



Zkušební protokol č. PROT 16/2018

*Zkušební laboratoř č. 1048.3 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005*

Měření baterie HE3DA 500 Wh

Zákazník:

HE3DA, s.r.o.
Ing. Jan Procházka
Beranových 130, 199 05, Praha 9, Česká republika

Předmět zkoušení:

Baterie HE3DA 500 Wh, unikátní identifikátor V0165 47 PATER

Název zkoušky a metodika:

Zkoušky: Měření napětí, měření proudu
Metodiky:
MET2006/4 Postup provádění zkoušky - Měření napětí
MET2006/5 Postup provádění zkoušky - Měření proudu

Požadavky zákazníka:

zpřesňující podmínky zkoušky viz odstavec 1.5.

Přijato dne:

18. 09. 2018

Zkoušeno dne, kde:

25. 09. - 24. 11. 2018, pracoviště 1 ZL FD, Konviktská 20, Praha 1

Měřil:

Ing. Jindřich Sadil, Ph.D., zkušební technik

Vypracoval:

Ing. Jindřich Sadil, Ph.D., zkušební technik

Datum: 04. 12. 2018

Schválil:

doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D., manažer kvality

Datum: 12. 12. 2018

podpis



Obsah

1	Všeobecné údaje	4
1.1	Zkoušená položka	4
1.2	Datum měření	4
1.3	Měřicí přístroje a pomůcky	4
1.4	Podmínky prostředí	5
1.5	Podmínky zkoušky	5
1.6	Popis měření	6
1.7	Prohlášení o vyjádření o nejistotách	8
1.8	Vyhodnocované charakteristické hodnoty baterie	8
2	Výsledky zkoušky	10
2.1	Ověření deklarované kapacity a určení využitelnosti této kapacity baterie v rozmezí od 4.2 V do 2.0 V	10
2.1.1	Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A až do napětí 2 V	10
2.1.2	Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin	13
2.2	Test stability baterie v pohotovostním (stand by) stavu pod napětím 4.0 V	15
2.2.1	Nabití baterie proudem 10 A do 4.0 V a podržení při tomto napětí po dobu 100 hodin	15
2.3	Cyklická stabilita	18
2.3.1	Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V	18
2.3.2	Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V	20
2.3.3	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s výdrží 1 hodinu při 4.1 V	23
2.3.4	Ověření využitelné kapacity a energie dobitím baterie proudem 8 A do 4.2 V, následným podržením při 4.2 V po dobu 5 hodin a vybitím do 2 V.	29
3	Seznam použitých zkratk	33
4	Seznam obrázků	34



5 Seznam tabulek	36
6 Závěrečné údaje	37



Kapitola 1

Všeobecné údaje

1.1 Zkoušená položka

Baterie HE3DA 500 Wh, unikátní identifikátor V0165 47 PATER

1.2 Datum měření

25. 09. - 24. 11. 2018

1.3 Měřicí přístroje a pomůcky

- měřicí PC Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz, Windows7 Enterprise SP1, 32-bitový operační systém
- měřicí karta PCMCIA NI-6036E, inv.č. L-1-019
- průvlastkové čidlo proudu TelconHTP50, inv.č. L-1-68
- programovatelný zdroj PCE a6kW, inv. č. L-1-70 pro nabíjení baterie
- programovatelná zátěž EL-9080-400, inv. č. L-1-71 pro vybíjení baterie
- kalibrovaný teploměr CEM DT-172 inv. č. L-1-53
- 4x teplotní čidlo LM19 pro informativní měření teploty
- měřicí kabely, vodiče, konektory apod.



1.4 Podmínky prostředí

Teplota a vlhkost před zkouškou 25. 9. 2018 měřená kalibrovaným teploměrem: 24.8 °C, 51.9 %

Ověření nekalibrovaných čidel teploty LM19 před měřením:

- Teplota pouzdra: 25.7 °C
- Teplota terminálu baterie mínus: 25.3 °C
- Teplota terminálu baterie plus: 25.6 °C
- Teplota okolí: 25.6 °C

Teplota a vlhkost po zkoušce 24. 11. 2018 měřená kalibrovaným teploměrem: 24.7 °C, 40.5 %

Časové průběhy teplot nekalibrovaných čidel teploty uvedené ve zkušebním protokolu jsou neakreditované hodnoty a jsou označeny symbolem *.

1.5 Podmínky zkoušky

Na základě požadavku zákazníka byly prováděny zkoušky za následujících podmínek:

1. Ověření deklarované kapacity a určení využitelnosti této kapacity baterie v rozmezí od 4.2 V do 2.0 V.
 - (a) Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A až do napětí 2 V. Vyhodnotí se celková kapacita (Ah) a energie (Wh) a částečné kapacity (Ah) a energie (Wh) při 2.5 V, 3.0 V, 3.5 V a 4.0 V.
 - (b) Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin. Baterie je po kroku a) ve vybitém stavu a měla by mít teoreticky 2.0 V, v pauze 5 hodin se sleduje ustálení napětí článku.
2. Test stability baterie v pohotovostním (stand by) stavu pod napětím 4.0 V.
 - (a) Nabití baterie proudem 10 A do 4.0 V a podržení při tomto napětí po dobu 100 hodin. Měří se pokles proudu až do nuly nebo hodnot blízkých nule.
3. Cyklická stabilita
 - (a) Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V
 - (b) Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V. U pátého cyklu se vyhodnotí shoda s pátým cyklem předchozího měření.
 - (c) Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s výdrží 1 hodinu při 4.1 V. Vyhodnotí se cyklická stabilita baterie z poklesu vybitých kapacit (Ah) a energií (Wh).
 - (d) Ověření využitelné kapacity a energie dobitím baterie proudem 8 A do 4.2 V, následným podržením při 4.2 V po dobu 5 hodin a vybitím do 2 V.



Na základě výše uvedených požadavků zákazníka proběhlo měření cyklického vybíjení a nabíjení zkoušené položky baterie.

Tabulka 1.1 uvádí parametry měření cyklického vybíjení a nabíjení nastavené zvláště pro jednotlivé interně číslované cykly. Každý cyklus začíná vždy vybíjením a pokračuje nabíjením. V tabulce je:

<i>Idis</i>	požadovaný vybíjecí proud
<i>Ich</i>	požadovaný nabíjecí proud
<i>Udis</i>	požadované vybíjecí napětí
<i>Uch</i>	požadované nabíjecí napětí.
<i>tCV</i>	nastavená doba trvání režimu nabíjení při konstantním napětí
<i>DelayDCh</i>	nastavená prodleva mezi vybíjením a nabíjením

Tabulka 1.1: Parametry prováděných cyklických měření vybíjení a nabíjení baterie

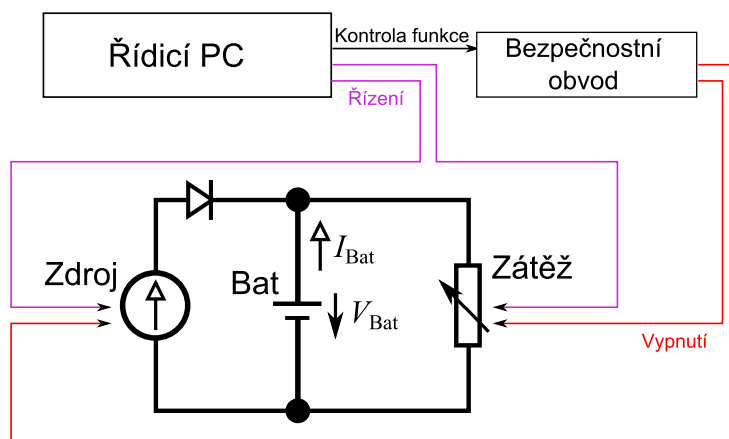
Cyklus od	Cyklus do	Počet cyklů	Vybíjení	Nabíjení	<i>Idis</i> (A)	<i>Ich</i> (A)	<i>Udis</i> (V)	<i>Uch</i> (V)	<i>tCV</i> (h)	<i>Delay DCh</i> (s)
01	01	1	ne	ano	0	8.0	—	4.2	5	60
02	02	1	ano	ano	8	10.0	2.0	4.0	100	18000
03	07	5	ano	ano	8	8.0	2.5	4.1	0	60
08	12	5	ano	ano	15	15.0	2.5	4.1	0	60
13	62	50	ano	ano	15	15.0	2.5	4.1	1	60
63	63	1	ne	ano	0	8.0	—	4.2	5	60
64	64	1	ano	ne	8	0.2	2.0	—	0	60

Prodleva mezi nabíjením a vybíjením byla u všech cyklů přibližně 2 minuty.

1.6 Popis měření

Měření probíhalo za podmínek uvedených v podkapitole 1.5. Byly měřeny časové průběhy napětí na terminálech baterie V_{Bat} pomocí samostatných svorek neovlivněných proudovým okruhem. Byly měřeny časové průběhy proudu baterie I_{Bat} . Dále byly neakreditovaně měřeny časové průběhy teploty okolí T_{Amb} , teploty kladného terminálu T_{TerP} , teploty záporného terminálu T_{TerN} a teplota pouzdra baterie T_{Case} . Měřené teploty byly nejprve porovnány s hodnotou kalibrovaného teploměru. Časové průběhy mají nezávislou proměnnou času definovanou na základě vzorkování měřicí karty NI6036E.

Obrázek 1.1 uvádí schéma zapojení. Měřené signály byly přivedeny do měřicí karty PCMCIA NI6036E instalované v měřicím PC.



Obrázek 1.1: Schéma zapojení měřicího řetězce. Zkoušená položka je označena jako Bat.

Proces zajištění podmínek měření, jakož i sběr dat zajišťoval SW vyvinutý v prostředí LabVIEW. Snímané průběhy byly uloženy v elektronické podobě v datových souborech s příponou .txt ve formátu csv, kde oddělovacím znakem je středník. Tyto datové soubory jsou přímým výstupem měřicího software a je možné je opětovně zobrazit a analyzovat.

Pro vyhodnocení teplot bylo použito vynechání sousedních hodnot teploty, které se lišily o více než 2 °C a následné průměrování klouzavým průměrem s délkou okna 5 minut. Teplota nebyla měřena během prodlev mezi nabíjením a vybíjením, kdy probíhala inicializace přístrojů.

Obrázek 1.2 ukazuje fotografii měřicího řetězce. Zkoušená položka má zelené víko a je nalevo od středu fotografie. Za zkoušenou položku je oběhový termostat (lázeň), který nebyl při měření použit, vpravo od zkoušené položky je programovatelný zdroj a programovatelná zátěž.



Obrázek 1.2: Fotografie zkoušené položky.



1.7 Prohlášení o vyjádření o nejistotách

Rozšířená nejistota měření je stanovena v souladu s metodikou pro určování nejistot MET2006/3. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.

Společná rozšířená hodnota nejistoty měření napětí je 1.3 mV.

Společná rozšířená hodnota nejistoty měření proudu je 0.09 A.

1.8 Vyhodnocované charakteristické hodnoty baterie

V rámci interpretace výsledků zkoušek jsou v jednotlivých odstavcích zkušebního protokolu vyhodnoceny následující charakteristické hodnoty baterie:

- Náboj vybíjení, neboli kapacita C_{vyb} podle vztahu

$$C_{vyb} = \sum_{i=1}^{n-1} |I_{vyb_i}| \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Energie vybíjení W_{vyb} podle vztahu

$$W_{vyb} = \sum_{i=1}^{n-1} |I_{vyb_i}| \cdot U_{vyb_i} \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Částečný náboj vybíjení, neboli částečná kapacita C_{vybU} pro uvažování vybíjení od začátku pouze do okamžiku dosažení hodnoty napětí U (V) podle vztahu

$$C_{vybU} = \sum_{i=1}^{n(U)-1} |I_{vyb_i}| \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Částečná energie vybíjení W_{vybU} podle vztahu

$$W_{vybU} = \sum_{i=1}^{n(U)-1} |I_{vyb_i}| \cdot U_{vyb_i} \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Náboj nabíjení C_{nab} podle vztahu

$$C_{nab} = \sum_{i=1}^{n-1} |I_{nab_i}| \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Energie nabíjení W_{nab} podle vztahu

$$W_{nab} = \sum_{i=1}^{n-1} |I_{nab_i}| \cdot U_{nab_i} \cdot (t_{i+1} - t_i)$$



Ve výše uvedených definičních vztazích je:

I_{vyb}	měřený vybíjecí proud
U_{vyb}	měřené napětí při vybíjení
I_{nab}	měřený nabíjecí proud
U_{nab}	měřené napětí při nabíjení
i	index vzorku v datovém souboru
n	počet vzorků v datovém souboru
$n(U)$	počet vzorků v datovém souboru do okamžiku dosažení napětí U
t	čas

Společná rozšířená hodnota nejistoty náboje vybíjení (kapacity) je 1.5 Ah.

Společná rozšířená hodnota nejistoty energie vybíjení je 5.3 Wh.

Společná rozšířená hodnota nejistoty náboje nabíjení (kapacity) je 1.7 Ah.

Společná rozšířená hodnota nejistoty energie nabíjení je 7.0 Wh.

Společná rozšířená hodnota nejistoty rozdílu nábojů je 1.7 Ah.

Společná rozšířená hodnota nejistoty rozdílu energií je 7.0 Wh.



Kapitola 2

Výsledky zkoušky

Členění kapitol odpovídá pořadí zkoušek dle podmínek uvedených v odstavci 1.5. Pro jednotlivé zkoušky jsou uvedeny postupně podmínky zkoušky, výsledky zkoušky a interpretace výsledků zkoušky. Vztahy použité pro interpretaci výsledků zkoušek jsou uvedeny souhrnně v kapitole 1.8.

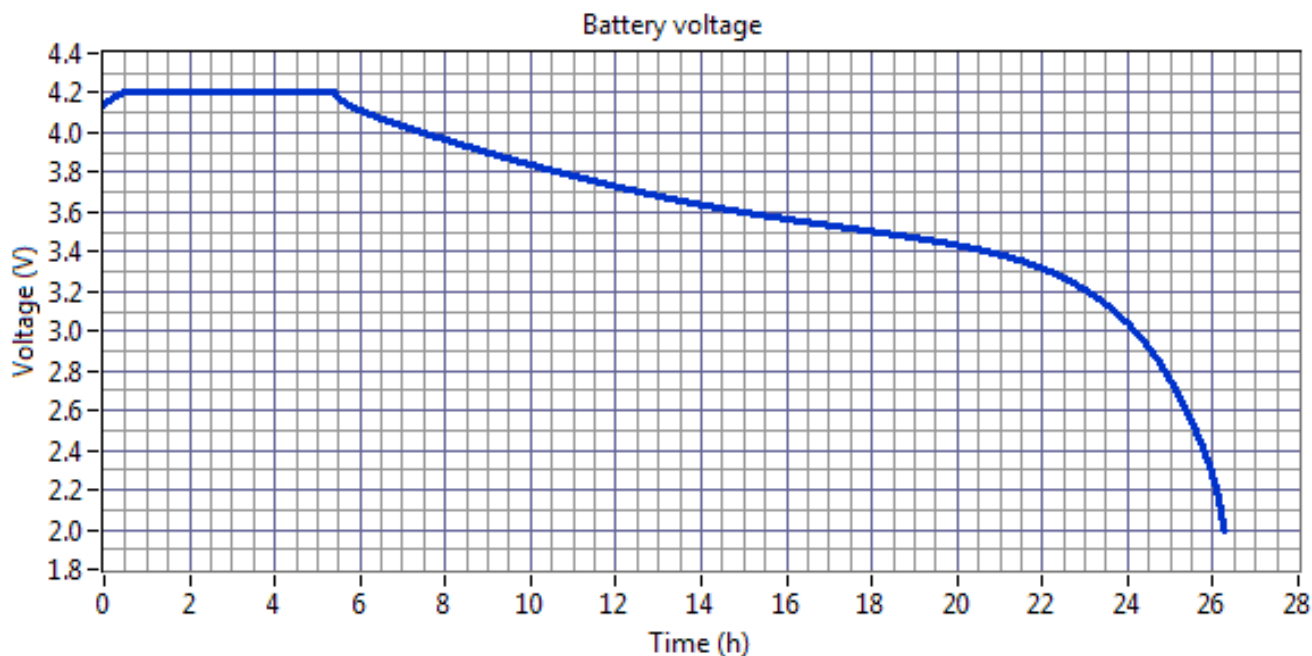
2.1 Ověření deklarované kapacity a určení využitelnosti této kapacity baterie v rozmezí od 4.2 V do 2.0 V

2.1.1 Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A až do napětí 2 V

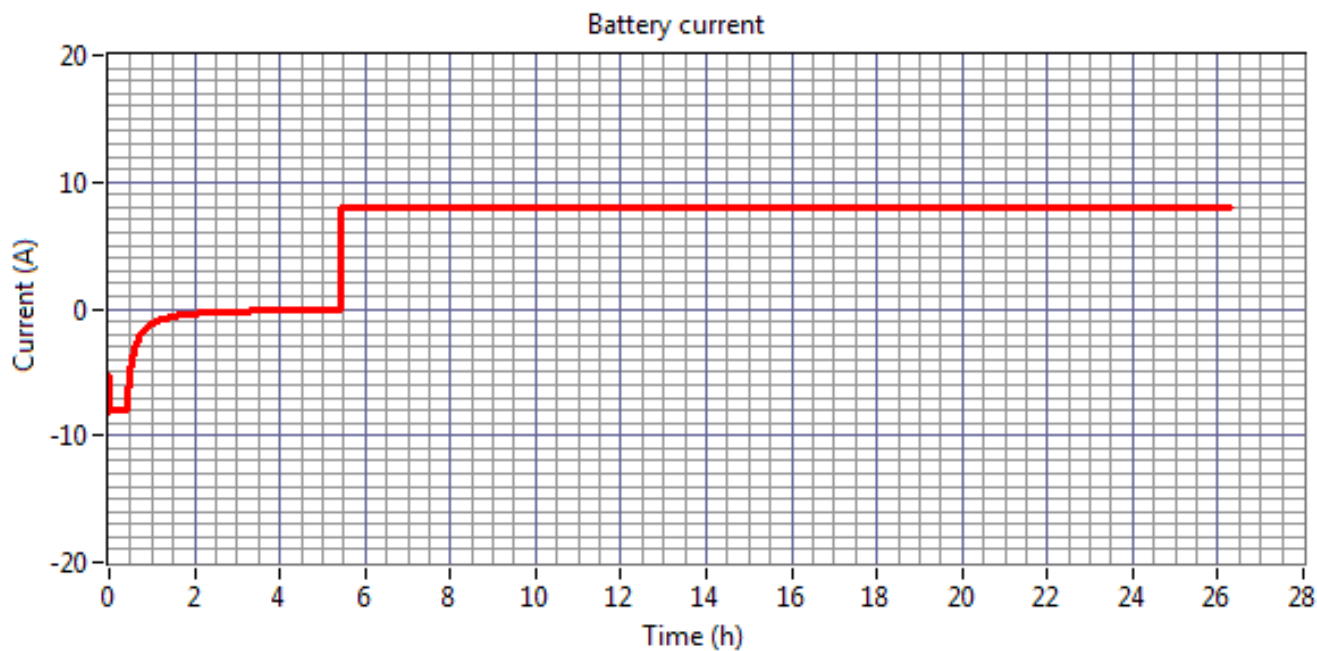
Podmínky zkoušky

- Nabití baterie proudem 8 A do napětí 4.2 V,
- pauza délky přibližně 2 minut,
- vybití baterie proudem 8 A do napětí 2 V.

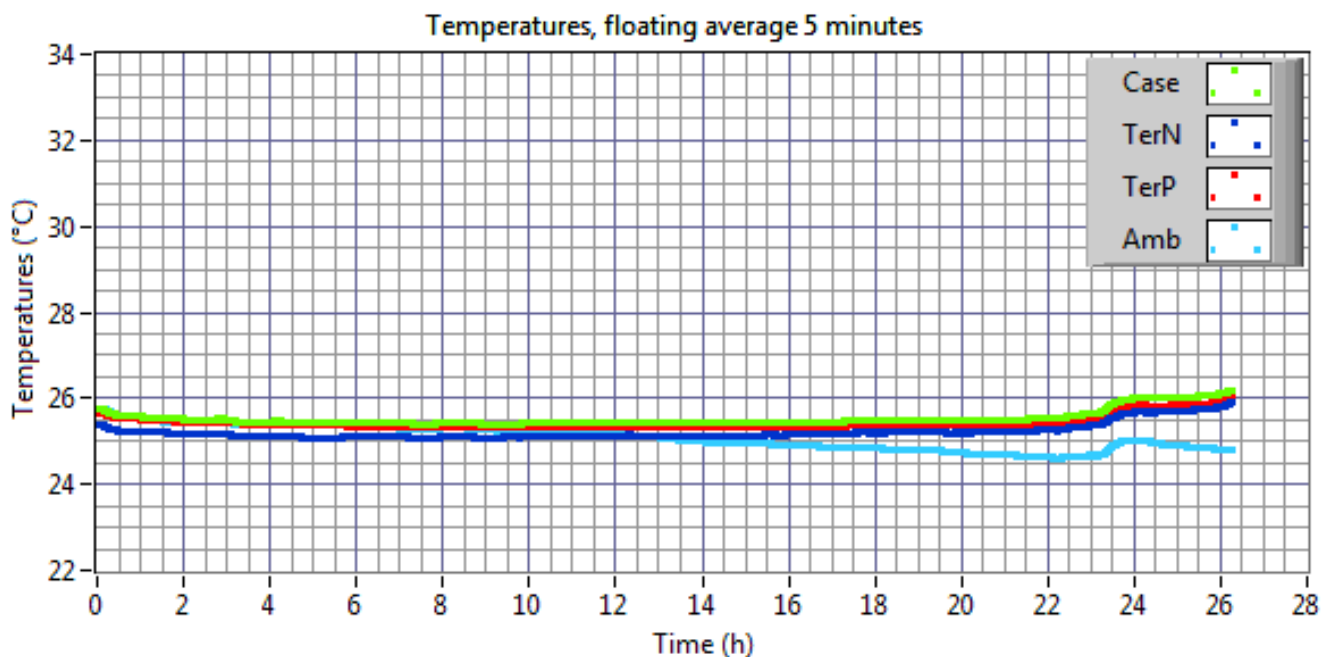
Výsledky zkoušky



Obrázek 2.1: Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh napětí.



Obrázek 2.2: Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.3: Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh teplot*.

Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.1: Vyhodnocené hodnoty náboje nabíjení, kapacit a dílčích kapacit baterie.

C_{nab} (Ah)	C_{vyb} (Ah)	$C_{vyb2.5V}$ (Ah)	C_{vyb3V} (Ah)	$C_{vyb3.5V}$ (Ah)	C_{vyb4V} (Ah)
6.3	166.6	161.3	150.0	101.1	16.3

Tabulka 2.2: Vyhodnocené hodnoty energií baterie.

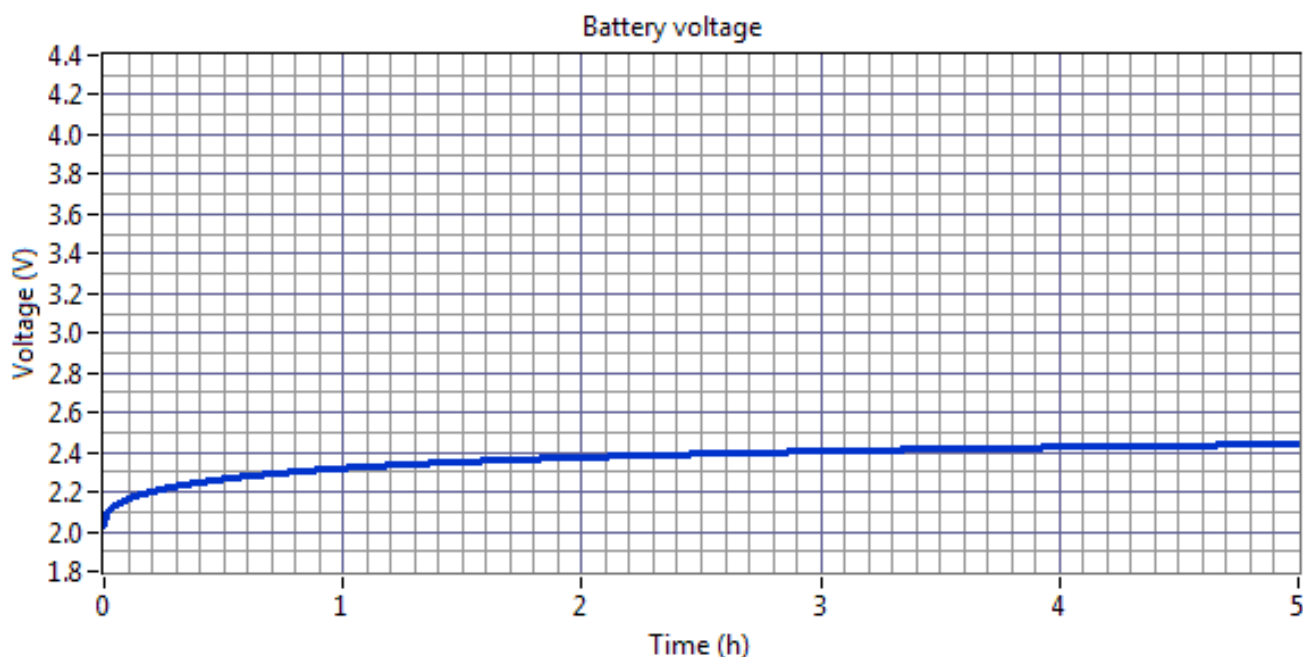
W_{nab} (Wh)	W_{vyb} (Wh)	$W_{vyb2.5V}$ (Wh)	W_{vyb3V} (Wh)	$W_{vyb3.5V}$ (Wh)	W_{vyb4V} (Wh)
26.3	588.1	575.9	544.4	381.3	66.4

2.1.2 Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin

Podmínky zkoušky

Ustálení napětí ve vybitém stavu začalo bezprostředně po skončení vybíjení baterie do 2 V dle předcházejícího odstavce 2.1.1 a trvalo po dobu 5 hodin.

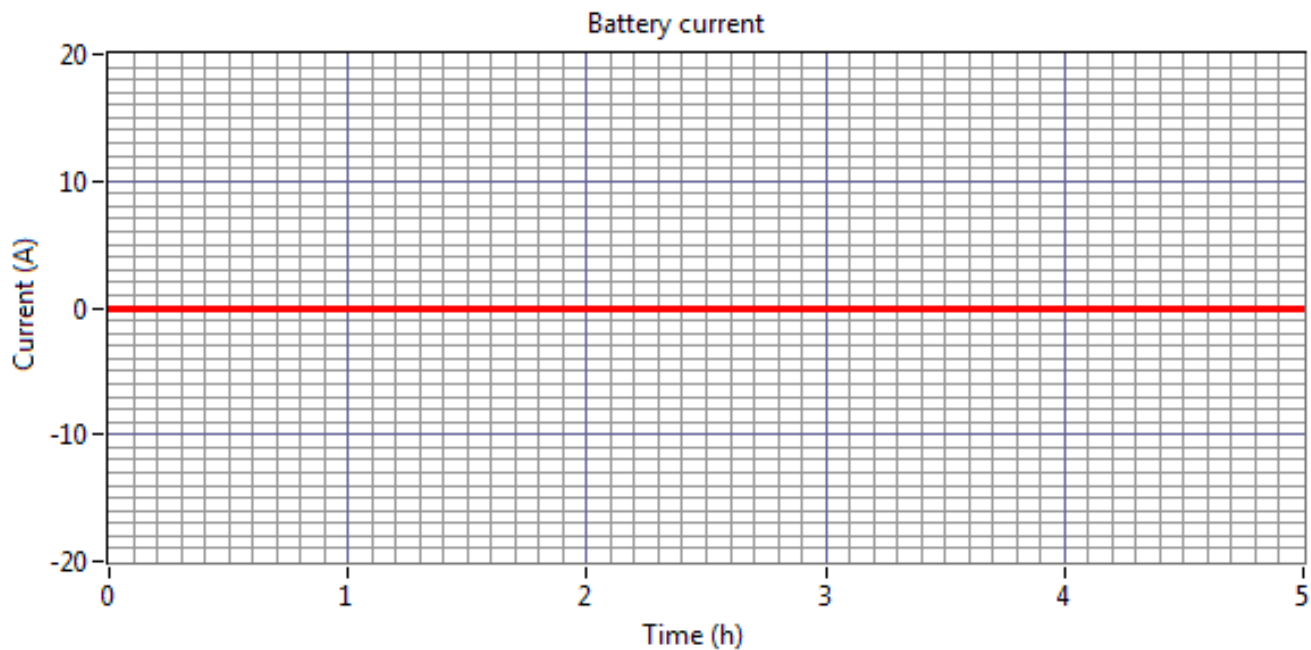
Výsledky zkoušky



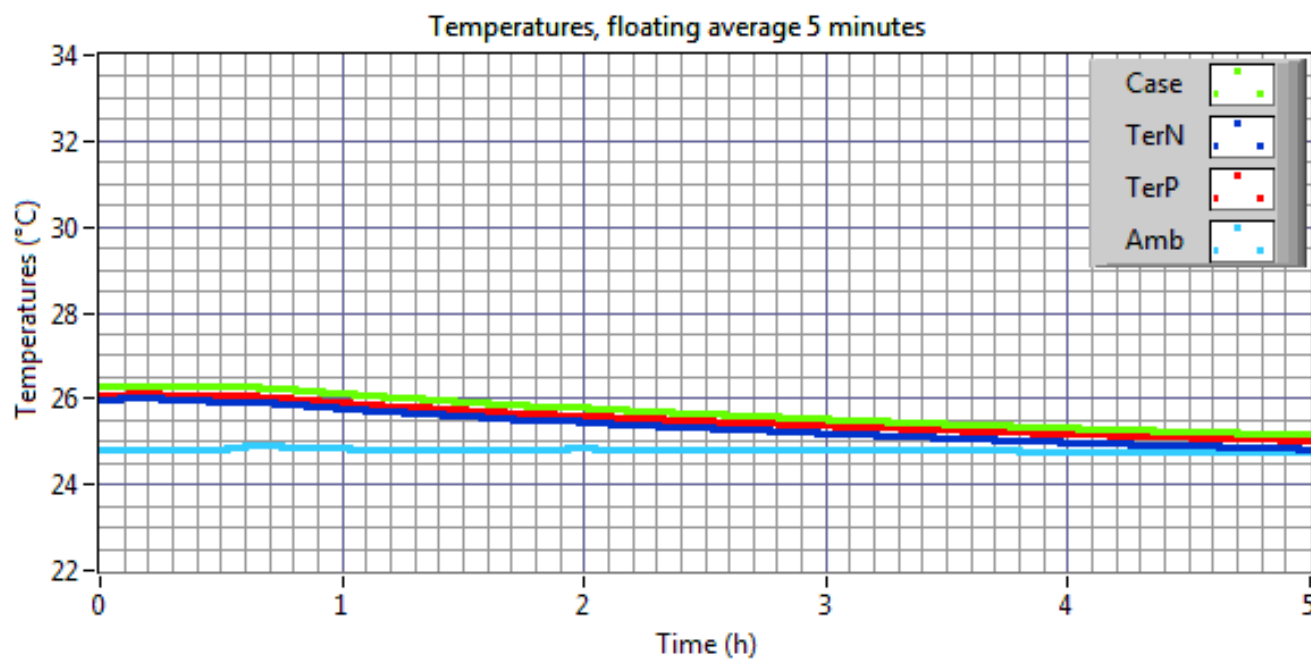
Obrázek 2.4: Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh napětí.

Tabulka 2.3: Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: vybrané hodnoty změřeného napětí U_{bat} po čase ustálení t_{ust} .

t_{ust} (h)	0	1	2	3	4	5
U_{bat} (V)	2.0280	2.3195	2.3742	2.4049	2.4256	2.4403



Obrázek 2.5: Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.6: Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh teplot*.

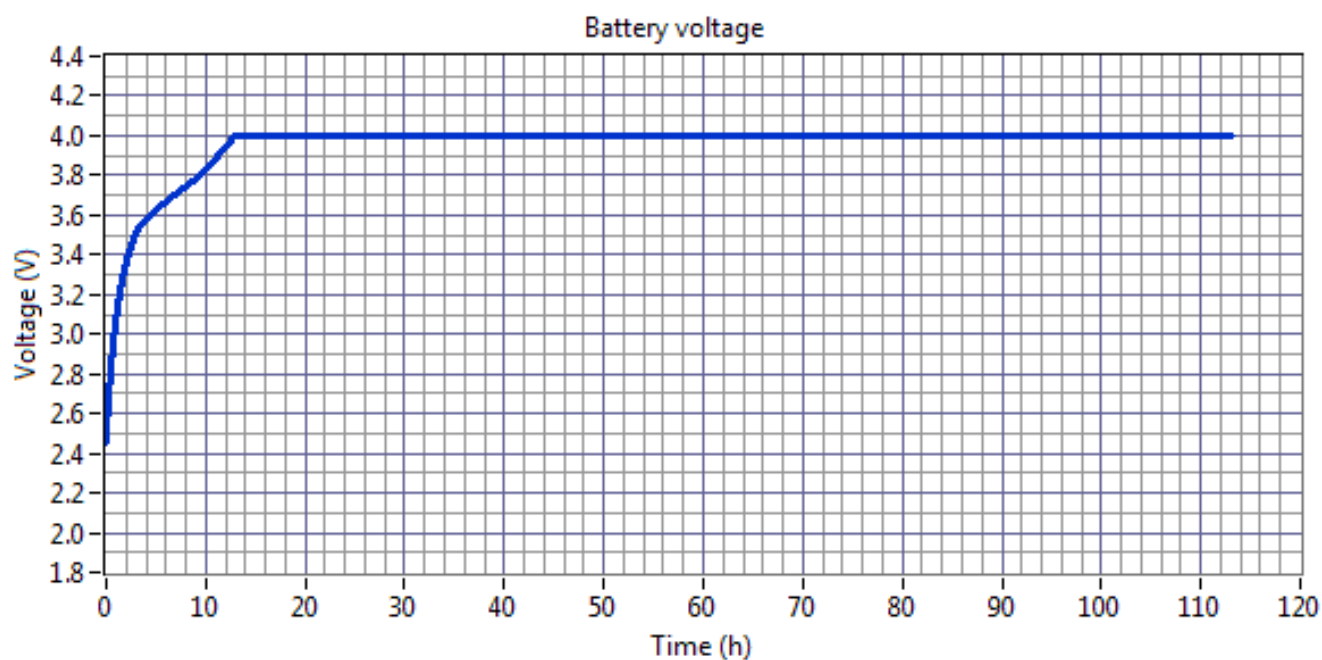
2.2 Test stability baterie v pohotovostním (stand by) stavu pod napětím 4.0 V

2.2.1 Nabití baterie proudem 10 A do 4.0 V a podržení při tomto napětí po dobu 100 hodin

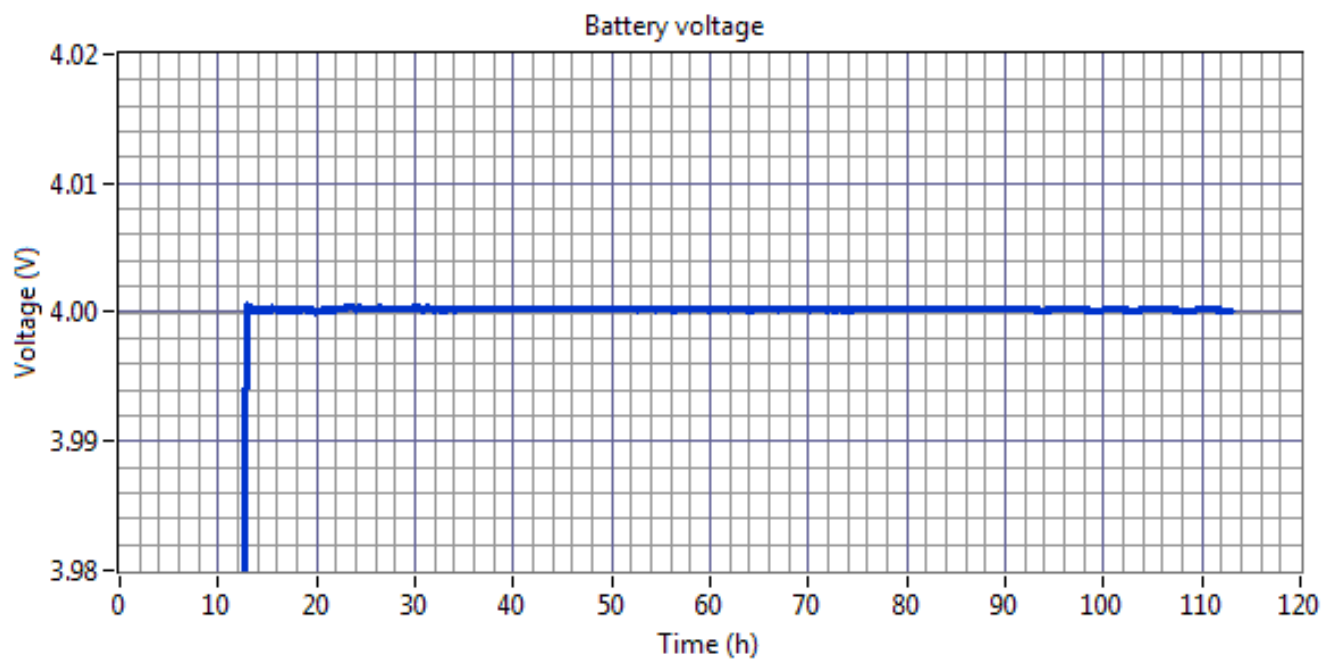
Podmínky zkoušky

Proběhlo nabíjení baterie proudem 10 A do 4.0 V a podržení při tomto napětí po dobu 100 hodin.

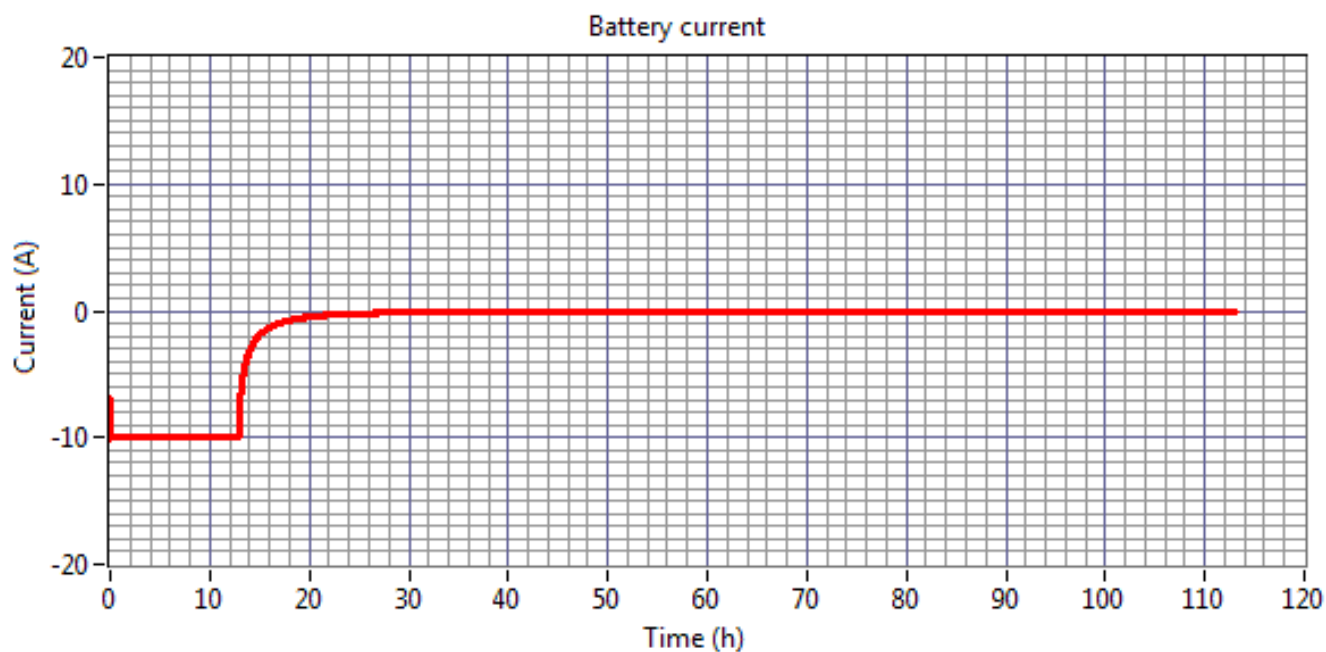
Výsledky zkoušky



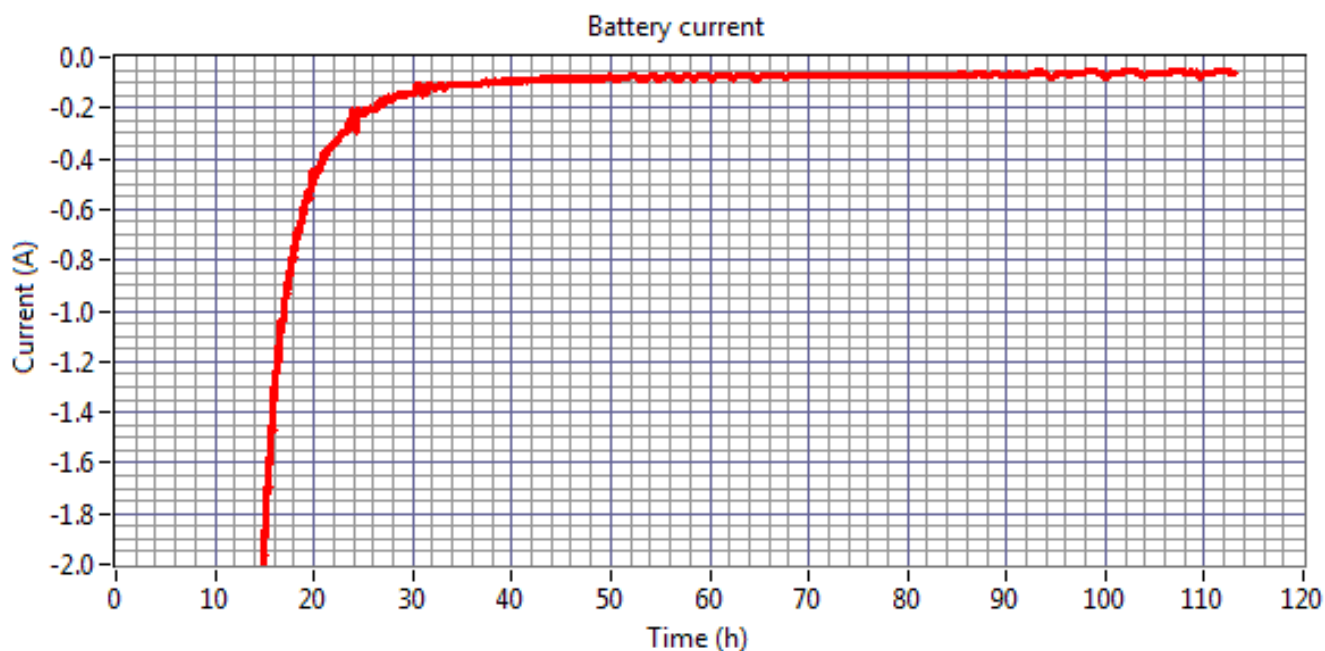
Obrázek 2.7: Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh napětí.



Obrázek 2.8: Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh napětí-výřez.



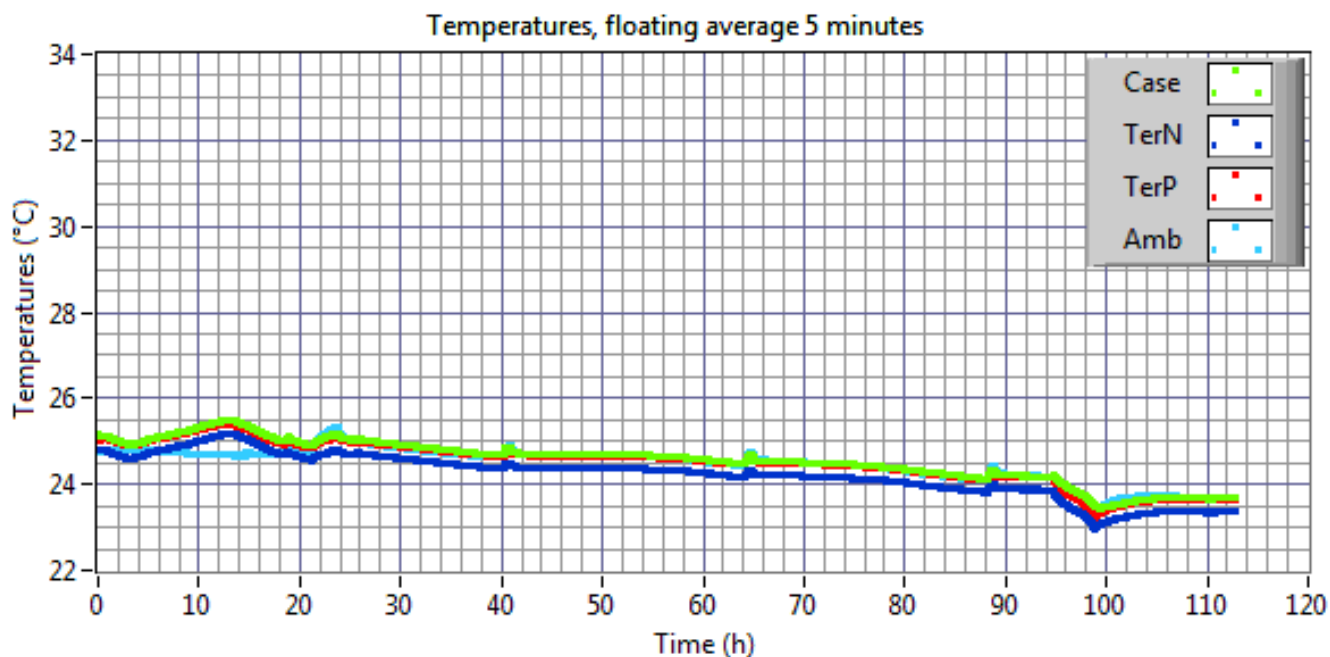
Obrázek 2.9: Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.10: Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh proudu - výřez..

Tabulka 2.4: Ustálení proudu článku v režimu nabíjení CV: vybrané hodnoty změřeného proudu I_{bat} během doby trvání režimu nabíjení při konstantním napětí t_{CV} .

t_{CV} (h)	0	0.5	1	2	5	10	20	50	100
I_{bat} (A)	10.00	4.90	3.39	1.95	0.77	0.30	0.11	0.07	0.06



Obrázek 2.11: Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh teplot*.

2.3 Cyklická stabilita

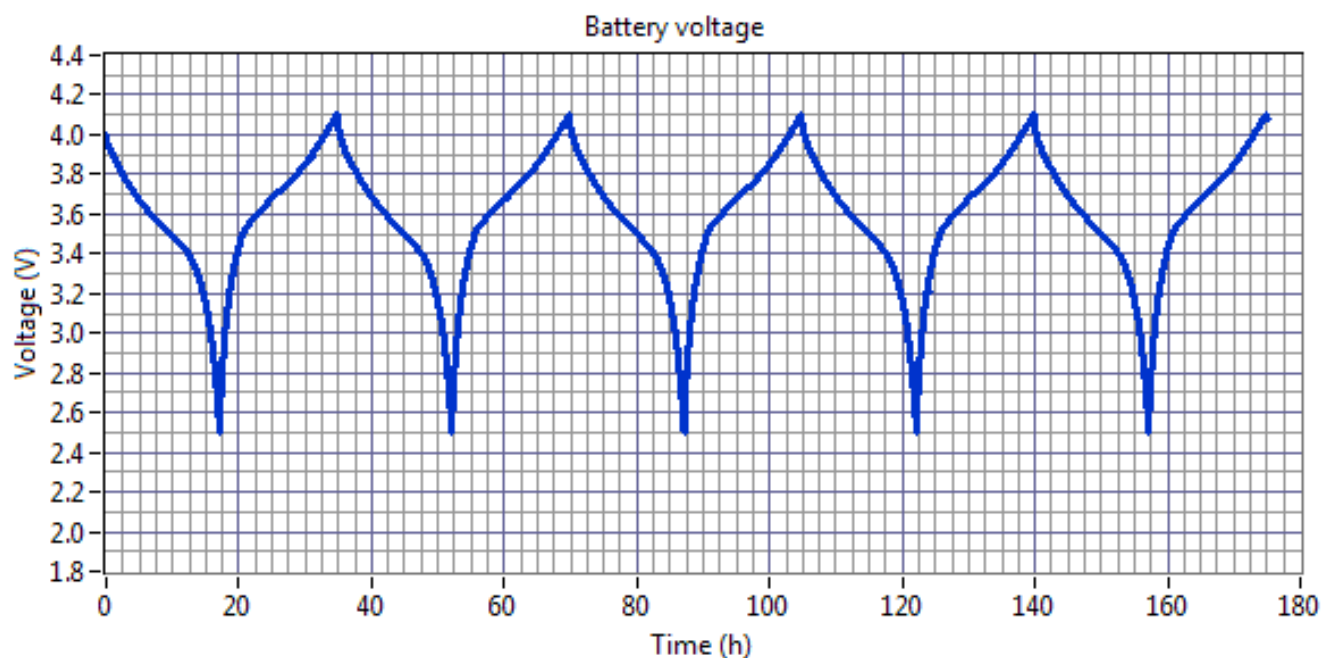
2.3.1 Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V

Podmínky zkoušky

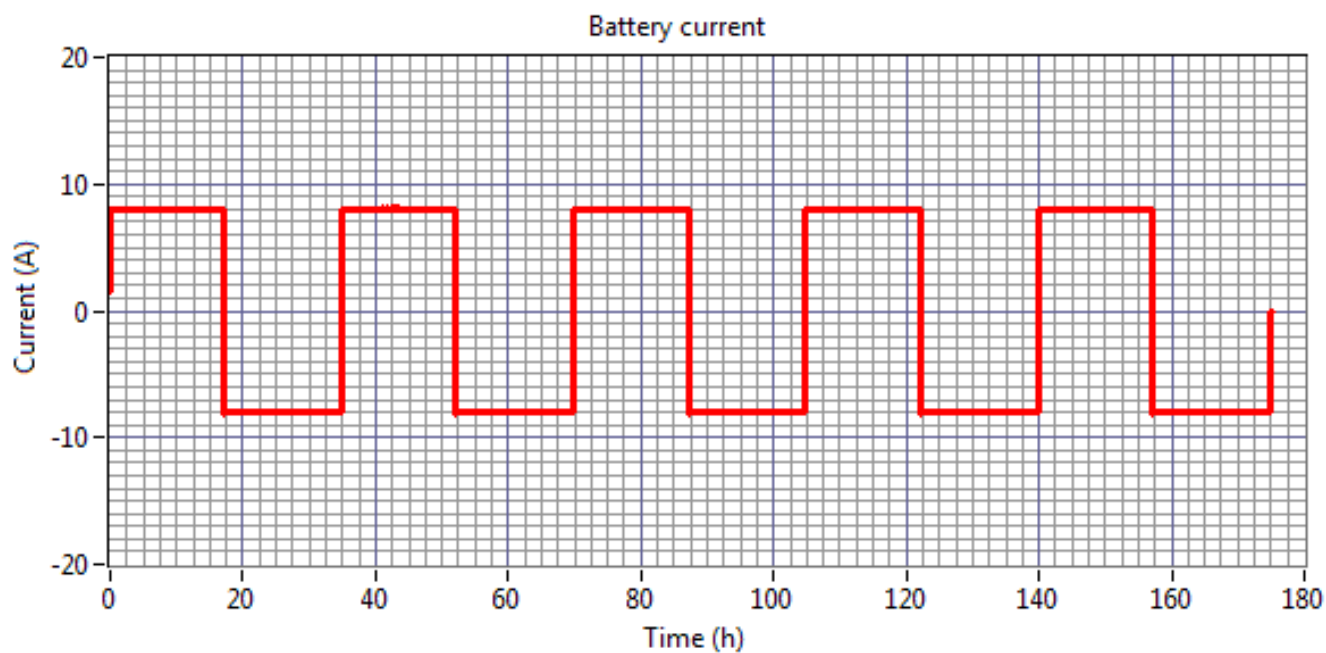
Provedení 5 cyklů sestávajících z

- vybití baterie proudem 8 A do napětí 2.5 V,
- pauzy délky přibližně 1 minuty,
- nabití baterie proudem 8 A do napětí 4.1 V a
- pauzy délky přibližně 2 minut.

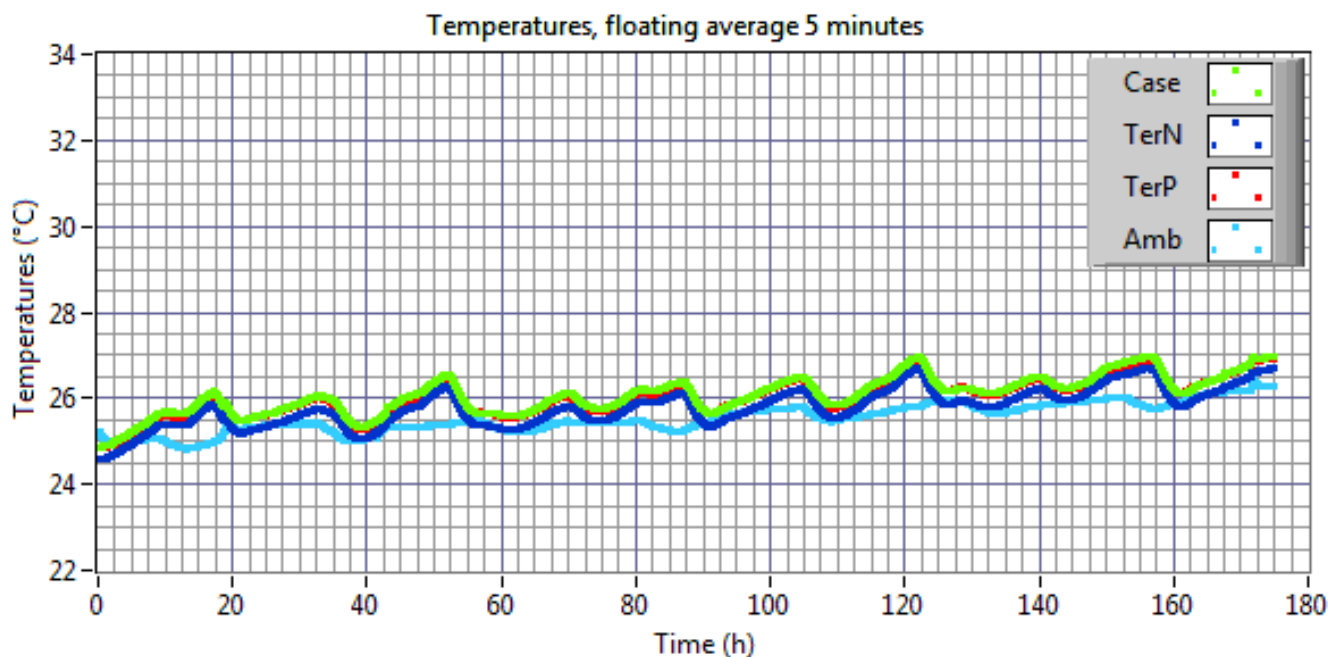
Výsledky zkoušky



Obrázek 2.12: Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh napětí.



Obrázek 2.13: Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.14: Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh teplot*.

Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.5: Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.

Pořadí cyklu	1	2	3	4	5
C_{vyb} (Ah)	136.9	139.4	139.0	138.9	138.7
C_{nab} (Ah)	141.2	141.3	141.2	141.0	141.0
W_{vyb} (Wh)	478.6	490.1	489.0	488.7	488.0
W_{nab} (Wh)	517.9	517.8	517.5	516.7	516.6

2.3.2 Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V

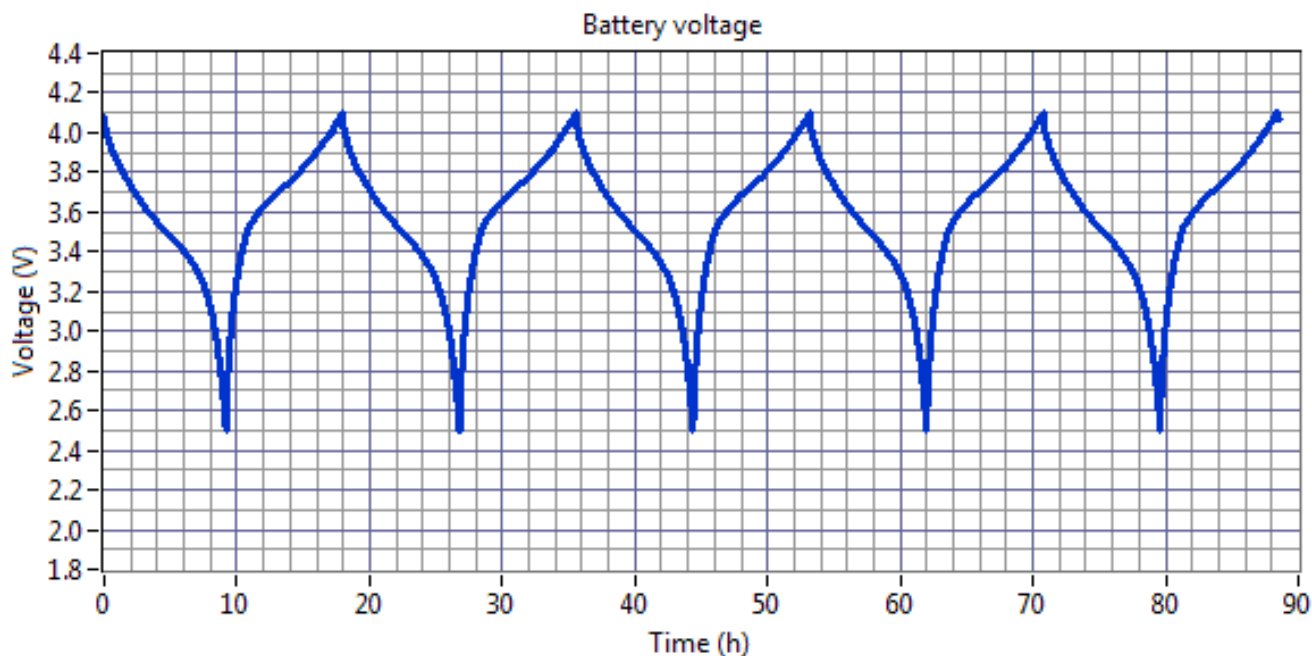
Podmínky zkoušky

Provedení 5 cyklů sestávajících z

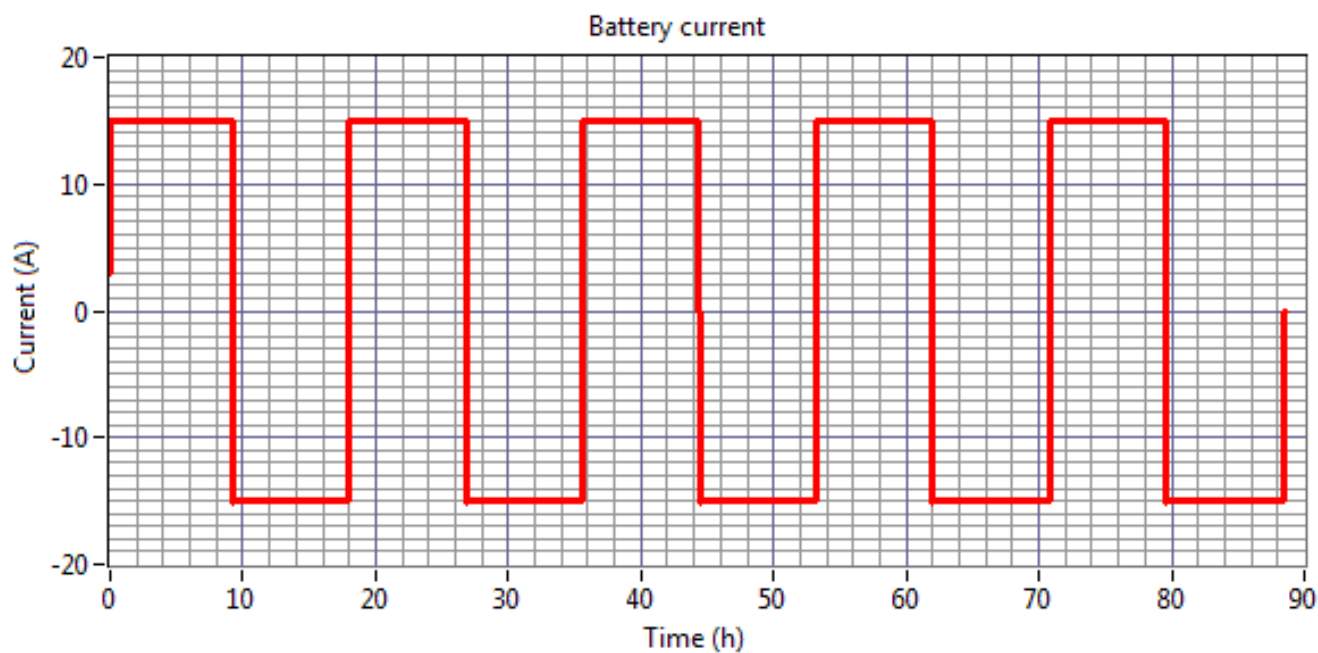
- vybití baterie proudem 15 A do napětí 2.5 V,
- pauzy délky přibližně 1 minuty,
- nabití baterie proudem 15 A do napětí 4.1 V a
- pauzy délky přibližně 2 minut.

U pátého cyklu se vyhodnotí shoda s pátým cyklem předchozího měření podle odstavce 2.3.1.

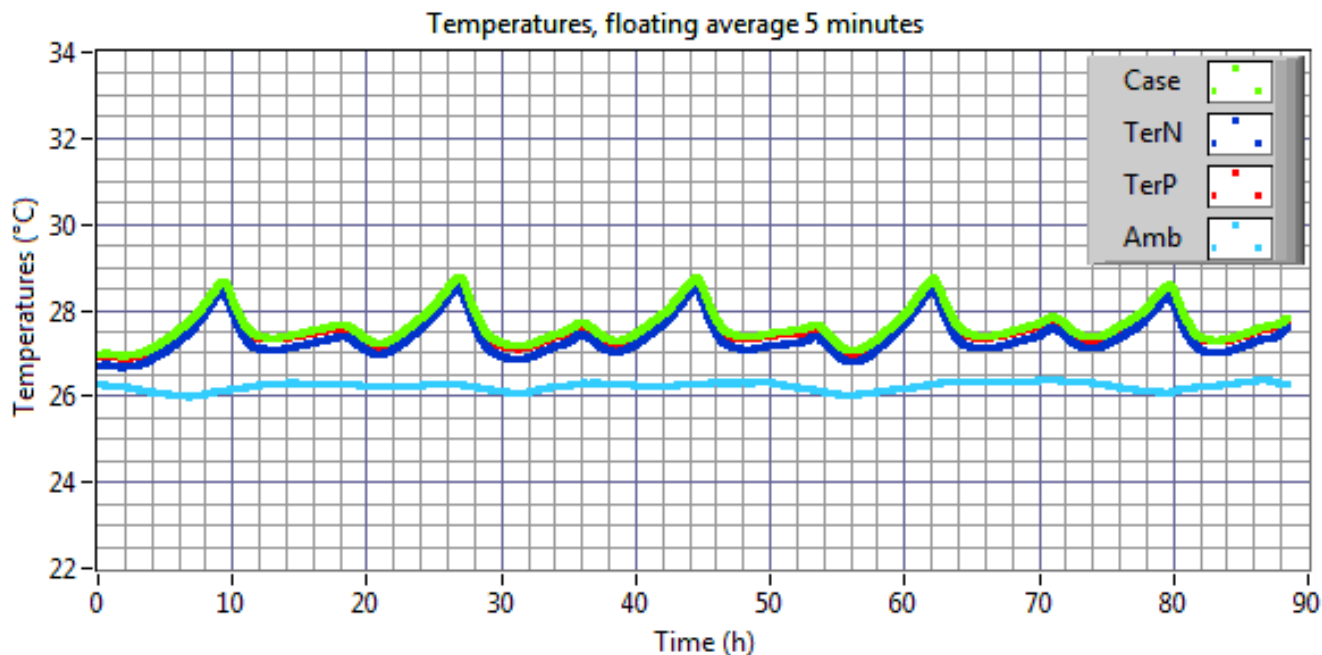
Výsledky zkoušky



Obrázek 2.15: Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh napětí.



Obrázek 2.16: Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.17: Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napětovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh teplot*.

Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.6: Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.

Pořadí cyklu	1	2	3	4	5
C_{vyb} (Ah)	137.2	131.0	130.8	130.8	130.7
C_{nab} (Ah)	132.0	132.1	132.0	131.9	131.9
W_{vyb} (Wh)	477.1	454.6	454.0	453.7	453.6
W_{nab} (Wh)	486.4	486.9	486.6	486.3	486.1

Rozdíl hodnot pátého cyklu při proudech ± 15 A dle odstavce 2.3.2 a hodnot pátého cyklu při proudech ± 8 A dle odstavce 2.3.1:

- $C_{vyb\pm 15A} - C_{vyb\pm 8A} = -8.0$ Ah
- $C_{nab\pm 15A} - C_{nab\pm 8A} = -9.1$ Ah
- $W_{vyb\pm 15A} - W_{vyb\pm 8A} = -34.4$ Wh
- $W_{nab\pm 15A} - W_{nab\pm 8A} = -30.5$ Wh

2.3.3 Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s výdrží 1 hodinu při 4.1 V

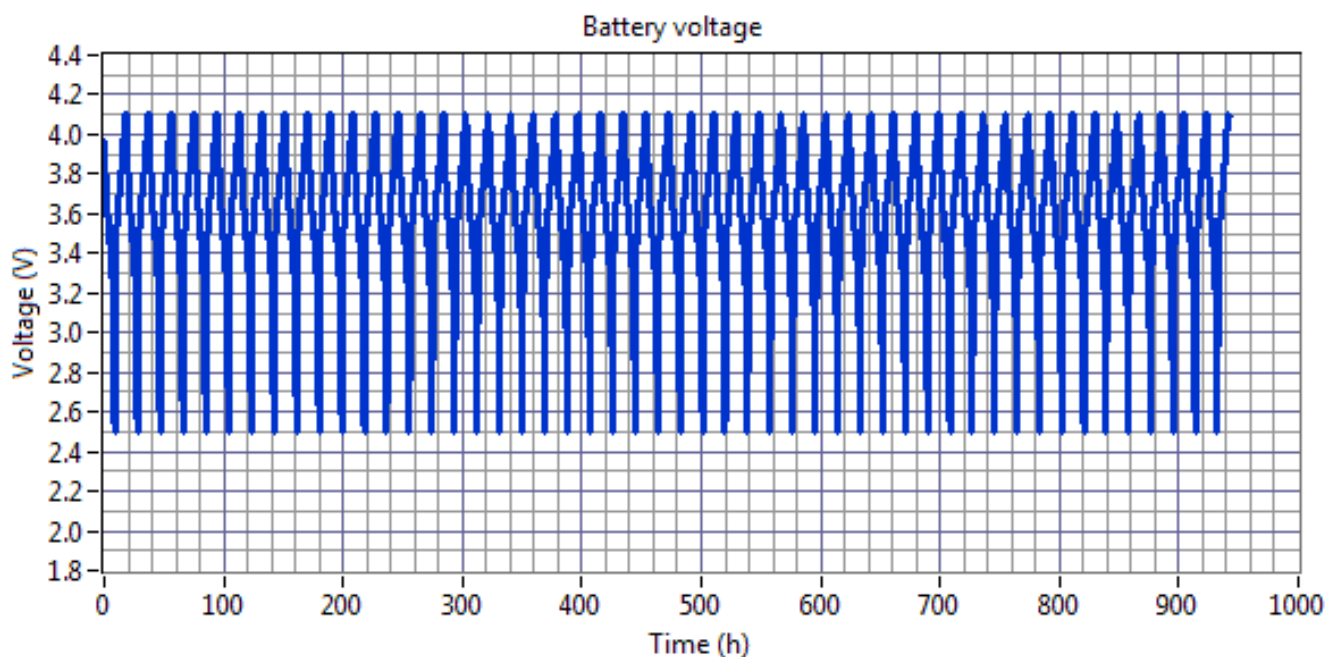
Podmínky zkoušky

Provedení 50 cyklů sestávajících z

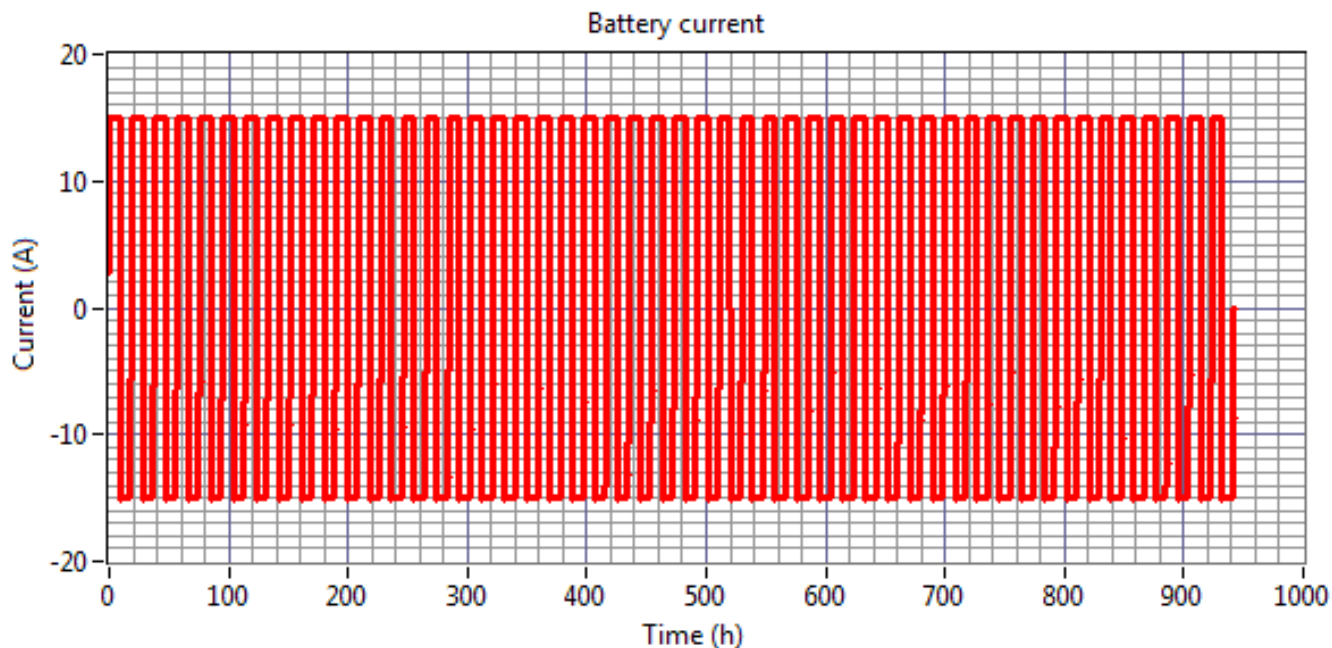
- vybití baterie proudem 15 A do napětí 2.5 V,
- pauzy délky přibližně 1 minuty,
- nabití baterie proudem 15 A do napětí 4.1 V a podržení při tomto napětí po dobu 1 hodiny a
- pauzy délky přibližně 2 minut.

Vyhodnotí se cyklická stabilita baterie z poklesu vybitých kapacit (Ah) a energií (Wh).

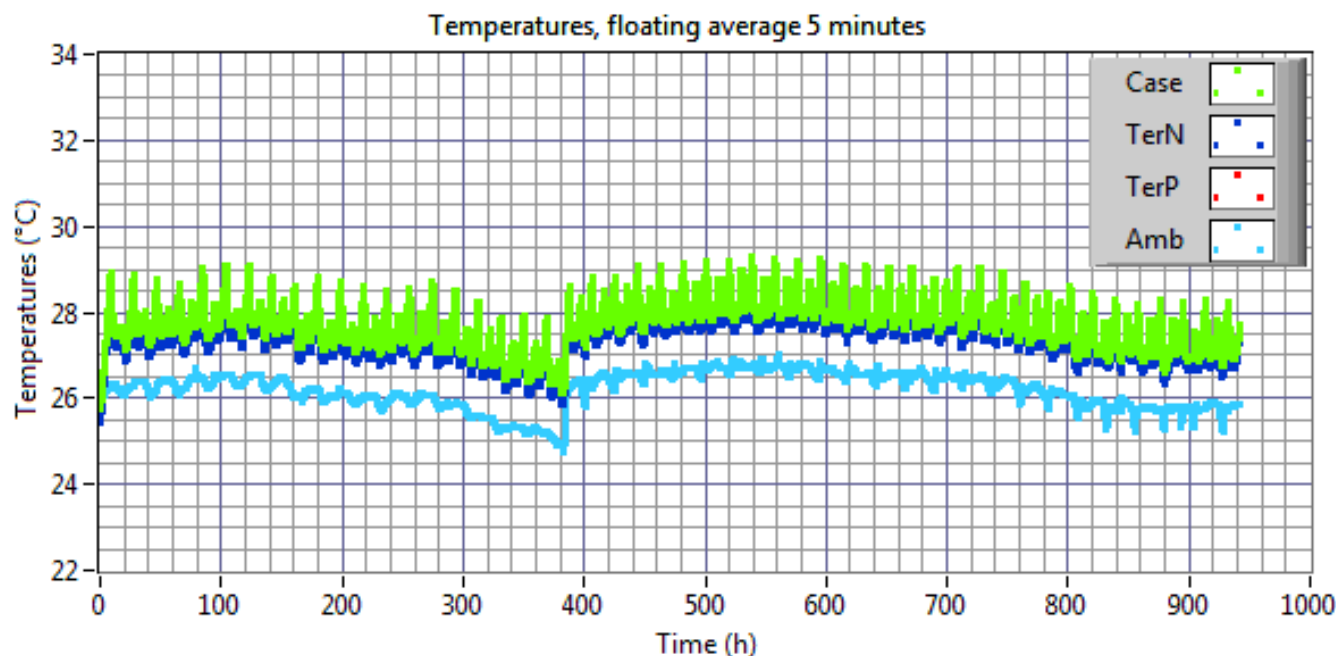
Výsledky zkoušky



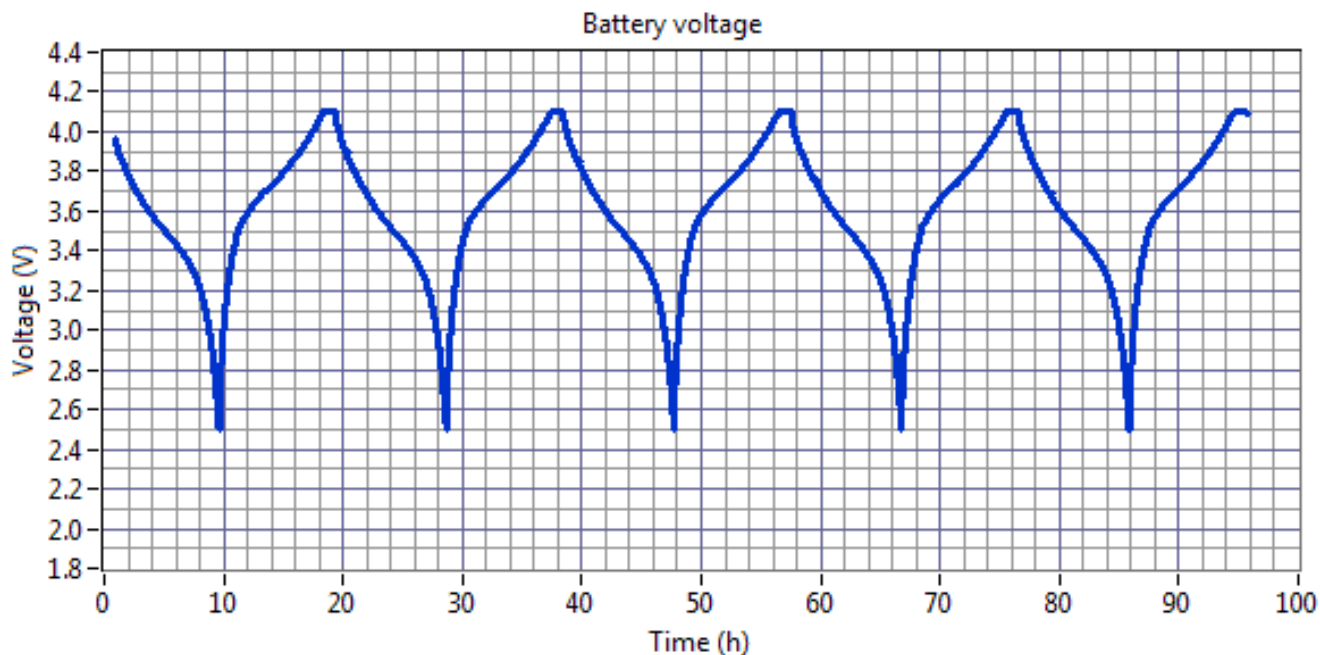
Obrázek 2.18: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh napětí.



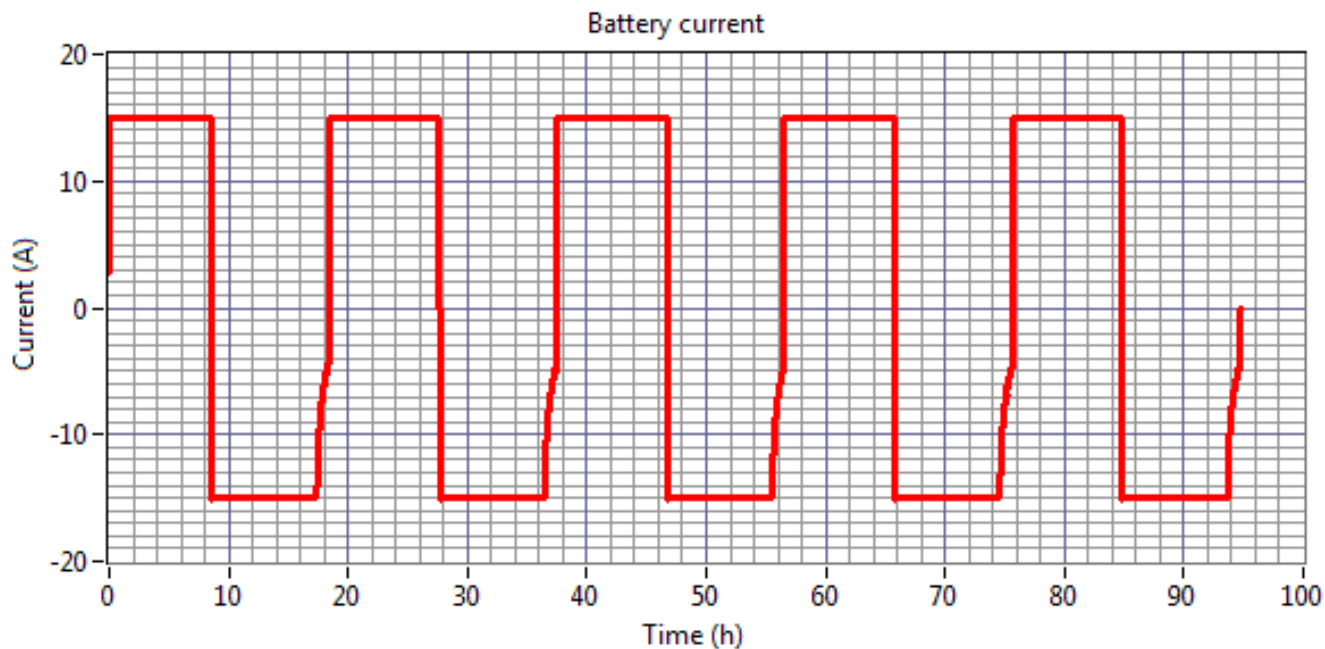
Obrázek 2.19: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh proudu.



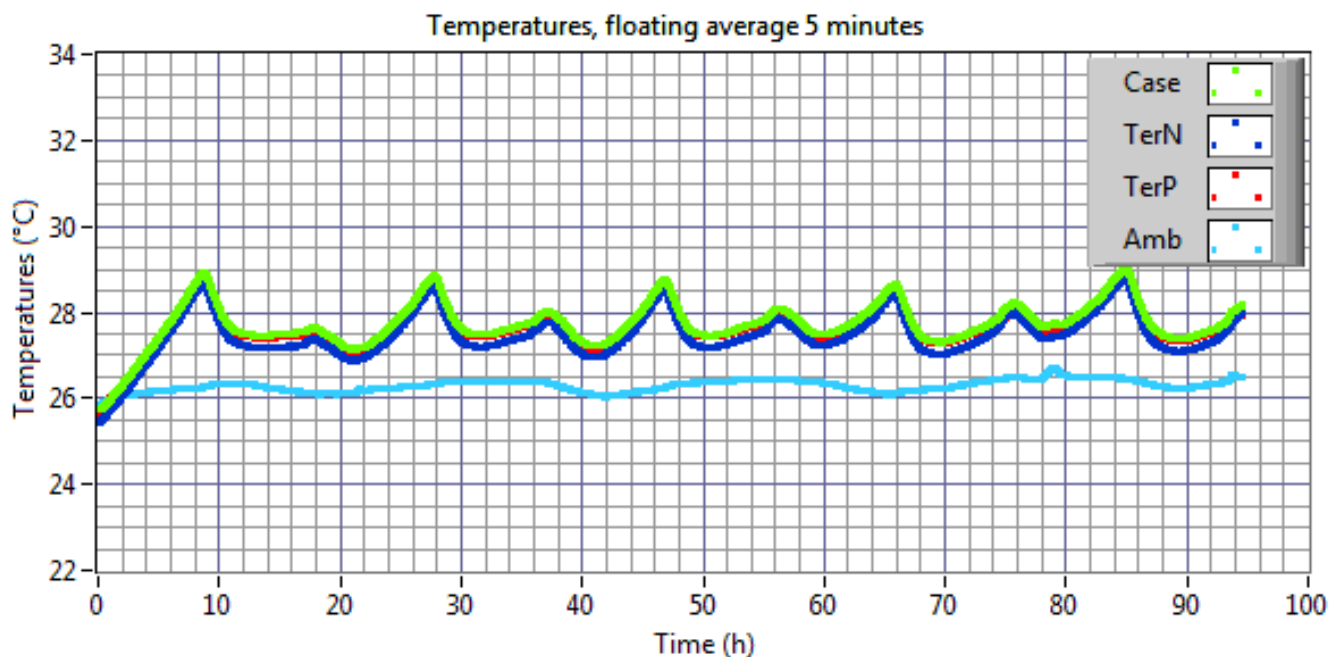
Obrázek 2.20: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh teplot*. V čase cca 385 h je patrný začátek topné sezóny.



Obrázek 2.21: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh napětí - výřez pro prvních 5 cyklů.



Obrázek 2.22: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh proudu - výřez pro prvních 5 cyklů.



Obrázek 2.23: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh teplot - výřez pro prvních 5 cyklů*.

Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.7: Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.

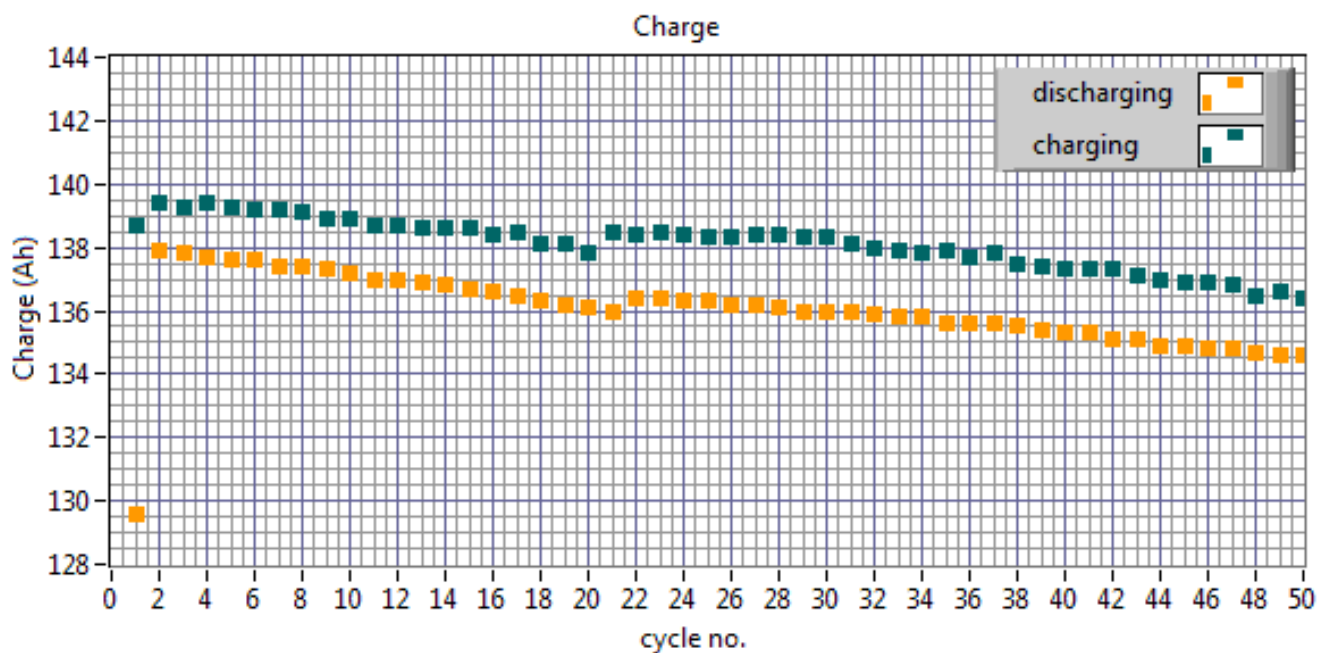
Pořadí cyklu	C_{vyb} (Ah)	C_{nab} (Ah)	W_{vyb} (Wh)	W_{nab} (Wh)
01	129.6	138.7	445.9	514.5
02	137.9	139.4	480.7	516.8
03	137.8	139.3	480.4	516.4
04	137.7	139.4	480.2	516.9
05	137.6	139.3	479.9	516.5
06	137.6	139.2	479.7	516.1
07	137.4	139.2	479.1	515.9
08	137.4	139.1	479.1	515.8
09	137.3	138.9	478.8	515.1
10	137.2	138.9	478.1	514.9
11	137.0	138.7	477.6	514.2
12	137.0	138.7	477.3	514.2
13	136.9	138.6	477.0	514.2
14	136.8	138.6	476.8	514.0
15	136.7	138.6	476.4	513.8
16	136.6	138.4	475.8	513.4
17	136.5	138.5	475.6	513.6
18	136.3	138.1	474.7	512.4
19	136.2	138.1	474.4	512.2



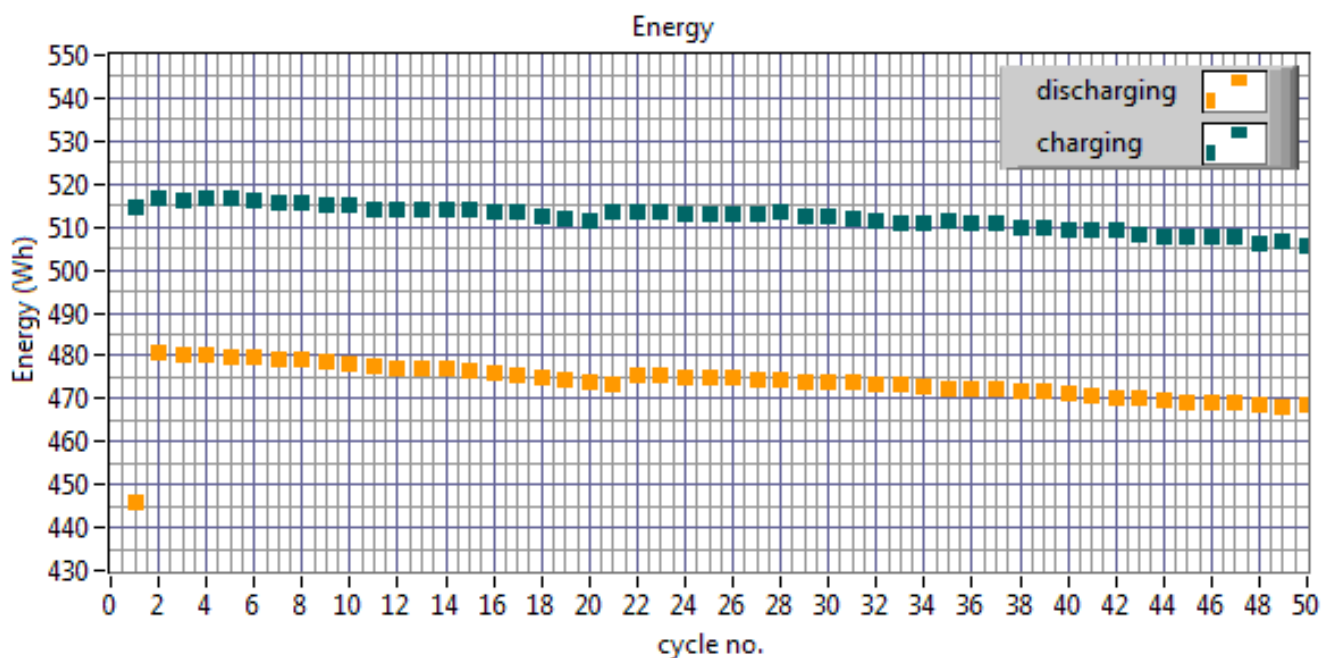
Tabulka 2.7: Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.

Pořadí cyklu	C_{vyb} (Ah)	C_{nab} (Ah)	W_{vyb} (Wh)	W_{nab} (Wh)
20	136.1	137.8	474.0	511.2
21	136.0	138.5	473.4	513.5
22	136.4	138.4	475.3	513.3
23	136.4	138.5	475.3	513.5
24	136.3	138.4	475.0	513.1
25	136.3	138.3	474.9	512.9
26	136.2	138.3	474.7	512.9
27	136.2	138.4	474.6	512.9
28	136.1	138.4	474.4	513.3
29	136.0	138.3	474.0	512.7
30	136.0	138.3	474.0	512.7
31	136.0	138.1	473.8	512.0
32	135.9	138.0	473.6	511.5
33	135.8	137.9	473.2	511.1
34	135.8	137.8	473.0	510.7
35	135.6	137.9	472.3	511.3
36	135.6	137.7	472.5	510.7
37	135.6	137.8	472.2	511.0
38	135.5	137.5	471.9	509.9
39	135.4	137.4	471.5	509.6
40	135.3	137.3	471.1	509.1
41	135.3	137.3	470.9	509.1
42	135.1	137.3	470.4	509.2
43	135.1	137.1	470.2	508.3
44	134.9	137.0	469.5	507.9
45	134.9	136.9	469.3	507.6
46	134.8	136.9	469.0	507.6
47	134.8	136.8	469.0	507.6
48	134.7	136.5	468.6	506.1
49	134.6	136.6	468.3	506.4
50	134.6	136.4	468.4	505.8

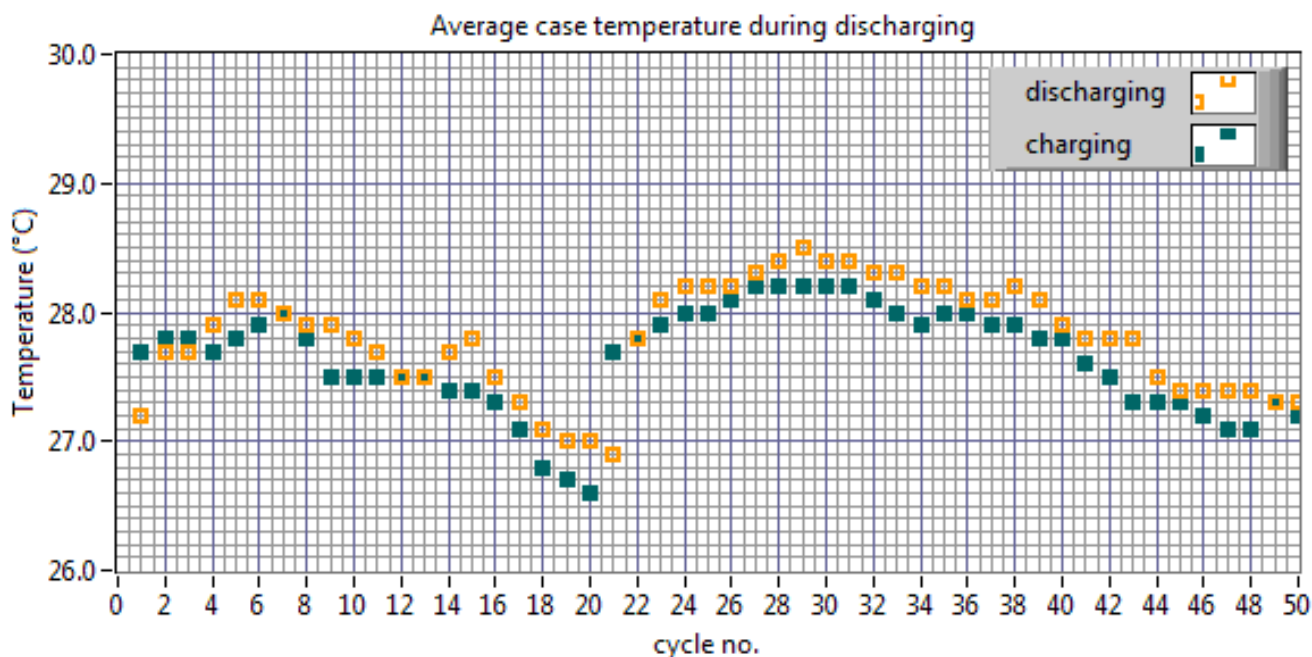
Výsledky uvedené v tabulce 2.7 jsou graficky znázorněny v následujících obrázcích. Ve výsledcích je patrný začátek topné sezóny v průběhu měření, jak je patrné kolem 20. cyklu. Z toho důvodu je uveden také graf průměrné teploty pouzdra. První hodnota náboje a energie vybití je ovlivněna režimem předchozího nabíjení podle odstavce 2.3.2.



Obrázek 2.24: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: vyhodnocené hodnoty náboje při vybíjení (oranžová) a při nabíjení (tmavě zelená).



Obrázek 2.25: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: vyhodnocené hodnoty energie při vybíjení (oranžová) a při nabíjení (tmavě zelená).



Obrázek 2.26: Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: průměrná teplota pouzdra během vybíjení a nabíjení.

Rozdíl hodnot padesátého a druhého cyklu při cyklování proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny:

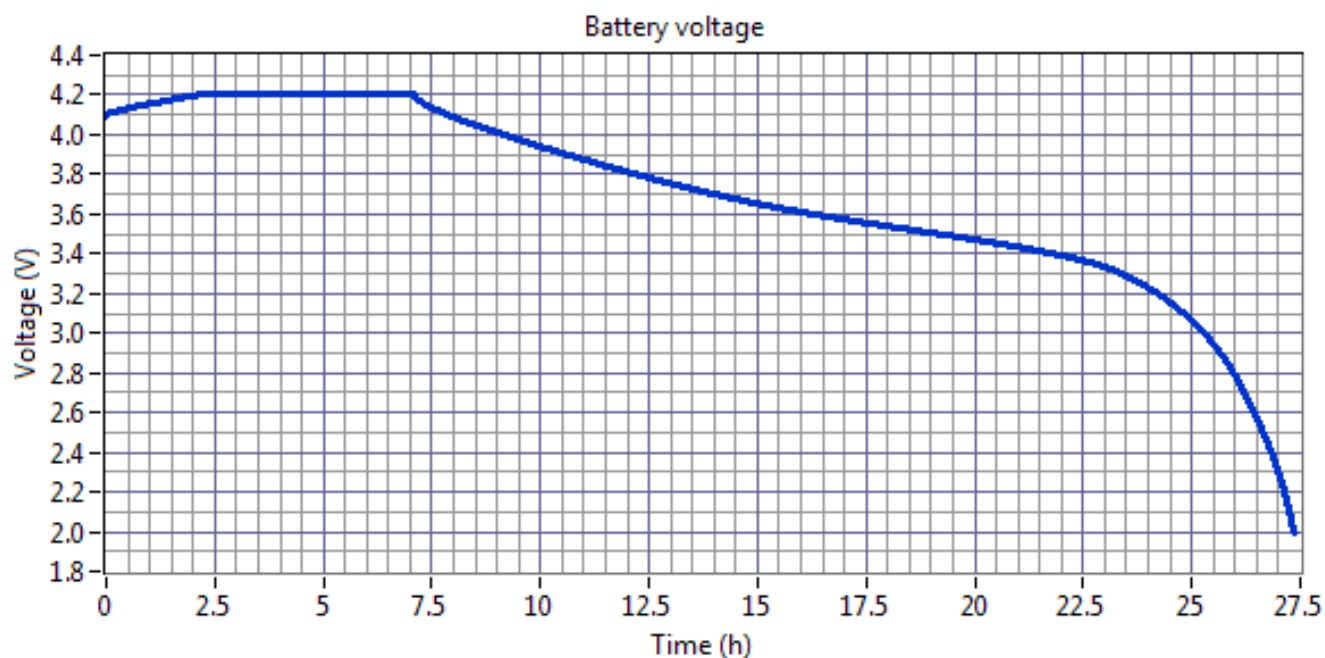
- $C_{vyb_{50. cyklus}} - C_{vyb_{2. cyklus}} = -3.3$ Ah
- $C_{nab_{50. cyklus}} - C_{nab_{2. cyklus}} = -3.0$ Ah
- $W_{vyb_{50. cyklus}} - W_{vyb_{2. cyklus}} = -12.3$ Wh
- $W_{nab_{50. cyklus}} - W_{nab_{2. cyklus}} = -11.0$ Wh

2.3.4 Ověření využitelné kapacity a energie dobitím baterie proudem 8 A do 4.2 V, následným podržením při 4.2 V po dobu 5 hodin a vybitím do 2 V.

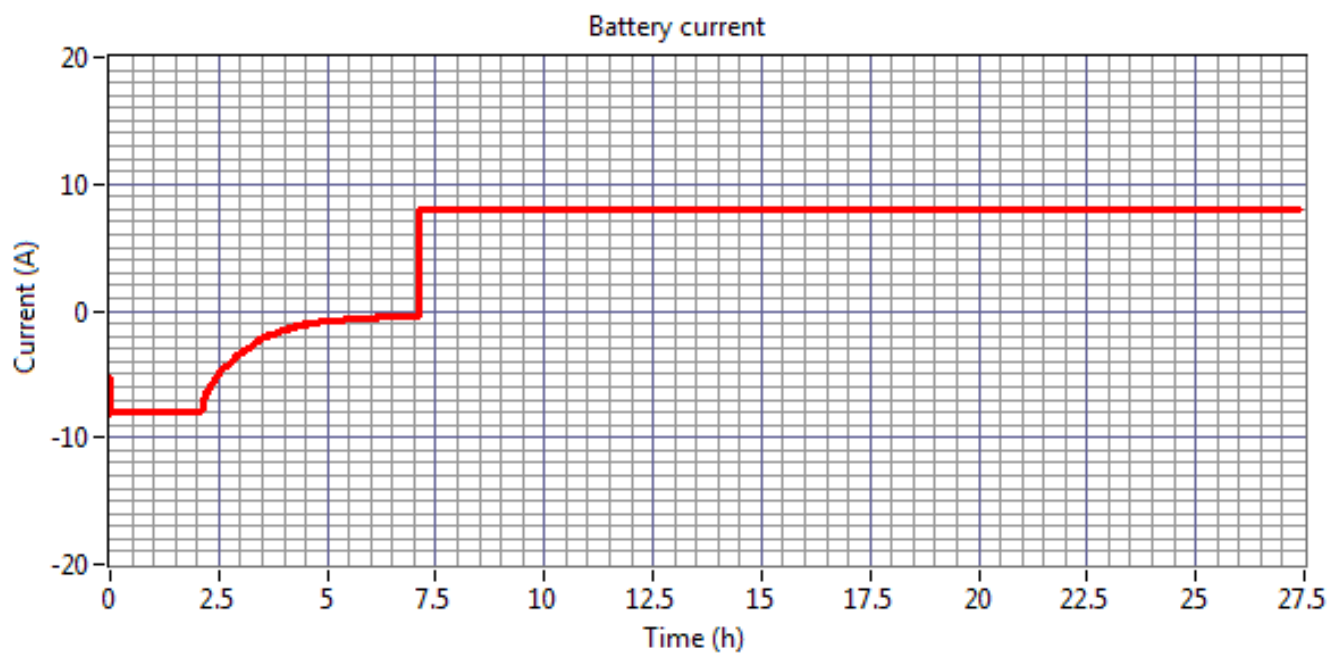
Podmínky zkoušky

- Nabítí baterie proudem 8 A do napětí 4.2 V a podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin.
- Pauza délky přibližně 2 minut.
- Vybití baterie proudem 8 A do napětí 2 V.

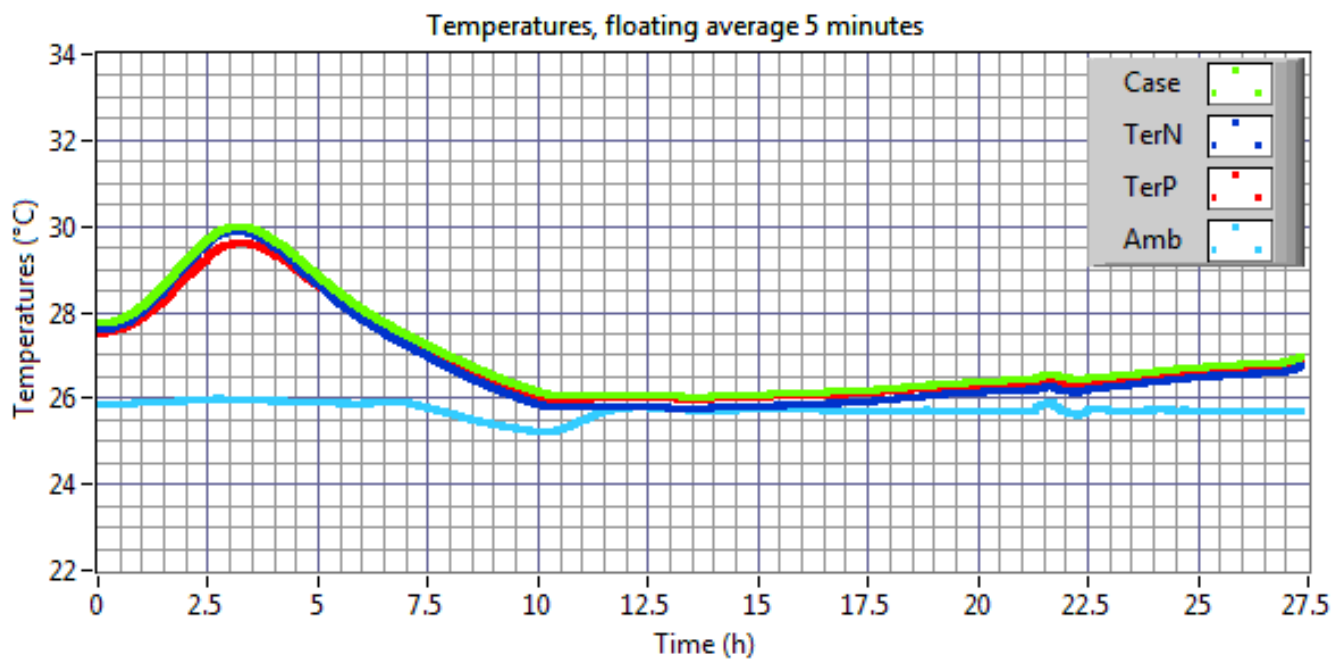
Výsledky zkoušky



Obrázek 2.27: Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh napětí.



Obrázek 2.28: Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh proudu.



Obrázek 2.29: Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh teplot*.



Interpretace výsledků zkoušky

Tabulky 2.8 resp. 2.9 uvádějí náboje resp. energii během zkoušky dle tohoto odst. 2.3.4.

Tabulka 2.8: Vyhodnocené hodnoty náboje nabíjení, kapacit a dílčích kapacit baterie.

C_{nab} (Ah)	C_{vyb} (Ah)	$C_{vyb2.5V}$ (Ah)	C_{vyb3V} (Ah)	$C_{vyb3.5V}$ (Ah)	C_{vyb4V} (Ah)
26.0	161.4	155.9	145.0	96.1	16.0

Tabulka 2.9: Vyhodnocené hodnoty energií baterie.

W_{nab} (Wh)	W_{vyb} (Wh)	$W_{vyb2.5V}$ (Wh)	W_{vyb3V} (Wh)	$W_{vyb3.5V}$ (Wh)	W_{vyb4V} (Wh)
108.3	569.1	556.3	526.1	362.8	65.4

Následující tabulky 2.10 resp. 2.11 uvádějí rozdíl náboje resp. energie vybíjení během poslední zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst. 2.3.4 a během první zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst 2.1.1.

Tabulka 2.10: Vyhodnocené hodnoty rozdílů kapacit a dílčích kapacit baterie během poslední zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst. 2.3.4 a během první zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst 2.1.1.

ΔC_{vyb} (Ah)	$\Delta C_{vyb2.5V}$ (Ah)	ΔC_{vyb3V} (Ah)	$\Delta C_{vyb3.5V}$ (Ah)	ΔC_{vyb4V} (Ah)
-5.2	-5.5	-5.0	-5.0	-0.3

Tabulka 2.11: Vyhodnocené hodnoty rozdílů energií vybíjení baterie během poslední zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst. 2.3.4 a během první zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst 2.1.1.

ΔW_{vyb} (Wh)	$\Delta W_{vyb2.5V}$ (Wh)	ΔW_{vyb3V} (Wh)	$\Delta W_{vyb3.5V}$ (Wh)	ΔW_{vyb4V} (Wh)
-19.0	-19.6	-18.3	-18.4	-1.0



Kapitola 3

Seznam použitých zkratek

Amb	okolí (Ambient)
Case	pouzdro (Case)
CV	konstantní napětí (Constant Voltage)
PC	osobní počítač (Personal Computer)
SOC	stav nabití (State of Charge)
TerN	záporný terminál baterie (Negative Terminal)
TerP	kladný terminál baterie (Positive Terminal)
ZL FD	Zkušební laboratoř Fakulty dopravní



Kapitola 4

Seznam obrázků

1.1	Schéma zapojení měřicího řetězce. Zkoušená položka je označena jako Bat.	7
1.2	Fotografie zkoušené položky.	7
2.1	Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh napětí.	11
2.2	Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh proudu.	11
2.3	Podržení baterie při 4.2 V po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh teplot*.	12
2.4	Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh napětí.	13
2.5	Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh proudu.	14
2.6	Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: změřený průběh teplot*.	14
2.7	Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh napětí. . . .	15
2.8	Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh napětí-výřez. .	16
2.9	Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh proudu. . . .	16
2.10	Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh proudu-výřez..	17
2.11	Stabilita baterie v pohotovostním stavu při napětí 4 V: změřený průběh teplot*. . . .	18
2.12	Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh napětí.	19
2.13	Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh proudu.	19
2.14	Provedení 5 cyklů proudem ± 8 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh teplot*.	20
2.15	Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh napětí.	21
2.16	Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh proudu.	21



2.17	Provedení 5 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V: změřený průběh teplot*.	22
2.18	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh napětí.	23
2.19	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh proudu.	24
2.20	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh teplot*. V čase cca 385 h je patrný začátek topné sezóny.	24
2.21	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh napětí - výřez pro prvních 5 cyklů.	25
2.22	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh proudu - výřez pro prvních 5 cyklů.	25
2.23	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: změřený průběh teplot - výřez pro prvních 5 cyklů*.	26
2.24	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: vyhodnocené hodnoty náboje při vybíjení (oranžová) a při nabíjení (tmavě zelená).	28
2.25	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: vyhodnocené hodnoty energie při vybíjení (oranžová) a při nabíjení (tmavě zelená).	28
2.26	Provedení 50 cyklů proudem ± 15 A v napěťovém rozmezí 2.5 V-4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 1 hodiny: průměrná teplota pouzdra během vybíjení a nabíjení.	29
2.27	Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh napětí.	30
2.28	Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh proudu.	30
2.29	Nabití do 4.2 V, podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin a následné vybití proudem 8 A do napětí 2 V: změřený průběh teplot*.	31



Kapitola 5

Seznam tabulek

1.1	Parametry prováděných cyklických měření vybíjení a nabíjení baterie	6
2.1	Vyhodnocené hodnoty náboje nabíjení, kapacit a dílčích kapacit baterie.	12
2.2	Vyhodnocené hodnoty energií baterie.	12
2.3	Ustálení napětí článku v pauze 5 hodin: vybrané hodnoty změřeného napětí U_{bat} po čase ustálení t_{ust}	13
2.4	Ustálení proudu článku v režimu nabíjení CV: vybrané hodnoty změřeného proudu I_{bat} během doby trvání režimu nabíjení při konstantním napětí t_{CV}	17
2.5	Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.	20
2.6	Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.	22
2.7	Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.	26
2.7	Vyhodnocené hodnoty kapacit a energií baterie.	27
2.8	Vyhodnocené hodnoty náboje nabíjení, kapacit a dílčích kapacit baterie.	32
2.9	Vyhodnocené hodnoty energií baterie.	32
2.10	Vyhodnocené hodnoty rozdílů kapacit a dílčích kapacit baterie během poslední zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst. 2.3.4 a během první zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst 2.1.1.	32
2.11	Vyhodnocené hodnoty rozdílů energií vybíjení baterie během poslední zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst. 2.3.4 a během první zkoušky tohoto zkušebního protokolu dle odst 2.1.1.	32



Kapitola 6

Závěrečné údaje

Uvedené výsledky se vztahují pouze k položkám, které byly zkoušeny.

Kopírovat protokol je možné pouze jako celek a se souhlasem laboratoře.

Konec zkušebního protokolu.