovník v manipulační technice vyměňovat baterie v nabíjecí stanici sám, musí nejdříve úspěšně absolvovat teoretické a praktické školení. Poté mu je vydán identifikační chip, který umožní vstup a přihlášení do systému pro výměnu baterií. Při vstupu do nabíjecí stanice se pracovník přihlásí, aby se mu otevřely dveře do nabíjecí stanice. Poté si načte znovu svoji identifikační kartu a chip na baterii v manipulační technice, s kterou přijel do nabíjecí stanice na výměnu. Na led obrazovkách se mu rozsvítí, na jaké číslo nabíječe má vybitou baterii z manipulační techniky připojit k nabití. Po připojení vybité baterie na dané číslo nabíječe mu systém na led obrazovkách zahlásí číslo nabíječe, z kterého si nabitou baterii má vzít a dát do manipulační techniky. Celou výměnou v nabíjecí stanici je pracovník řízen daným procesem krok po kroku. Pokud by pracovník jeden z kroků nesplnil, nepustí ho systém dál k dalšímu kroku. Řídící software je od firmy Eurotechnik a neběží pod operačním systémem Microsoft Windows 7 jako klasický program, který si můžeme jednoduše spustit jako uživatelé, ale nýbrž jako služba. Tím nedochází k nechtěným padáním softwaru a běh systému je tak stabilní.

6.2 Diagram průběhu výměny baterie v nabíjecí stanici

Procesní schéma je přiloženo v tištěném formátu A3 jako příloha A.

6.3 Typy baterií podle použití v manipulační technice

Baterie jsou rozděleny do 9 skupin podle typu a použití baterie v dané manipulační technice. Každá baterie je opatřena chipem, ve kterém jsou nahrány informace o baterii (typ a označení).

Tabulka 2 - Rozdělení baterií do skupin v nabíjecí stanici

OZNAČENÍ SKUPINY	TYP BATERIE	TYP MT
T	24 V 3 PzS 375	CX-T
F	48 V 4 PzS 560	FM-X 17
A	24 V 5 PzS 575	R 06-06
L	48 V 4 PzS 375	LTX
B	80 V 4 PzS 930	R 07-25 - CHP
H	80 V 5 PzS 700	RX 60-30, 35
E	80 V 6 PzS 840	RX 60-45, 50
D	48 V 5 PzS 575	RX 20-16, 18,
K	80 V 4 PzS 620	RX 60-25

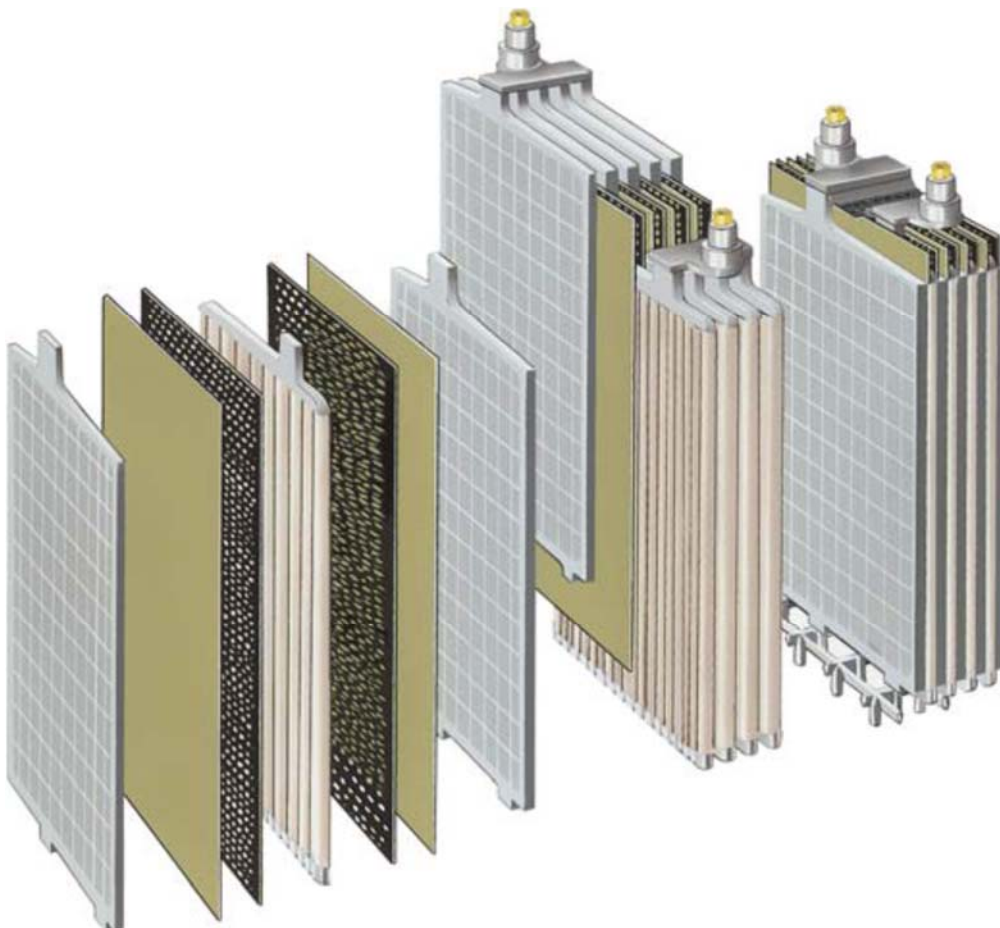
Použité baterie jsou od firmy IBG nebo Energys. Já se zaměřím na baterie od firmy Energys produktové řady Hawker perfect plus ze skupiny **K**, s kterými mám osobně dobré zkušenosti.

7. Baterie Enersys

Trakční olověné baterie z produktové řady Hawker perfect plus s články s pancéřovými deskami PzS. Celkový počet baterií ve Škoda auto a.s. v závodě Kvasiny je 394 ks.



Obrázek 21 - Trakční baterie Hawker [\[11\]](#)



Obrázek 20 - Konstrukce článku [\[11\]](#)

7.1 Konstrukce baterie

Všechny články Hawker perfect plus používají technologii větraných článků s robustními trubkovými deskami (PzS). Kladné elektrody jsou trubkové desky lité pod tlakem (PzS) a zdokonalené prvky použité při jejich výrobě poskytují zvýšenou účinnost. Záporné desky jsou ploché pastované. Separátor je mikroporézního typu. Nádoba a víčko článku jsou vyrobeny z teplotně odolného polypropylenu s vysokou odolností proti nárazům a jsou zatepla svařeny, aby se zabránilo uniku elektrolytu. Speciální konstrukce pólových vývodů brání úniku elektrolytu z článků. [11]

7.2 Systém doplňování vody do článků baterie

Systém doplňování vody "aquamatic" umožňuje doplňování všech článků z jednoho centrálního místa prostřednictvím integrovaného systému. Zátka systému "aquamatic", které umožňují odvětrání článku, automaticky zajišťují optimální úroveň doplňování a rovněž umožňují měření specifické hustoty elektrolytu. [11]



Obrázek 22 - Zátka systému aquamatic [11]

8. Zátěž baterií v provozu

Při zadávání této diplomové práce se ještě využití baterií a manipulační techniky v závodě Kvasiny firmy Škoda Auto, dělilo na lehký a těžký provoz. V současné době již toto dělení neplatí, protože se optimalizovala manipulační technika kvůli nízkým průměrným nájezdům za pracovní směnu (viz. Kapitola 9.) Někdo může chápat pojmy lehký a těžký provoz tak, že čelní technika může převážet a přeskladňovat pouze prázdné palety nebo naopak je vozík maximálně svojí nosností plně využít. Tak to ve skutečnosti není. Každá manipulační technika je přidělena podle druhu specifické činnosti, kterou má vykonávat. Někdo by mohl namítnout, že čelní vozík, který převáží břemeno o váze 100 Kg, bude mít jiný záběrný proud z baterie do motoru než vozík převážející 3000 Kg těžké břemeno. Ano, ale tento problém je eliminován

nasazením správné techniky na danou pracovní činnost, tedy optimálním poměrem mezi nosností vozíku a jeho zatížením. Co ve Škoda auto v Kvasinách neřešíme, je převýšení trasy, po které se vozíky pohybují a to z důvodu, že každá manipulační technika jezdí po perfektně rovných podlahách bez výškových rozdílů.

Uvedu příklad: Na převážení prázdných obalů nasadím čelní techniku, která má nosnost 1600 Kg a na navážení motorů k lince zvolím čelní techniku s nosností 5000 Kg.

Správné dělení na lehký a těžký provoz dělíme ve Škoda auto a.s. podle nájezdu motohodin za pracovní směnu. Pracovní směna je 7,5 h.

Lehký provoz znamená, když manipulační technika s bateriemi naježdí průměrně do 2 motohodin za pracovní směnu a v těžkém provozu od 2 do 6 motohodin za pracovní směnu. Každý typ manipulační techniky má k sobě přidělený daný typ baterie o určité velikosti, napětí a kapacitě. (viz. Tabulka 3).

Manipulační technika je v provozu plně využita. Takže můžeme celkově mluvit o těžkém provozu. Průměrný nájezd čelní techniky pro závod Kvasiny je kolem 4 až 5 motohodin za směnu. Vyšší průměrný nájezd za směnu se projevil i v nabíjecích stanicích zvýšeným počtem výměn baterií za směnu.

9. Současná optimalizace baterií v provozu

Jednou z možností, jak optimalizovat oběh trakčních baterií, aby se prodloužila životnost baterií je nové baterie nasazovat do tzv. těžkého provozu a více jak pět let staré do provozu lehkého. Bohužel v Kvasinách došlo k optimalizaci manipulační techniky. Technika, která měla nízký nájezd v průměru cca do 1 motohodiny se optimalizovala a pracovní činnosti přebrala technika, která se svými nájezdy pohybovala kolem 3 motohodin za směnu. Tím se zvýšil průměrný nájezd motohodin za směnu a zlepšila produktivita práce. Díky tomu je v souladu s novou definicí těžkého a lehkého provozu v současnosti tento způsob optimalizace nevhodný. Rozhodl jsem se tedy optimalizovat nabíjecí cykly a tím i také do budoucna snížit počet nabíjecích míst v nabíjecí stanici.

10. Nabíječ Eprona typ HFR 39

Nabíjení baterií se provádí nabíječi od firem Eprona typ HFR 39.



Obrázek 23 - Nabíječ HFR 39 od firmy Eprona

10.1 Technické parametry nabíječe

Tabulka 3 - Technické parametry nabíječe HFR39

Vstupní napětí	3 x 400 V \pm 10 % 50Hz-60Hz (sít' TN-C-S)
Maximální odběr ze sítě	32 A
Výstupní jmenovité napětí	24 - (36) - 48–80 V
Volba výstupního napětí	automatická dle napětí akumulátoru
Výstupní jmenovitý proud	200 A
Nabíjecí charakteristika	I _U 1a nebo jiná podle přání zákazníka
Rozsah doporučených kapacit	400–1500 Ah
Rozměry (š x v x h)	515 x 1010 x 350 mm
Hmotnost	78 kg

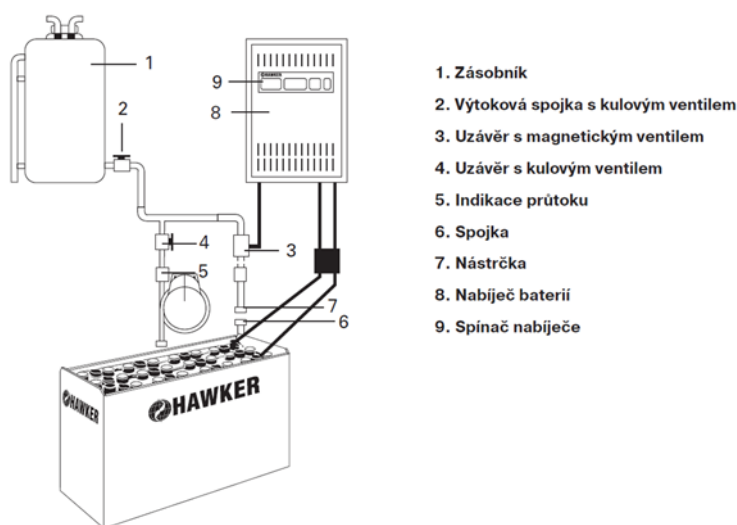
10.2 Charakteristika nabíječe

V nabíječi je použita řídicí jednotka se širokými možnostmi řízení a možností nastavení libovolné nabíjecí charakteristiky dle doporučení výrobců a sledování nabíjecího procesu.

Konstrukce nabíječe a použití klíčových součástí umožňuje navýšení výstupního výkonu a tím i nabíjecího proudu. Přístroj se vyrábí v napěťovém provedení 48 V (s rozsahy 12-24-

48 V) a 80 V (s rozsahy 12-24-48-80 V) s volbou nabíjecího proudu až do 200 A. Díky tomu nabíječ slouží pro nabíjení vysokokapacitních akumulátorů (řádově 1000 Ah a více). Aby nabíjení bylo co nejefektivnější a současně i nejšetrnější k akumulátorům, je nabíječ vybaven řídicí jednotkou, postavenou na 16 - ti bitovém průmyslovém mikroprocesoru INFINEON SAB167. Nabíjecí proces je zcela automatický. Nabíječ otestuje napětí připojené baterie a z paměti vybere odpovídající nabíjecí profil. Nabíjení je teplotně kompenzované podle teploty nabíjené baterie. Nabíječ umožňuje ovládání provzdušňovacího zařízení či přístroje pro automatické doplňování destilované vody.

10.3 Zapojení nabíječe na baterii a automatické doplňování vody



Obrázek 24 - Zapojení baterie na nabíječ a automatické doplňování vody [11]

10.4 Schéma silové části nabíječe

Schéma silové části je přiloženo v tištěném formátu A3 jako příloha B.

10.5 Popis funkce

Nabíječ je konstruován jako primárně taktovaný vysokofrekvenční pulsní měnič s konstantní frekvencí meziobvodu. Toto zapojení umožňuje dosahovat vysoké účinnosti a stability výstupních parametrů spolu s dosažením celkově příznivých rozměrů a hmotnosti zařízení.

Silový měnič je realizován ve formě plného můstkového zapojení IGBT tranzistorů, které napájí primární vinutí silového transformátoru. Bezpečnostní silový transformátor galvanicky odděluje síťovou (primární) a výstupní (sekundární) část měniče a zároveň upravuje parametry elektrických veličin na hodnoty požadované pro nabíjení baterií. Sekundární část je tvořena výkonovým usměrňovačem a LC filtrem, který odstraňuje zvlnění výstupního proudu vlivem pracovní frekvence měniče.

Regulace výstupních parametrů je prováděna za pomoci obvodu PWM (pulsně šířková modulace). V závislosti na regulované veličině (napětí, proud) regulátor provádí změnu střídy budícího signálu IGBT tranzistorů v obou půlvlnách pracovní frekvence měniče. Aby měnič pracoval stabilně, musejí být obě půlvlny budícího signálu symetrické, IGBT tranzistory jsou buzeny signálem o napěťových úrovních +15 V a -5 V. Budící signály jsou generovány elektronikou regulátoru a jsou obrazem požadovaných parametrů nabíječe v každé fázi nabíjecí charakteristiky. Pro dosažení minimálního zvlnění výstupního proudu jsou zároveň budící signály modulovány obvodem aktivní filtrace.

Parametry napětí a proudu nabíječe jsou regulovány podle připojené baterie a zvoleného nabíjecího programu. Obecně lze říci, že regulaci výstupních veličin zvládne měnič regulovat v rozsahu 0-100 % v obou osách voltampérové charakteristiky. To v praxi znamená, že digitální řídicí systém umožňuje vytvoření libovolné nabíjecí charakteristiky pro jakoukoli baterii v rozsahu parametrů výkonového měniče.

10.6 Nabíjecí charakteristika MinitCharger

Nabíječ HFR 39 používá upravenou nabíjecí charakteristiku s měřením elektromotorického napětí v bezproudé pauze, která vychází z charakteristiky IU_{1a}. Cílem provedených vylepšení je rychlé, maximálně efektivní a šetrné nabíjení baterie. Základním rozdílem je delší setrvání nabíječe ve fázi maximální dodávky energie, dokud je to z hlediska stavu baterie možné. To sebou samozřejmě přináší složitější řízení nabíječe a požadavek na detekci napětí baterie v bezproudé pauze, výhodou je naopak přesné nabíjení baterií ve všech napěťových hladinách, které není zatíženo chybou měření vlivem úbytku napětí na přívodech. Nabíječe umožňují rovněž teplotní kompenzaci referenčního plynovacího napětí a jsou vybaveny řadou softwarových ochran pro případy nestandardního průběhu nabíjení.

Jednotlivé části charakteristiky:

1. Fáze konstantního proudu $I_1 = \text{konst.}$ – po připojení baterie je zahájeno nabíjení a nabíjecí proud se zvyšuje na maximální hodnotu (max. 0,2 C₅) při současné kontrole napětí baterie. Pokud není dosaženo plynovacího napětí, proud je konstantní a servává na maximální hodnotě. V této fázi se dodá do baterie maximální množství energie v nejkratším čase, proto je žádoucí, aby trvala co nejdéle.
2. Fáze regulovaného nabíjení $U = \text{konst.}$ – napětí baterie při nabíjení dosáhlo hodnoty nastaveného plynovacího napětí a pro zamezení vaření a rozkladu elektrolytu je velikost nabíjecího proudu v každém okamžiku regulována tak, aby mez plynovacího napětí nebyla překročena, v praxi to znamená, že proud s časem plynule klesá až na hodnotu 0,05 C₅.

3. Třetí nabíjecí fáze $I_2 = \text{konst.}$ - nabíjecí proud setrvává na hodnotě $0,05 C_5$ a je sledován průběh nárůstu napětí na baterii. Pokud napětí přestane růst, je stanovena procentuální část z dodané energie (12 %) a ta je následně dodána pro zajištění vyrovnaní hustoty elektrolytu v celém objemu článku. Pak nabíjení končí.
4. Nabíjecí charakteristika je chráněna řadou limitních ochran, které dohlížejí na správný průběh nabíjení. Omezený je celkový nárůst napětí na baterii na maximální hodnotu napětí 2,85 V / článek. Celkové nabíjení a jeho jednotlivé fáze jsou hlídány časovým omezením a limitou dodané kapacity, lze zapnout hlídání limitní teploty nabíjené baterie. Veškeré hodnoty pro regulaci průběhu nabíjení jsou přednastaveny v systémovém nastavení, případně jsou řídicím systémem zadány při startu nabíjení

10.7 Ekonomika nabíjení

Níže jsem počítal potřebnou energii dodanou ze sítě na jedno nabití baterie.

Vzorec pro výpočet: $P = (0,8 * Q * U_{pl} * n * k) / \eta$

Napětí baterie	80 V
Kapacita baterie	$Q = 840 \text{ Ah}$
Počet článků	$n = 40$
Stupeň přebití	$k = 1,15$
Plynovací napětí	$U_{pl} = 2,37 \text{ V/čl}$
Účinnost nabíječe	$\eta_{HFR} = 0,93$

$$P_{HFR} = (0,8 * 840 * 2,37 * 40 * 1,15) / 0,93 = \mathbf{78,776 \text{ kWh}}$$

Finanční výdaje:

Předpokládaná cena 1 kWh: $C_{kWh} = \mathbf{1,44 \text{ Kč}}$

$$N_{FIN} = P_{HFR} * C_{kWh} = 78,776 * 1,44 = \mathbf{113,44 \text{ Kč}}$$

Jedno nabití baterie o napětí 80 V a kapacitě 840 Ah vyjde na 113,44 Kč.

11. Měření na baterii

Ohledně optimalizace jsem si vybral baterii od firmy EnerSys typ Hawker perfect plus 80 V 4 PzS 620 Ah. Tato baterie byla vyrobena a nasazena do oběhu v roce 2010. Baterie po dobu 7 let v provozu pomalu ztrácela svoji kapacitu.

11.1 Zátěžový test

Baterii jsem nabíj a provedl jsem zátěžový test, abych znal její přesnou skutečnou kapacitu a napětí na jednotlivých člancích.



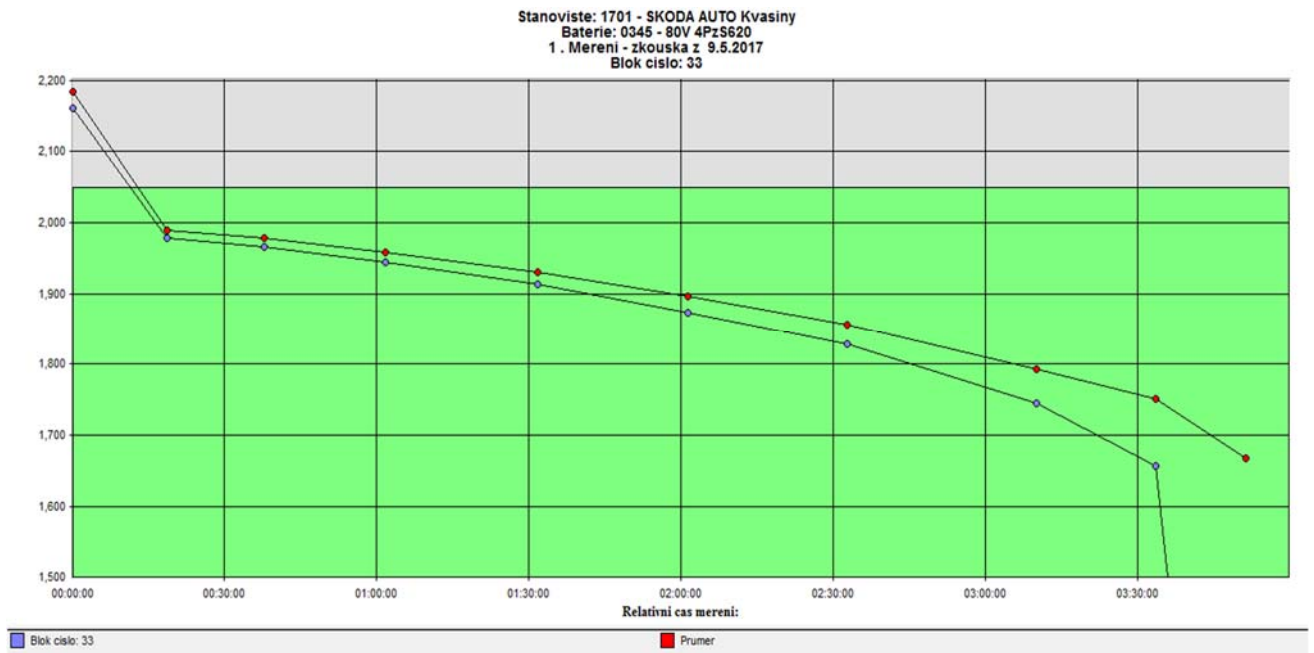
Obrázek 25 - Měřicí pracoviště

11.2 Naměřené hodnoty

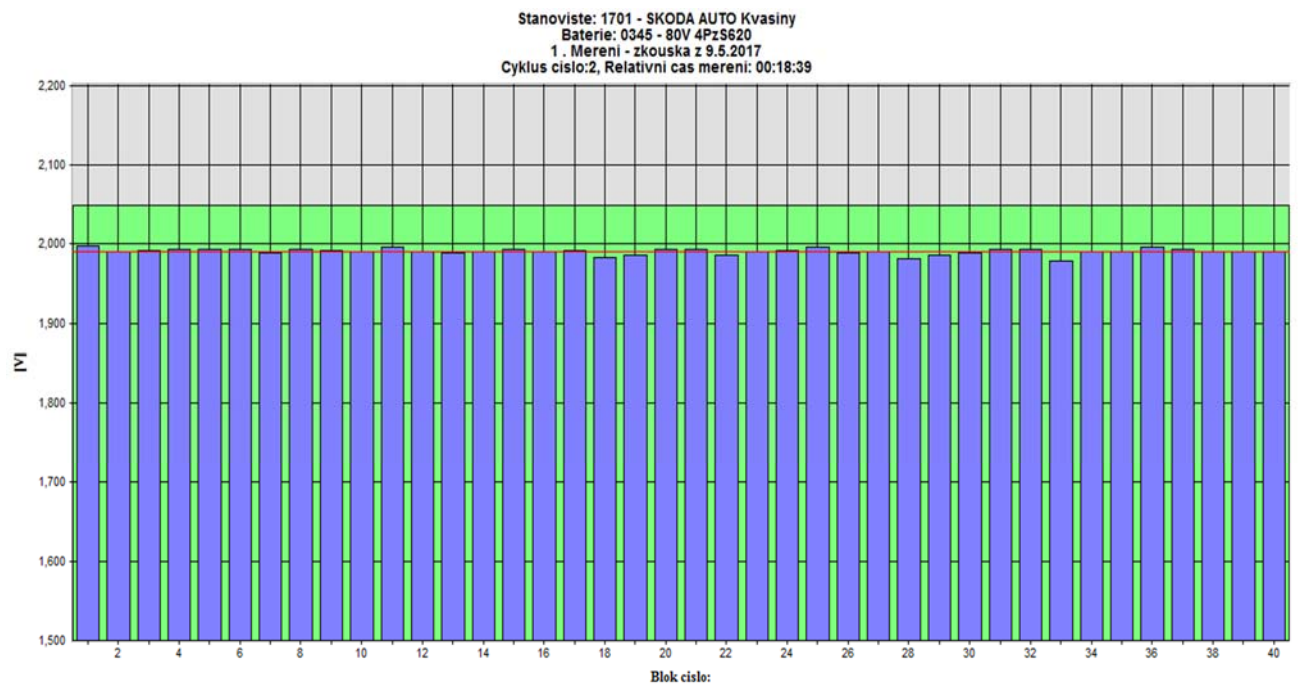
Protokol o kapacitní zkoušce podle ČSN EN 60254-1 čl. 4.2

Objednatel zkoušky	Číslo zakázky EnerSys	
ŠKODA AUTO a.s. Kvasiny		
Provozovatel baterie	Evidenční číslo baterie	
dtto	0345 - pro R 07	
Typ baterie	80V 4PzS 620	
Výrobce	HAWKER	
Výrobní číslo	1012024	
Datum výroby / uvedení do provozu	28.12.2010	
Jmenovité napětí	80 V	štítkový údaj
Jmenovitá kapacita C5	620 Ah	
Vybíjecí proud	124 A	
Konečné vybíjecí napětí	68 V	
Teplota elektrolytu		
Číslo článku	teplota	
	27	°C
	28	°C
	28	°C
	28	°C
	28	°C
	27	°C
Průměrná výchozí teplota	27,67	°C
Před kapacitní zkouškou musí být baterie nabita do konečných znaků (po dobu 2 hod napětí a hustota nevykazují znatelné změny)		
Datum a čas posledního úplného nabití před kapacitní zkouškou	9.5.17 7:00	(zkouška smí být zahájena v intervalu 1-24 hod po nabití)
Čas mezi posledním nabitím a zahájením zkoušky	2,50 hod	
Použitý vybíječ:	ZIVAN	
Průběh zkoušky:		
Kapacitní zkouška zahájena - datum a čas	9.5.17 9:30	příklad formátu 2.1.08 13:00
Konečného vybíjecího napětí dosaženo - datum a čas	9.5.17 13:21	
Celkový čas vybíjení	3,85 hod	
Výsledek zkoušky		
Nekorigovaná kapacita baterie	477,40	Ah
Skutečná kapacita baterie v Ah	484,17	Ah
Skutečná kapacita baterie po přepočtu v %	78	%

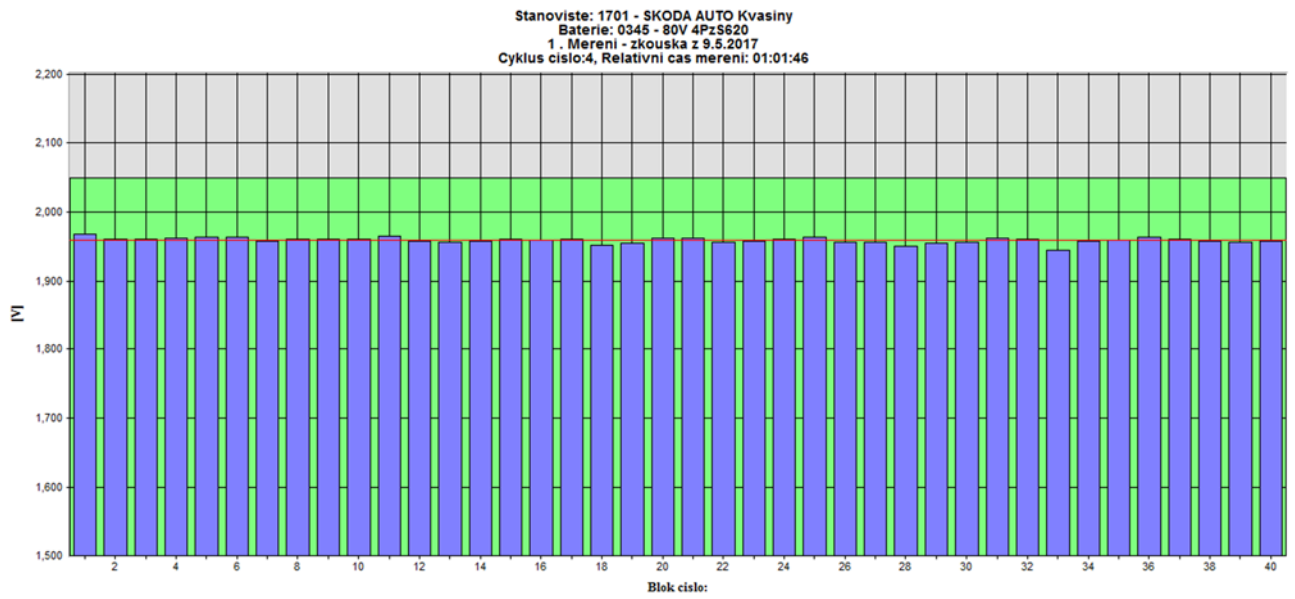
Obrázek 26 - Protokol z měření kapacity baterie



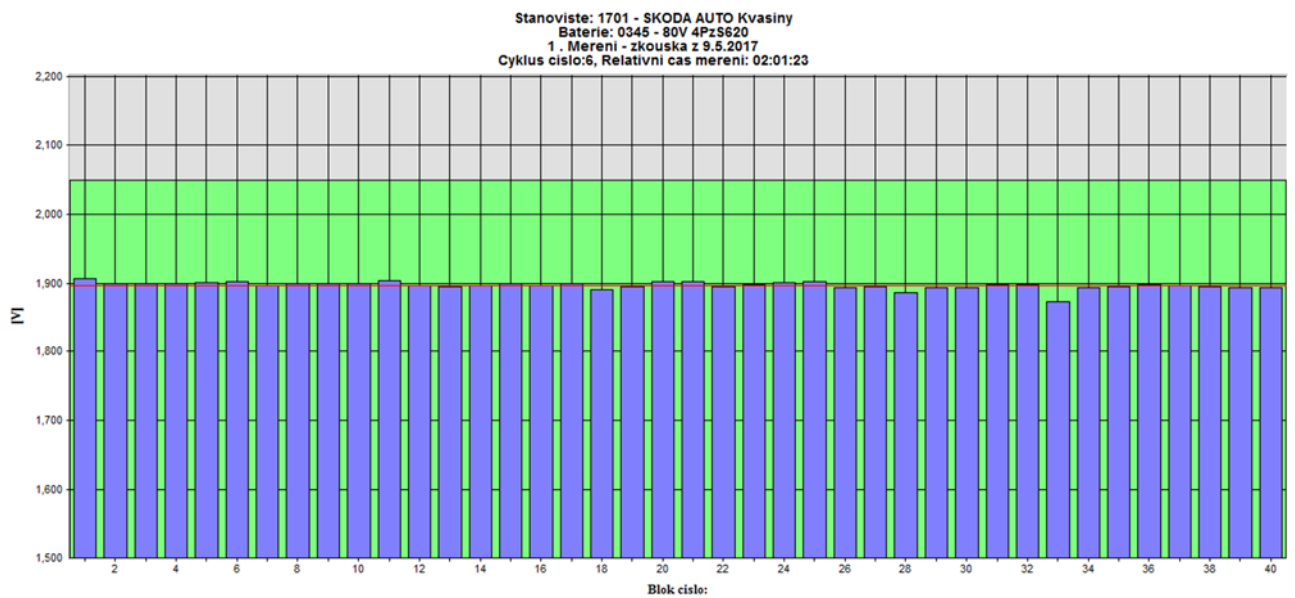
Obrázek 27 - Průměrné napětí na člancích vůči nejslabšímu článku baterie v průběhu kapacitní zkoušky



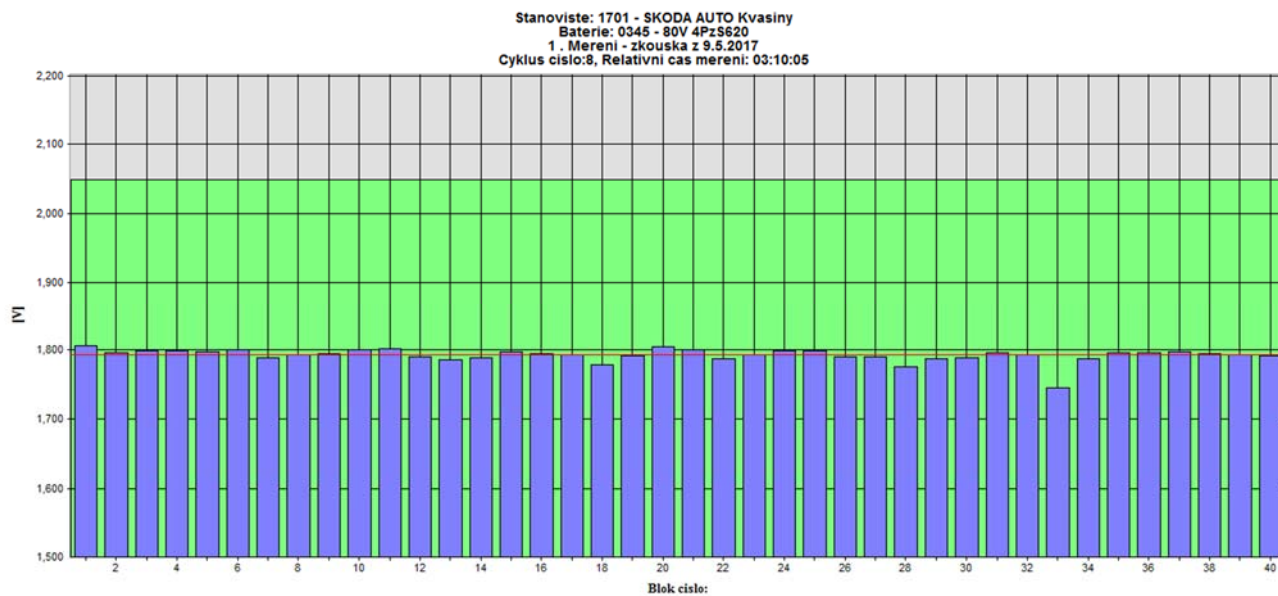
Obrázek 28 - Průběh napětí na jednotlivých článku při zátěži (relativní čas měření 0:18:39)



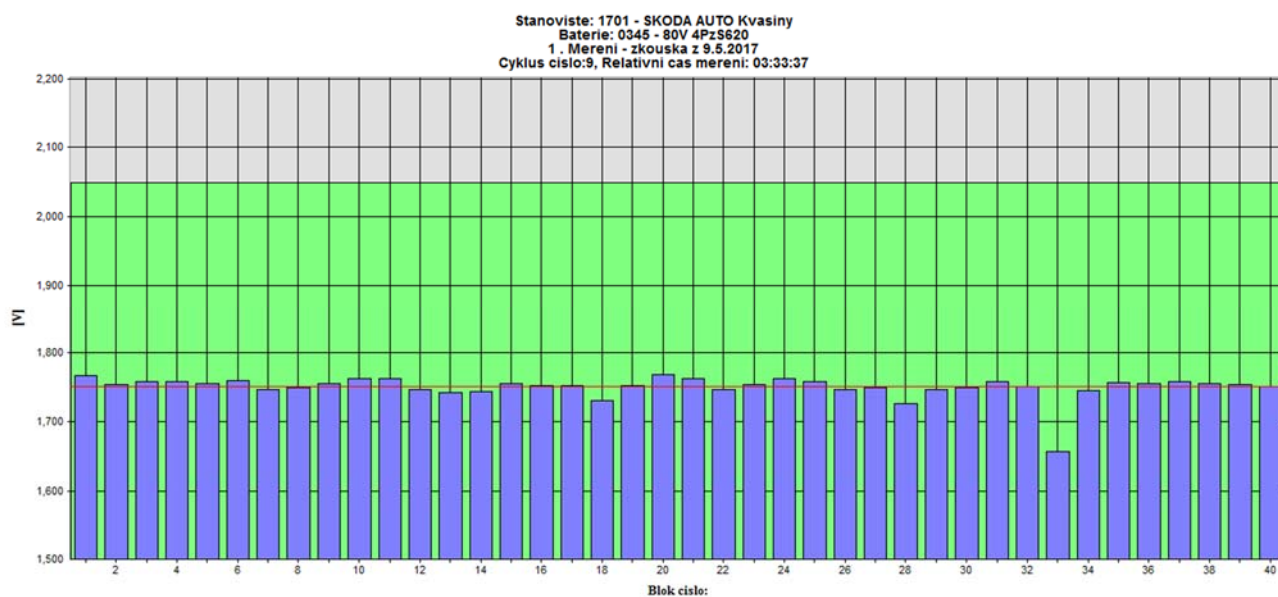
Obrázek 29 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (relativní čas měření 1:01:46)



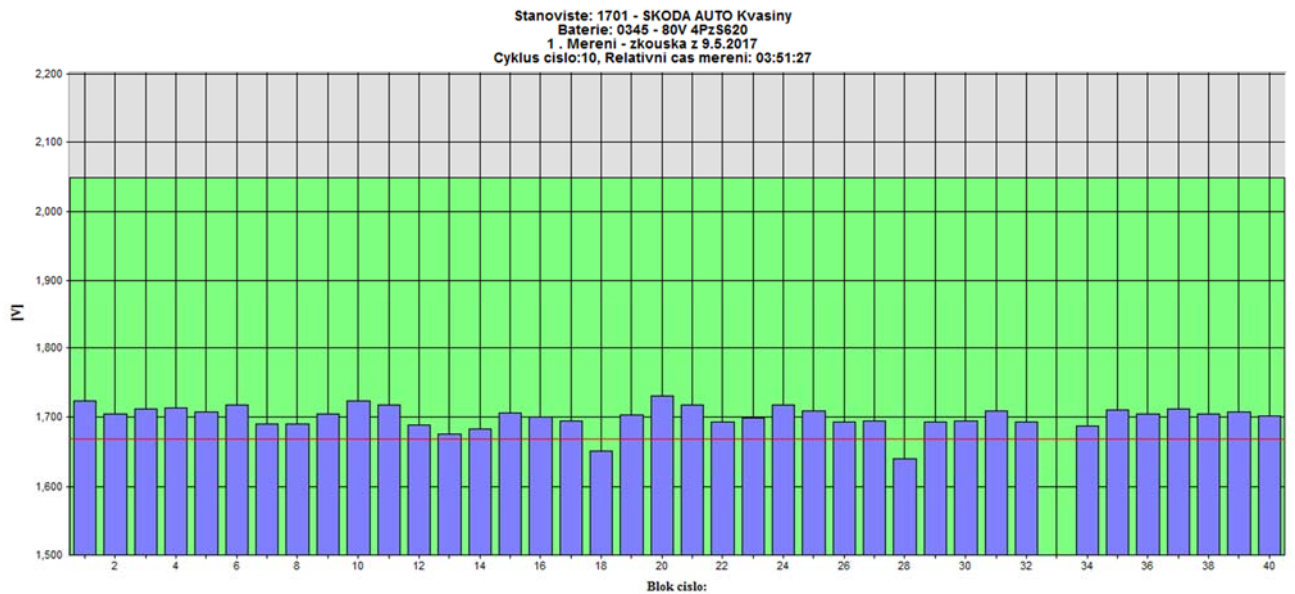
Obrázek 30 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (relativní čas měření 2:01:23)



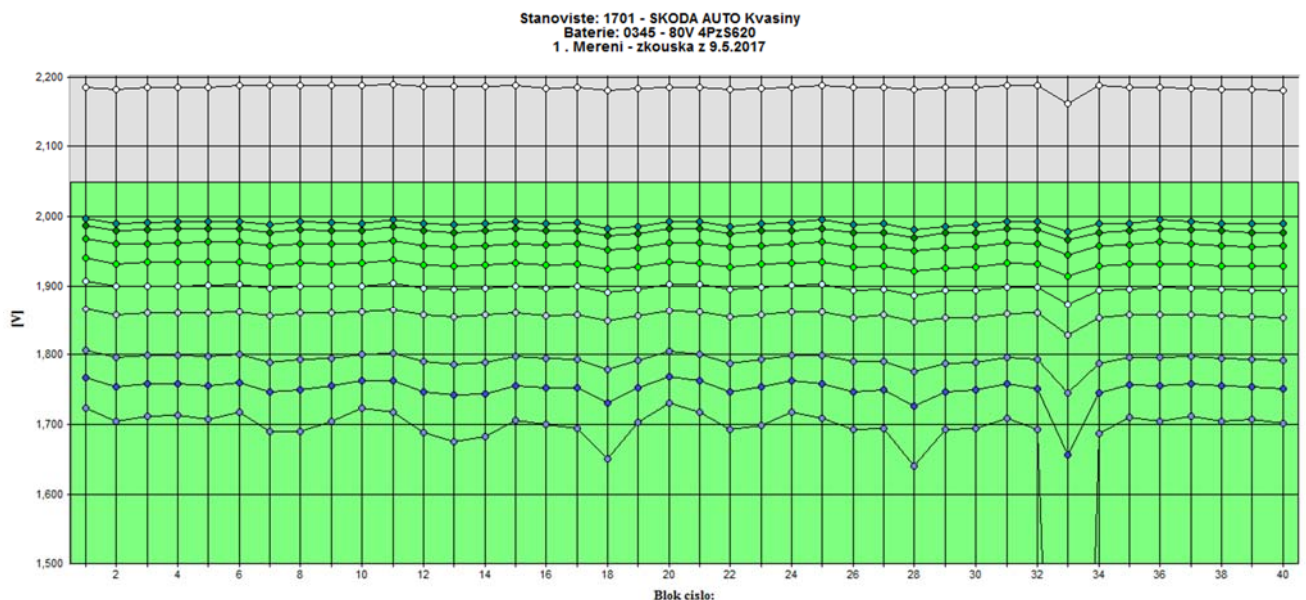
Obrázek 31 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 8)



Obrázek 32 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 9)



Obrázek 33 - Průběh napětí na jednotlivých článků při zátěži (Cyklus číslo 10)



Obrázek 34 - Porovnání napěťových hladin jednotlivých měření

11.3 Výsledek prvního měření kapacity baterie

Z naměřeného protokolu o kapacitní zkoušce (obrázek 26) je zřejmé, že baterie má skutečnou kapacitu 484,17 Ah v přepočtu 78 % své původní kapacity. Baterie byla v průběhu kapacitní zkoušky zatěžována stálým proudem 124 A. Z dalších naměřených hodnot na obrázcích 27 až 34 je vidět, že napětí na článku 33 se během měření úplně propadlo. I na dalších člancích 18 a 28 je vidět znatelný pokles napětí. Jejich napěťová hodnota je viditelně pod napěťovou hladinou ostatních změřených článků. Je to z důvodu, že tato baterie nikdy nebyla oživována. Jeden z důvodů, proč se článek 33 napěťově propadl při měření může být příčinou sulfatace, vnitřní zkrat, příp. nízká kapacita či zvýšené samovybíjení článku. U dalších dvou článků 18 a 28 to bude zjevně sulfatace.

12. Experiment oživení baterie

Po naměření skutečné kapacity a jednotlivých napětí článků na baterii jsem se rozhodl pro oživení baterie. Tato baterie za 7 let v provozu nebyla nikdy oživována, jako i ostatní baterie v provozu. Teoreticky po oživení baterie by se měla zvýšit kapacita baterie.

Přes komunikační port jsem vyčetl data z nabíječe HFR 39.

Baterie se na oživení napojila na nabíječ 9. 5. 2017 v 12:56 a oživovací proces skončil 11. 5. 2017 v 5:00. Celková doba oživení baterie trvala 40 h. Po celé době měření byla teplota baterie konstantní a to 32 °C. Na začátku oživování se změnilo napětí na baterii 78,4 V a na konci oživení 97,4 V. Nabíječ oživoval proudem 17,6 A dodal do baterie energii o velikosti 702 Ah.

13. Měření po experimentu oživení

Provedl jsem další kapacitní zkoušku a měření napětí na jednotlivých člancích při zatížení, abych zjistil, jaká bude účinnost oživení baterie.

Protokol o kapacitní zkoušce podle ČSN EN 60254-1 čl. 4.2

Objednatel zkoušky	Číslo zakázky EnerSys
ŠKODA AUTO a.s. Kvasiny	
Provozovatel baterie	Evidenční číslo baterie
dtto	0345 - pro R 07

Typ baterie	80V 4PzS 620
Výrobce	HAWKER
Výrobní číslo	1012024
Datum výroby / uvedení do provozu	28.12.2010

Jmenovité napětí	80 V	stítkový údaj
Jmenovitá kapacita C5	620 Ah	

Vybíjecí proud	124 A
Konečné vybíjecí napětí	68 V

Teplota elektrolytu		
Číslo článku	teplota	
	27	°C
	28	°C
	28	°C
	28	°C
	28	°C
	27	°C
Průměrná výchozí teplota	27,67	°C

(měří se 1 reprezentativní článek ze skupiny 6-ti článků, teplota musí být v rozmezí 22 - 34°C)

Před kapacitní zkouškou musí být baterie nabita do konečných znaků (po dobu 2 hod napětí a hustota nevykazují znatelné změny)

Datum a čas posledního úplného nabití před kapacitní zkouškou	11.5.17 10:00	(zkouška smí být zahájena v
Čas mezi posledním nabitím a zahájením zkoušky	22,50 hod	intervalu 1-24 hod po nabití

Použitý vybíječ:	ZIVAN
------------------	--------------

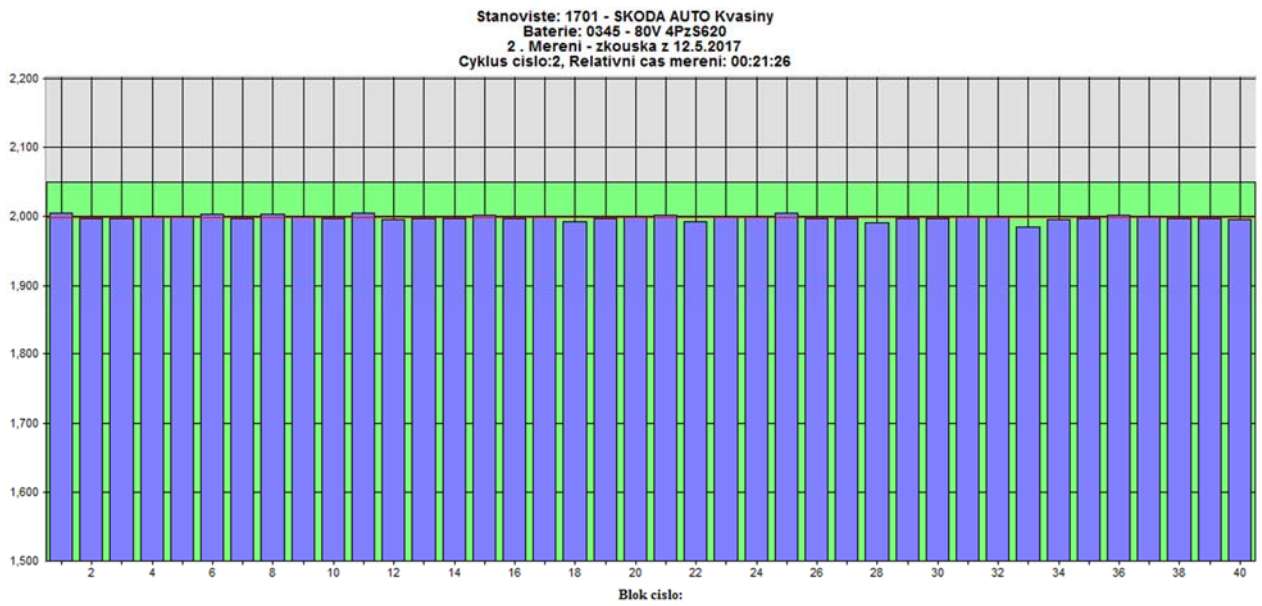
Průběh zkoušky:		příklad formátu
Kapacitní zkouška zahájena - datum a čas	12.5.17 8:30	2.1.08 13:00
Konečného vybíjecího napětí dosaženo - datum a čas	12.5.17 12:38	
Celkový čas vybíjení	4,13 hod	

Výsledek zkoušky	
Nekorigovaná kapacita baterie	512,53 Ah
Skutečná kapacita baterie v Ah	519,80 Ah
Skutečná kapacita baterie po přepočtu v %	84 %

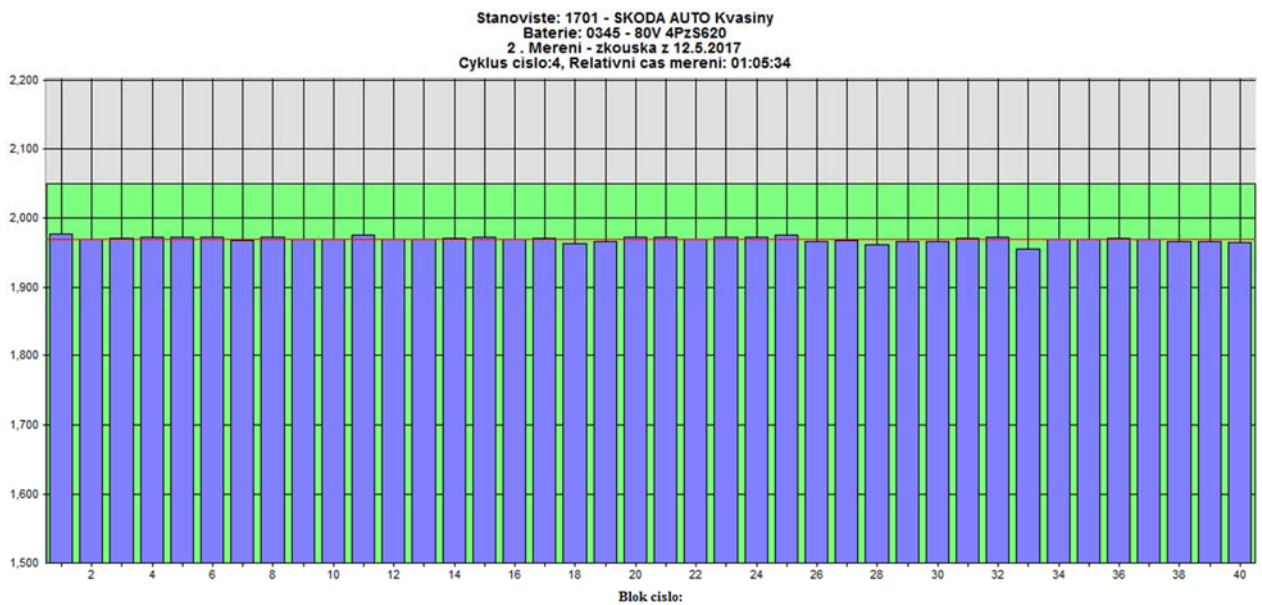
Poznámka

**Po provedeném oživovacím nabíjení došlo ke zvýšení kapacity ze 78% na 84% .
Je však nutná výměna vadného článku č. 33.**

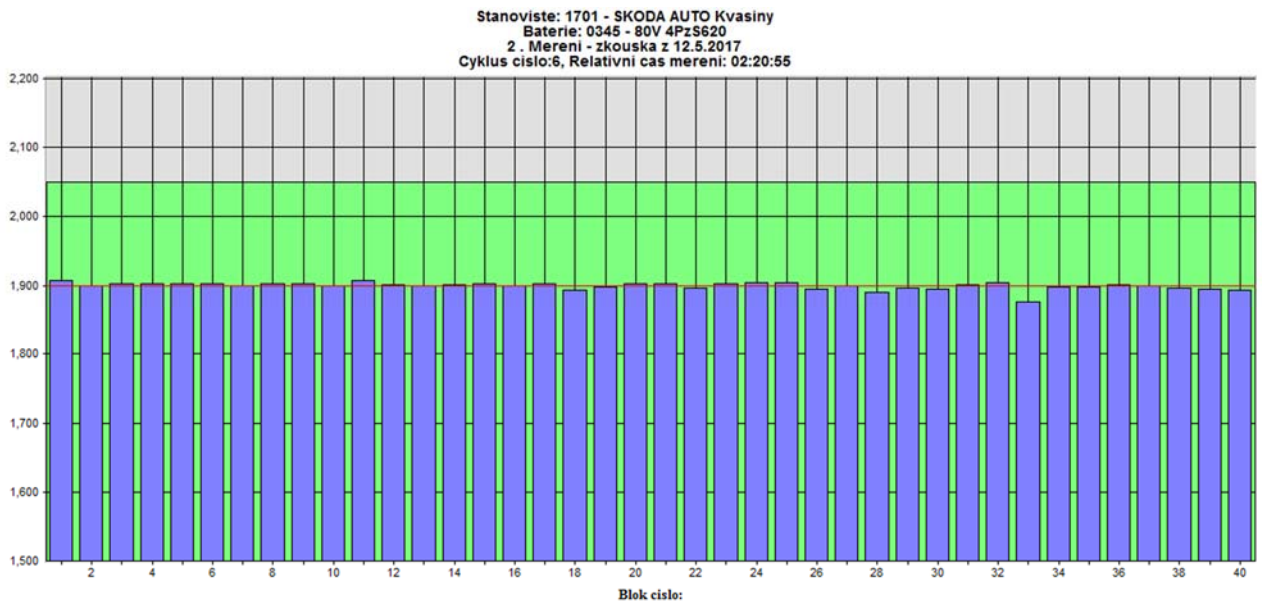
Obrázek 35 – Protokol z kapacitní zkoušky po oživení baterie



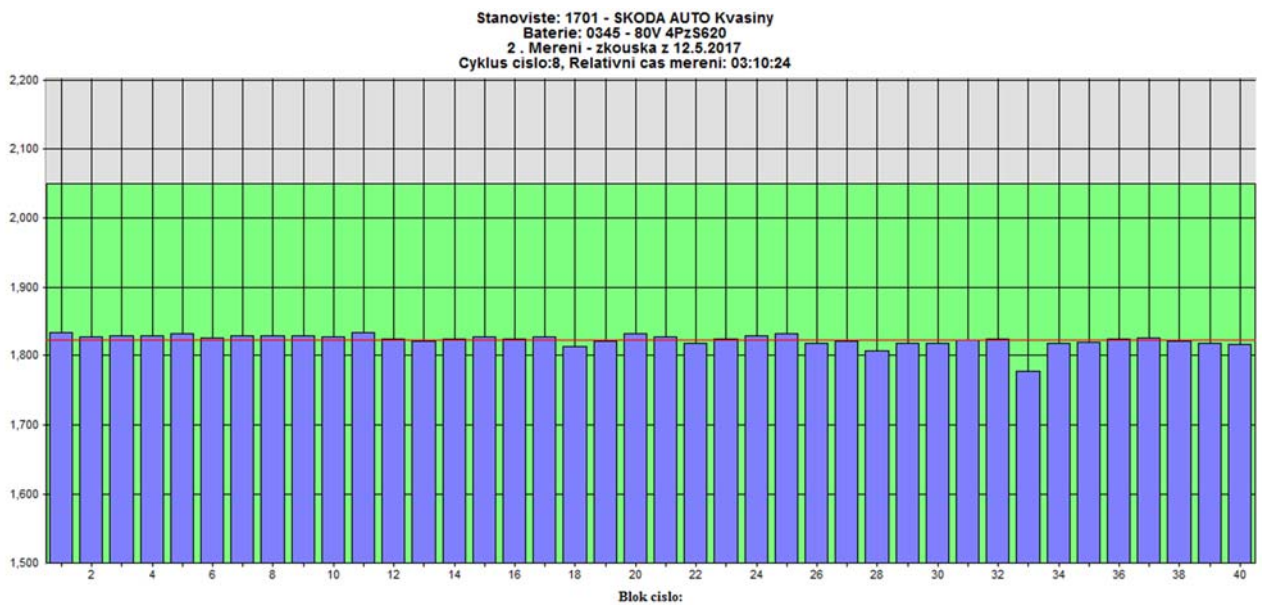
Obrázek 36 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 00:21:26



Obrázek 37 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 01:05:34

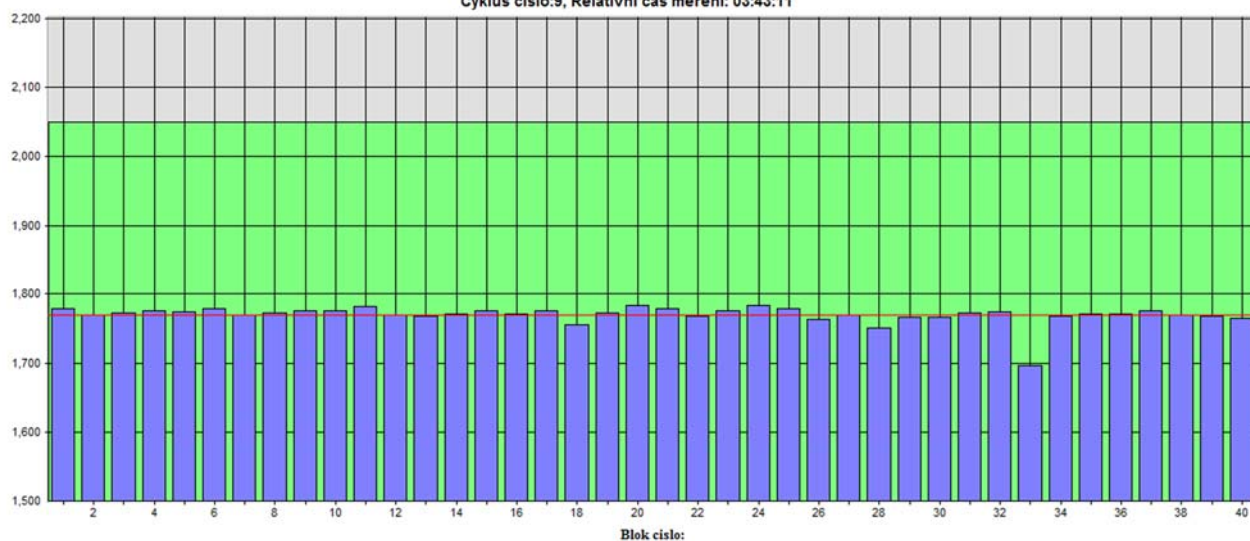


Obrázek 38 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 02:20:55



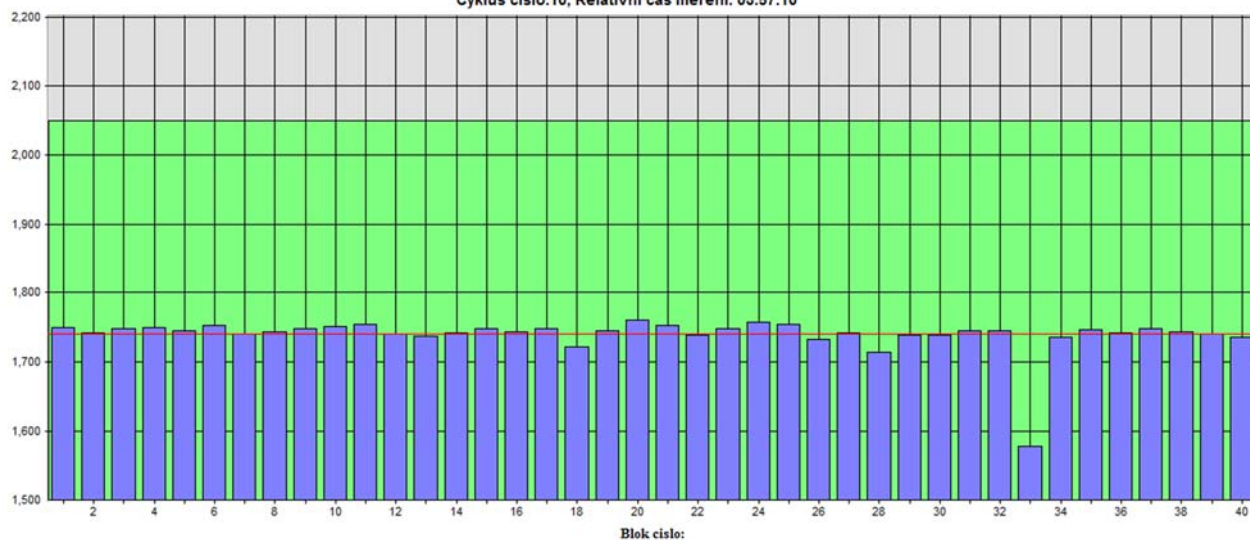
Obrázek 39 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:10:24

Stanoviste: 1701 - SKODA AUTO Kvasiny
Baterie: 0345 - 80V 4PzS620
2. Měření - zkouška z 12.5.2017
Cyklus číslo:9, Relativní čas měření: 03:43:11

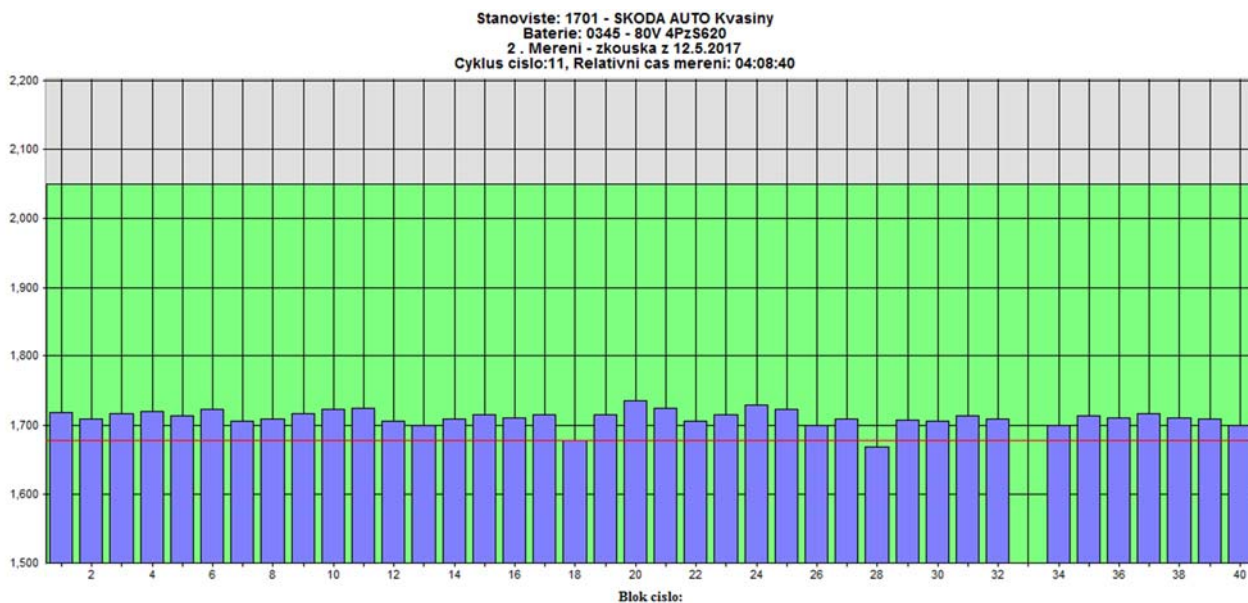


Obrázek 40 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:43:11

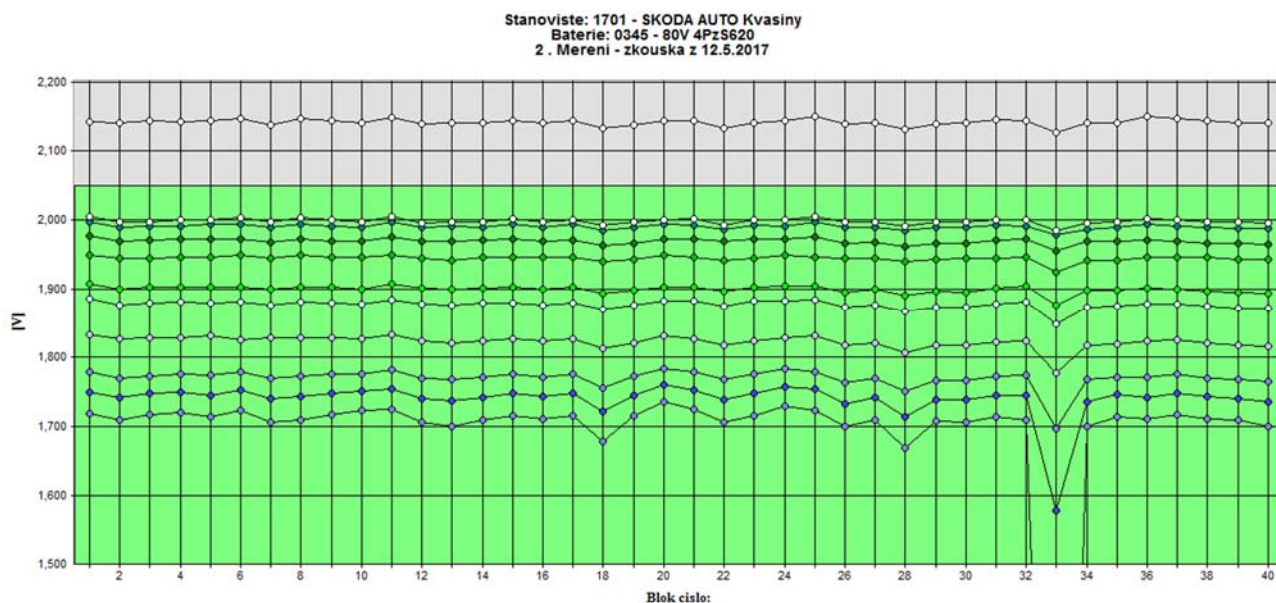
Stanoviste: 1701 - SKODA AUTO Kvasiny
Baterie: 0345 - 80V 4PzS620
2. Měření - zkouška z 12.5.2017
Cyklus číslo:10, Relativní čas měření: 03:57:10



Obrázek 41 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 03:57:10



Obrázek 42 - Měření napětí na jednotlivých člancích v čase 04:08:40



Obrázek 43 - Porovnání napětí na člancích z druhé kapacitní zkoušky

13.1 Výsledek měření po experimentu

Z naměřeného protokolu o kapacitní zkoušce jsem zjistil, že proces oživení mi přinesl nárůst kapacity o 6 % z původních 78 % na 84 %. Díky procesu oživení je vidět, že ani napěťový propad na člancích 18 a 28 nebyl tak výrazný jako před procesem oživování. Pokud se vymění článek 33, bude baterie v perfektní kondici.

14. Teoretická optimalizace

Při psaní diplomové práce jsem si neustále pokládal otázku, jak bych mohl optimalizovat, abych snížil dopad provozních faktorů, které vedou ke zhoršení stavu baterie po celou dobu její životnosti. Napadla mě teoretická optimalizace, kterou bych rád do budoucna experimentem vyzkoušel, zda by došlo ke zrychlení nabíjení a třeba i k prodloužení životnosti baterií.

14.1 Promíchávání elektrolytu

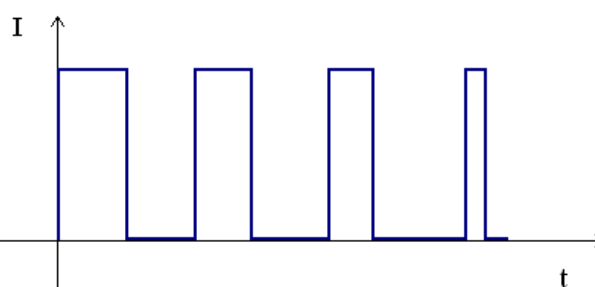
Přemýšlel jsem o přidání vzduchové pumpy do HFR nabíječe a do akumulátoru systém pro promíchávání elektrolytu. Je prokázáno, že promíchávání elektrolytu zrychlí nabíjení až o 30 % a uspoří cca 15 % elektrické energie. Z praxe, kde systém promíchávání elektrolytu již používají mi bylo sděleno, že pro tak velký a těžký provoz, který máme ve Škodě Auto v Kvasinách je nevhodný. V praxi dochází k mechanickému poškození hadiček, které rozvádějí vzduch na dno baterie. Další porucha nastává po určité době, kdy těsnící gumové prvky pro rozvod hadiček podléhají stárnutí a systém přestává být dokonale utěsněn. Instalace systému pro promíchávání elektrolytu je poměrně nákladný cca 15000 Kč na jeden nabíječ a baterii, ale též nákladný na údržbu a pravidelné kontroly. Tato optimalizace mi přijde nevhodná. Od myšlenky promíchávání elektrolytu nechci úplně odbíhat.

14.2 Pulzní nabíjení

Při četbě odborné literatury jsem narazil na odborný článek, kde Lam a kolektiv porovnával vlivy nabíjecích metod na životnost článku. Na článkách aplikovali opakovaně cyklování nabíjení konstantního proudu tak i metodu pulzního nabíjení. Při nabíjení metodou konstantního proudu byla velikost proudu 0,73 A nízká oproti pulznímu režimu, kde velikost proudu byla 7,3 A. Délka nabíjecích proudových pulzů 200 ms, doba stání 600 ms. Měřením bylo prokázáno, že nabíjení článku konstantním proudem vyvolává předčasné stárnutí a tím i pokles jmenovité kapacity. Pomocí metody pulzního nabíjení se dosáhlo cca o 15–30 % lepších výsledků než při nabíjení pomocí konstantního proudu. [12]



Obrázek 44 - Průběh proudu při pulzním nabíjení se změnou amplitudy [13]



Obrázek 45 - Průběh proudu při pulzním nabíjení se změnou šířky pulzu [13]

Při dalších experimentech a měřeních se zjistilo, že u pulzního nabíjení může být aplikován vyšší proud, aniž by došlo k poškození aktivních materiálů elektrod. Hlavní nevýhoda pulzního nabíjení je, že vysoký nabíjecí proud mi bude zvyšovat teplotu baterie. Teplota by na baterii neměla při nabíjení přesáhnout 50 °C. Článek, který byl nabíjen pulzní charakteristikou měl po celou dobu měření skoro konstantní kapacitu, ta jen nepatrně klesala v průběhu dalších cyklů. Propad v kapacitě nastal až před koncem jeho životnosti. Výsledkem měření bylo, že při použití metody pulzního nabíjení se životnost článku zvýšila z původních 52 cyklů na 65 cyklů, a zkrátily se časy nabíjení. Články, které jsou poškozeny nabíjením konstantním proudem je možno částečně omladit pulzním nabíjením. [\[12\]](#)

14.3 Úprava nabíjecí charakteristiky v nabíječi HFR 39

Protože HFR nabíječe od výrobce Eprona dovolují nastavit jakoukoliv nabíjecí charakteristiku, napadlo mě, že promíchávání elektrolytu bych mohl provést proudovými pulzy ve třetí fázi charakteristiky nabíjení, kdy dochází k plynování. Proudová velikost a doba pulzu by se musela měřit a pokusy odzkoušet, aby se elektrolyt začal hýbat ve článku a tím se i dostatečně promíchal, protože při nabíjení elektrolyt tuhne a těžkne. Proudové pulzy by mohly být tak velké, dokud by nezačala stoupat teplota baterie nad 50 °C, poté by hrozilo přetečení baterie.

14.4 Bezdrátové nabíjení za jízdy

V roce 2016, byla vypracována studie Lotyšskou zemědělskou univerzitou, kde porovnávali drátové a bezdrátové nabíjení. Výhoda bezdrátového nabíjení oproti drátovému je, že můžeme v našem případě daný elektrický vozík nabíjet za jízdy nebo na pracovištích, kde vozík v danou chvíli nevykonává žádnou práci a stojí.

Bezdrátové nabíjení – Měřením bylo zjištěno, že když nabíjením udržovali olověnou trakční baterii na SoC 60-80 % (DoD 20-40 %), tak má baterie čtyřikrát delší životnost oproti drátovému nabíjení, kde dochází k vybití baterie na SoC 20 % (DoD 80 %) a poté k plnému nabití. Co mně vadilo na dané práci, že neobsahovala ekonomickou analýzu ztrát nabíjení. Při bezdrátovém nabíjení vznikají velké ztráty, které nebrali v potaz.

Pro naše použití ve Škodě Auto vidím bezdrátové nabíjení jako nevhodnou variantu. Nemohu ve výrobě (uzavřených prostorách) nabíjet baterie v manipulační technice, protože při nabíjení z baterií utíká plynný vodík, který je v určitých koncentracích výbušný. Možnost bezdrátového nabíjení vidím reálnou při obměně vozového parku a po přechodu z olověných baterií na Li-Ion (lithium-iontové). Případně je možno uvažovat o konstrukčně jednodušší metodě průběžného „drátového“ dobíjení přímo u pracovních strojů.

15. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámení čtenáře s oběhem trakčních baterií v rámci firmy Škoda auto a.s. a manipulační technikou od firmy Still, ve které jsou tyto trakční baterie použity. Hned v úvodu mé práce jsem vysvětlil rozdělení a použití manipulační techniky.

V dalších čtyřech kapitolách jsem začal s vysvětlováním základních pojmů a historii vzniku elektrochemického zdroje až po konstrukci, princip a druhy nabíjecích charakteristik pro olovené akumulátory.

Pro optimalizaci v diplomové práci byl vybrán provoz nabíjecí stanice v hale svařovny. Provoz svařovny se dříve dělil na tzv. lehký a těžký provoz. Kvůli interní optimalizaci manipulační techniky a tím i zvýšení průměrného nájezdu motohodin na směnu, byl lehký provoz eliminován. Původní optimalizace baterií byla zavrhnuta. Byla postavena na principu automatického přidělování baterií systémem v nabíjecí stanici z těžkého provozu do lehkého, aby ke konci životnosti mohla baterie tzv. dožít v lehkém provozu a prodloužit se její životnost.

Rozhodl jsem se tedy optimalizovat nabíjecí cykly nabíječe HFR39 od výrobce Eprona a tím i oběh baterií v závodě. Pro optimalizaci a byl vybrán nejpoužívanější typ trakční baterie od firmy Enersys stáří 7 let. Na baterii byl proveden zátěžový test, který odkryl skutečnou kapacitu baterie a aktuální stav článků baterie. Měření poukázalo na jeden špatný článek a další dva články jsou na hranici životnosti. Poté se dala baterie na oživovací proces. Po oživovacím procesu se opět provedla kapacitní zkouška. Výsledkem měření oživovacího procesu je nárůst kapacity měřené trakční baterie o 6 % z původních 78 % na 84 %. Díky procesu oživení se zjistilo, že napěťový propad na hraničních člancích nebyl tak výrazný jako před procesem oživování. Pokud se tedy vymění poškozený článek, bude baterie v perfektní kondici.

Optimalizaci baterií zavedu do výroby díky vyzkoušenému oživovacímu procesu. Po přesně definovaných počtech nabíjecích / vybíjecích cyklech, nebo časovým údaji (cca 1rok), by systém sám automaticky přiděloval baterie na oživovací proces. Touto úpravou bych udržoval kapacitu baterií a prodlužoval jejich životnost. Finanční nároky na tuto optimalizaci jsou skoro nulové. Jedná se pouze o úpravu řídicího softwaru v nabíjecí stanici pro nabíjení a zavedení procesu do interní dokumentace závodu.

Jako další optimalizaci baterií vidím v promíchávání elektrolytu trakčních baterií. Před zavedením této teoretické optimalizace do výroby, by se muselo experimentálním měřením zjistit, jaké parametry mají mít proudové pulzy ve třetí fázi nabíjecí charakteristiky MinitCharger, aby bylo prakticky možné elektrolyt v baterii promíchat. Touto optimalizací, by teoreticky došlo ke zkrácení času nabíjení a úspory nabíjecích míst v nabíjecí stanici.

16. Použitá literatura

16.1 Tištěné zdroje

- [1] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1.
- [2] CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. Praha: STRO.M, 1996. Knižnice Elektro.
- [3] CETL, Tomáš. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02859-3.
- [4] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [5] ULVER, Libor. *Katalog akumulátorových baterií: PRAŽSKÁ AKUMULÁTORKA, n. p., Mladá Boleslav, 1971.*

16.2 Internetové zdroje

- [6] Článek. www.battery.cz: *Průvodce informacemi o bateriích* [online]. Poslední změna 10.8.2011. [Cit. 16.5.2017]. Dostupné z: <https://www.battery.cz/informace/>
- [7] BUCHMANN, Isidor. *Battery University* [online]. Richmond, British Columbia, Canada: Cadex Electronics, 2016. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com/>
- [8] *Skoro vše o akumulátorech*. [online 2008-12-20]. [cit. 2010-17-07]. Dostupné z <http://www.k1400.cz/clanky/radime/konkretne/aku/obecne/akumulatory.pdf>
- [9] *Still* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: www.still.cz
- [10] *Ibg* [online]. 2015 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: www.ibg.cz
- [11] *Energys* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.energys.cz/index.html>
- [12] J. HAMMERBAUER, „*Historie akumulátorů*“, 2006. [Online]. Dostupné z <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olovnab3.htm>
- [13] LAM, L.T., H. OZGUN, O.V. LIM, J.A. HAMILTON, L.H. VU, D.G. VELLA a D.A.J. RAND. Pulsed-current charging of lead/acid batteries — a possible means for overcoming premature capacity loss?. *Journal of Power Sources* [online]. 1995, vol. 53, issue 2, s. 215-228 [cit. 2017-05-11]. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7753\(94\)01988-8](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7753(94)01988-8).
- [14] KANTOR, Pavel. *Pulzní nabíjení oloveného akumulátoru využívající záporných proudových pulzů*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Křivík, Ph.D.
- [15] RUBENIS, Aivars, Aigars LAIZANS a Dainis BERJOZA. *USING WIRELESS CHARGING TO PROLONG LEAD-ACID BATTERY LIFETIME* [online]. In: . 27.05.2016. Latvia University of Agriculture, s. 8 [cit. 2017-05-25].

17. Přílohy

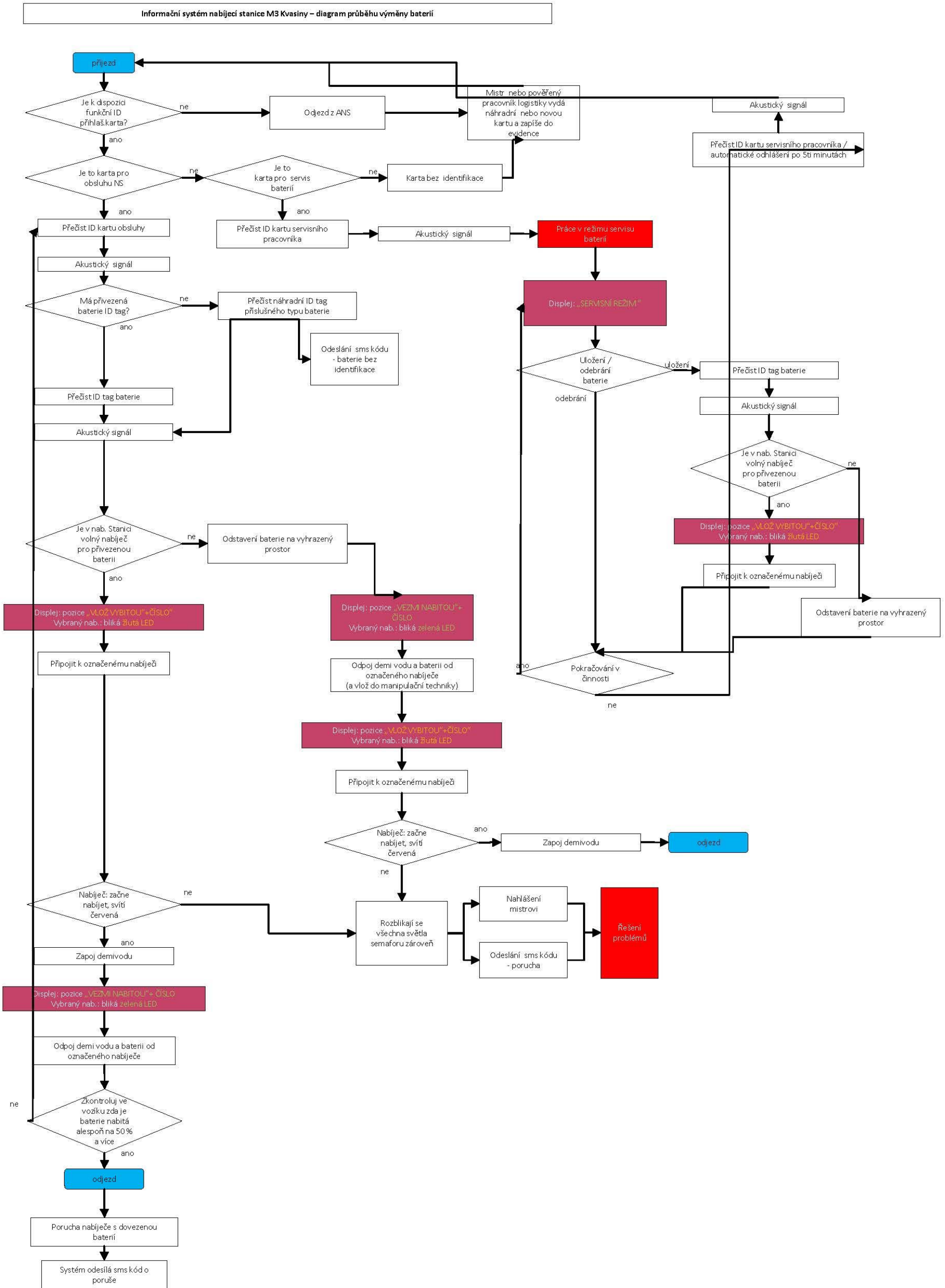
[A] Procesní schéma průběhu výměny baterií (A3, 1 list)

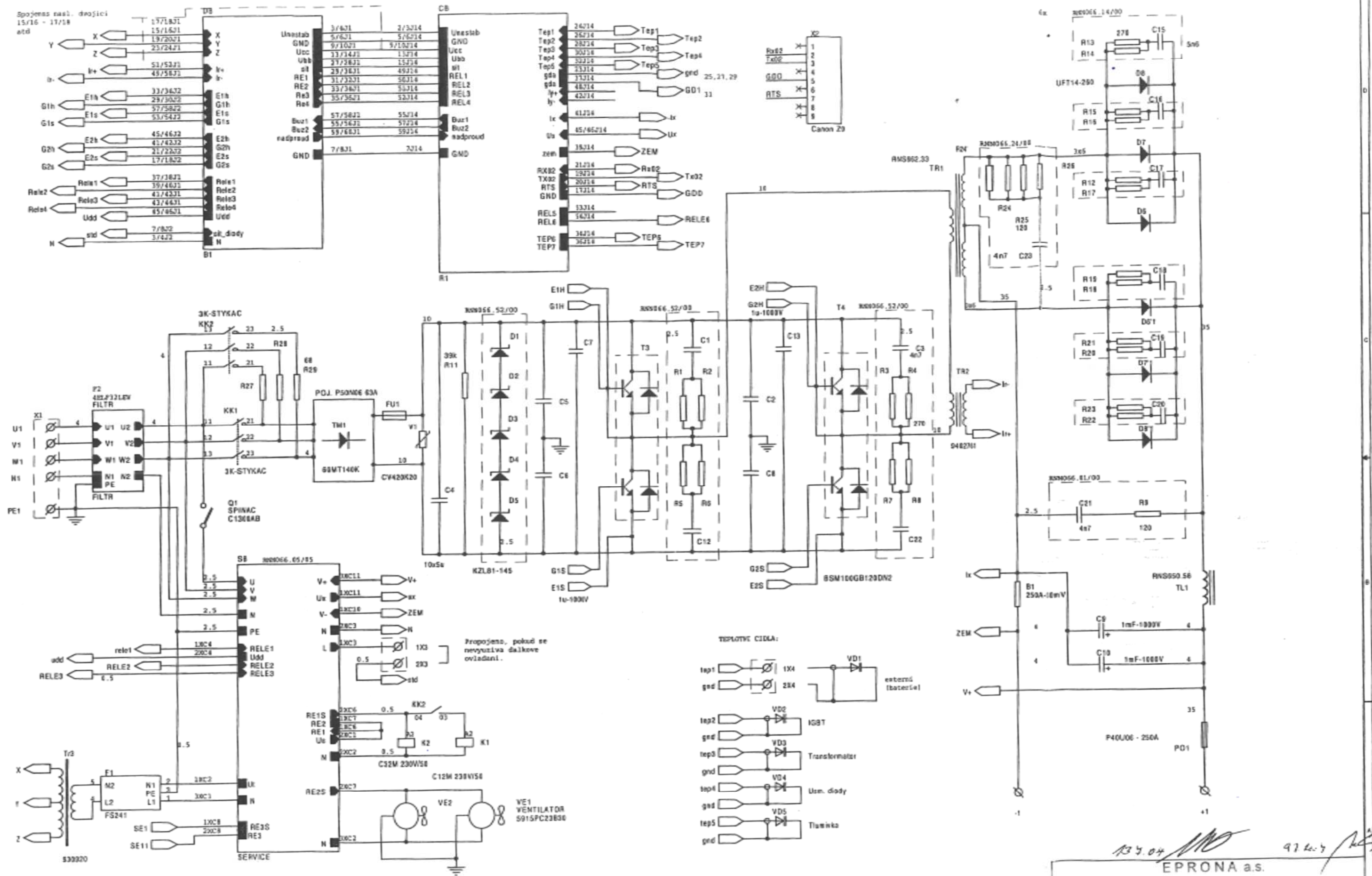
[B] Schéma nabíječe HFR 39 (A3, 1 list)

Seznam veličin, symbolů a zkratek

<i>V</i>	- volt (hodnota elektrického napětí)
<i>A</i>	- ampér (hodnota elektrického proudu)
<i>Ah</i>	- ampérhodina
<i>I, Ia</i>	- Nabíjení konstantním proudem
<i>U</i>	- Nabíjení konstantním napětím
<i>W, Wa</i>	- Nabíjení na konstantní výkon
<i>WoW, ;WoW</i>	- Modifikovaná metoda nabíjení na konstantní výkon
<i>IU, WU, IUW, IUIA</i>	- Nabíjení využívající kombinaci více metod
<i>DOD - Depth Of Discharge</i>	- hloubka vybití
<i>SOC - State Of Charge</i>	- úroveň nabití
<i>Li-ion</i>	- Lithium-iontový akumulátor
<i>C</i>	- Kapacita akumulátoru
<i>I</i>	- Proud
<i>H₂SO₄</i>	- kyselina sírová
<i>Pb</i>	- olovo
<i>PbO</i>	- oxid olovnatý
<i>PbO₂</i>	- oxid olovičitý
<i>PbSO₄</i>	- síran olovnatý
<i>η</i>	- účinnost

[A] Procesní schéma průběhu výměny baterií (A3, 1 list)





Detailní rozložení a měřicí vedlice jsou 0.35

EPRONA a.s.
512 45 Rokytnice n. Jz.

Nabíječ 80V/200A - silova cast

Document Number 3N1 910.44/00

Date: Friday, June 14, 2002

Rev