



Zkušební protokol č. PROT 30/2018

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

Pulzní 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

Měření navazuje na zkušební protokol Zkušební laboratoře Fakulty dopravní č. PROT 16/2018, jedná se o shodný vzorek baterie. Jak je uvedeno v PROT 16/2018 v odstavci 2.3.4 v části interpretace výsledků zkoušek, po nabití proudem 8 A do napětí 4.2 V a podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin byla během následujícího vybíjení do 2.0 V vyhodnocena kapacita baterie 161.4 Ah.

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:

03. 12. 2018, HE3DA, Beranových 130, Praha 9

06. - 10. 12. 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: 17. 12. 2018

Schwálil:

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

Datum: 20. 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
1.3.1	Měření pulzního nabíjení	4
1.3.2	Měření pulzního vybíjení	5
1.4	Podmínky prostředí	6
1.4.1	Měření pulzního nabíjení	6
1.4.2	Měření pulzního vybíjení	6
1.5	Podmínky zkoušky	6
1.5.1	Pulzní nabíjení	6
1.5.2	Pulzní vybíjení	7
1.6	Popis měření	7
1.6.1	Měření pulzního nabíjení	7
1.6.2	Měření pulzního vybíjení	8
1.7	Prohlášení o vyjádření o nejistotách	10
1.8	Vyhodnocované charakteristické hodnoty baterie	10
1.8.1	Měření pulzního nabíjení	10
1.8.2	Měření pulzního vybíjení	11
2	Výsledky zkoušky	13
2.1	Měření pulzního nabíjení	13
2.1.1	Nabíjecí pulzy č. 1 až 5, každý pulz trvá 10 s	13
2.1.2	Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut	16
2.1.3	Interpretace výsledků zkoušky	19
2.2	Měření pulzního vybíjení	20
2.2.1	Zajištění podmínek zkoušky	20
2.2.2	Výsledky zkoušky	22
2.2.3	Interpretace výsledků zkoušky	25



3	Seznam použitých zkratk	26
4	Seznam obrázků	27
5	Seznam tabulek	28
6	Závěrečné údaje	29



Kapitola 1

Všeobecné údaje

1.1 Zkoušená položka

Baterie HE3DA 500 Wh, unikátní identifikátor V0165 47 PATER

Měření navazuje na zkušební protokol Zkušební laboratoře Fakulty dopravní č. PROT 16/2018, jedná se o shodný vzorek baterie. Jak je uvedeno v PROT 16/2018 v odstavci 2.3.4 v části interpretace výsledků zkoušek, po nabití proudem 8 A do napětí 4.2 V a podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin byla během následujícího vybíjení do 2.0 V vyhodnocena kapacita baterie 161.4 Ah.

1.2 Datum měření

03. - 10. 12. 2018

1.3 Měřicí přístroje a pomůcky

1.3.1 Měření pulzního nabíjení

- Měřicí notebook Fujitsu Celsius H710,
- měřicí karta PCMCIA NI-6036E, inv.č. L-1-019,
- měřicí software DEWESoft verze 7.1.1,
- měřicí box Dewetron, inv.č. L-1-46 s použitými měřicími zesilovači DAQP-DMM inv.č. L-1-50 (AI2), DAQP-DMM inv.č. L-1-49 (AI3), DAQP-DMM inv.č. L-1-23 (AI4), DAQP-DMM inv.č. L-1-22 (AI5), DAQP-V inv.č. L-1-55 (AI6) a DAQP-V inv.č. L-1-56 (AI7),
- proudový převodník PAC21, inv.č. L-1-72,
- kalibrovaný teploměr CEM DT-172 inv. č. L-1-53,
- 2x teplotní čidlo LM19 pro informativní měření teploty,
- měřicí kabely, vodiče, konektory apod.



1.3.2 Měření pulzního vybíjení

- měřicí PC Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz,
- měřicí karta PCMCIA NI-6036E, inv.č. L-1-019,
- měřicí software LabVIEW verze 2013 Spring,
- proudový převodník HT300M, inv.č.L-1-45
- programovatelný zdroj PCE a6kW inv. č. L-1-70 pro nabíjení akumulátoru před započítáním vybíjecích pulzů
- 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

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

1.4.1 Měření pulzního nabíjení

Teplota a vlhkost před zkouškou 03. 12. 2018 měřená kalibrovaným teploměrem: 22.9 °C, 37.5 %

Ověření nekalibrovaných čidel teploty LM19 před měřením:

- Teplota terminálu baterie mínus: 23.1 °C
- Teplota terminálu baterie plus: 22.8 °C

Teplota a vlhkost po zkoušce měřená kalibrovaným teploměrem: 23.2 °C, 37.4 %

1.4.2 Měření pulzního vybíjení

Teplota a vlhkost před zkouškou 06. 12. 2018 měřená kalibrovaným teploměrem: 23.9 °C, 41.4 %

Ověření nekalibrovaných čidel teploty LM19 před měřením:

- Teplota pouzdra: 24.6 °C
- Teplota terminálu baterie mínus: 24.2 °C
- Teplota terminálu baterie plus: 24.4 °C
- Teplota okolí: 24.9 °C

Teplota a vlhkost po zkoušce 10. 12. 2018 měřená kalibrovaným teploměrem: 24.7 °C, 40.9 %

1.5 Podmínky zkoušky

Na základě požadavku zákazníka byly prováděny zkoušky za následujících podmínek:

1.5.1 Pulzní nabíjení

Jako zdroj pro nabíjení zkoušené baterie byl použit battery pack o garantované energii 5 kWh. Battery pack byl nejpozději 5 minut před připojením ke zkoušené baterii, tj. před započítáním nabíjecího pulzu zkoušené baterie, nabit na hodnotu napětí 4.137 ± 0.002 V.

- a) Vybíjení baterie proudem nejvýše 30 A do napětí 2.0 V.
- b) Provedení nabíjecího pulzu délky 10 sekund. Připojení zdroje a záznam nabíjení baterie během pulzu. Zajištění prodlevy baterie trvající přibližně 15 minut.
- c) Opakování měření dle předcházejícího bodu b) celkem pětkrát.
- d) Provedení nabíjecího pulzu délky 10 minut.

1.5.2 Pulzní vybíjení

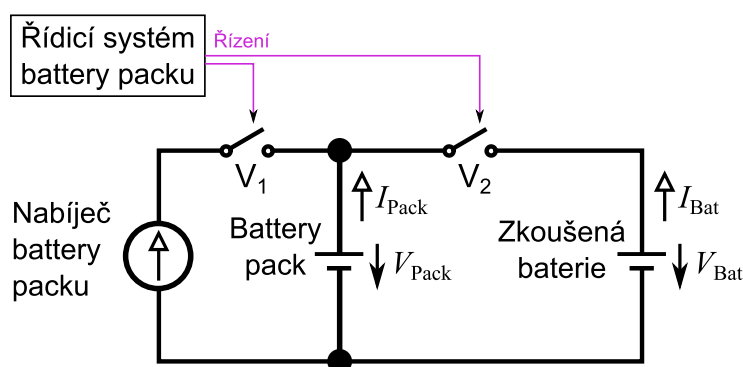
- Nabíjení baterie proudem 10 A do 4.1 V a podržení při tomto napětí po dobu 5 hodin.
- Provedení vybíjecího pulzu 300 A po dobu 1 minuty (doba, kdy běžně naběhnou diesel agregáty, simulovaný výpadek proudu). Zajištění prodlevy délky přibližně 15 minut, záznam oživení napětí během prodlevy.
- Opakování měření dle předcházejícího bodu b) do té doby, než napětí zkoušené baterie poklesne pod hodnotu 2.0 V. Poslední vybíjecí pulz může trvat kratší dobu.

1.6 Popis měření

1.6.1 Měření pulzního nabíjení

Měření probíhalo za podmínek uvedených v podkapitole 1.5.1. Jako zdroj pro pulzní nabíjení zkoušené položky baterie byl použit Battery pack složený z paralelní kombinace deseti baterií 500 Wh, který byl přímo spínán ke zkoušené položce baterie. Byly měřeny časové průběhy napětí na terminálech baterie V_{Bat} pomocí samostatných svorek neovlivněných proudovým okruhem a napětí battery packu V_{Pack} na společných přípojnicích. Byly měřeny časové průběhy proudu baterie I_{Bat} . Dále byly neakreditovaně měřeny časové průběhy teplot kladného terminálu T_{TerP} a teplot záporného terminálu T_{TerN} . Měření 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. Vypínače označené ve schématu jako V_1 a V_2 jsou elektronicky řízená relé. Při nabíjení battery packu je V_1 sepnut a V_2 rozepnut. Při měření nabíjecího pulzu zkoušené položky baterie je V_1 rozepnut a V_2 sepnut. Ovládání vypínačů zajišťoval řídicí systém battery packu.



Obrázek 1.1: Schéma zapojení pro měření pulzního nabíjení.

Měřené signály byly přivedeny do měřicí karty PCMCIA NI6036E instalované v měřicím PC. Proces zajištění podmínek měření a sběr dat byl zajištěn pomocí SW Dewetron zkušební laboratoře ZL FD. Snímané průběhy byly uloženy v elektronické podobě v datových souborech s příponou .dsd a exportovány do formátu csv, kde oddělovacím znakem je tabulátor. Tyto datové soubory jsou přímým výstupem měřicího software a je možné je opětovně zobrazit a analyzovat.

Pro vyhodnocení měřených veličin bylo použito průměrování 10 vzorků při vzorkování měřicí karty 1000 Sa/s. Pro vyhodnocení teploty byl navíc použit klouzavý průměr s délkou okna 1 s. Kladné hodnoty proudu jsou proudy vybíjení zkušební položky baterie, záporné hodnoty jsou proudy nabíjení.

Obrázek 1.2 ukazuje fotografii měřicího řetězce v objektu zákazníka. Zkoušená položka je umístěna vlevo nahoře. Pod zkoušenou položkou je battery pack složený z deseti paralelně zapojených 500 Wh baterií, levých pět je na fotografii vidět, pravých pět je částečně schováno za sloupkem nosné konstrukce. Uprostřed fotografie je šedomodrý měřicí box Dewetron s měřicími zesilovači, před měřicím boxem je měřicí notebook. Vozíky s battery packy ve střední a pravé části fotografie nebyly pro měření použity.

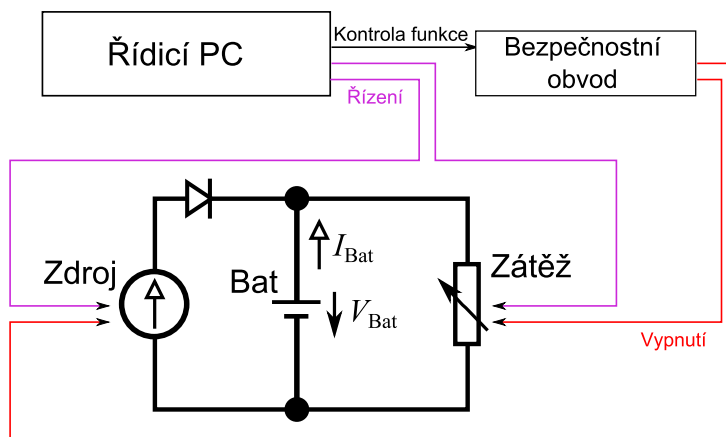


Obrázek 1.2: Fotografie zkušební položky a měřicího řetězce.

1.6.2 Měření pulzního vybíjení

Měření probíhalo za podmínek uvedených v podkapitole 1.5.1. 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} . Měření teploty byly nejprve porovnány s hodnotu kalibrovaného teploměru. Časové průběhy mají nezávislou proměnnou času definovanou na základě vzorkování měřicí karty NI6036E. Obrázek 1.3 uvádí schéma zapojení. Měření signály byly přivedeny do měřicí karty PCMCIA NI6036E instalované v měřicím PC.



Obrázek 1.3: Schéma zapojení pro měření pulzního vybíjení. 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 záznam měřených veličin bylo použito průměrování 10 000 vzorků při vzorkování měřicí karty 10 kSa/s, tj. k záznamu došlo jednou za sekundu. Kladné hodnoty proudu jsou proudy vybíjení zkoušené položky baterie. Teplota nebyla měřena během prodlev mezi nabíjením a vybíjením, kdy probíhala inicializace přístrojů.

Obrázek 1.4 ukazuje fotografii měřicího řetězce. Zkoušená položka má zelené víko a je ve středu fotografie. Vpravo od zkoušené položky je programovatelný zdroj a programovatelná zátěž.



Obrázek 1.4: 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 proudu v části měření pulzního nabíjení je rovna:

- 26 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -800, -600 \rangle$ A,
- 17 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -600, -450 \rangle$ A,
- 13 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -450, -300 \rangle$ A,
- 9 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -300, -150 \rangle$ A,
- 5 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -150, -30 \rangle$ A,
- 2 A pro hodnoty proudu v rozmezí $\langle -30, +30 \rangle$ A.

Společná rozšířená hodnota nejistoty proudu v části měření pulzního vybíjení je rovna 2.3 A.

1.8 Vyhodnocované charakteristické hodnoty baterie

V rámci interpretace výsledků zkoušek jsou v jednotlivých odstavcích zkušební protokolu vyhodnoceny charakteristické hodnoty uvedené v tomto odstavci.

1.8.1 Měření pulzního nabíjení

Pro vyhodnocení charakteristických hodnot nabíjecích pulzů se uvažuje začátek pulzu v okamžiku, kdy absolutní hodnota nabíjecího proudu překročí hodnotu 10 A, konec pulzu v okamžiku, kdy absolutní hodnota nabíjecího proudu poklesne pod hodnotu 10 A.

Vyhodnocují se následující charakteristické hodnoty pulzního nabíjení:

- Vrcholová hodnota proudu během daného nabíjecího pulzu $I_{nabPulsMax}$ je v absolutní hodnotě nejvyšší hodnota proudu během daného nabíjecího pulzu.
- Střední hodnota proudu během daného nabíjecího pulzu $I_{nabPulsMean}$ podle vztahu

$$I_{nabPulsMean} = \sum_{i=1}^{n-1} |Inab_i| \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Konečná hodnota proudu během daného nabíjecího pulzu $I_{nabPulsEnd}$ je absolutní hodnota proudu v čase 20 ± 10 milisekund před koncem daného nabíjecího pulzu.
- Napětí baterie před začátkem nabíjecího pulzu U_{batPre} je hodnota napětí v čase 20 ± 10 milisekund před začátkem daného nabíjecího pulzu.



- Vrcholová hodnota napětí během daného nabíjecího pulzu $U_{nabPulsMax}$ je nejvyšší hodnota napětí baterie během daného nabíjecího pulzu.
- Náboj nabíjení C_{nab} se určí podle vztahu

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

- Energie nabíjení W_{nab} se určí podle vztahu

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

Ve výše uvedených definičních vztazích je:

$Inab$	měřený nabíjecí proud
U_{nab}	měřené napětí při nabíjení
i	index vzorku v datovém souboru během daného nabíjecího pulzu
n	počet vzorků v datovém souboru během daného nabíjecího pulzu
t	čas

Společná rozšířená hodnota nejistoty charakteristických hodnot proudů $I_{nabPulsMax}$, $I_{nabPulsMean}$ a $I_{nabPulsEnd}$ je shodná s nejistotou proudu uvedenou v odstavci 1.7.

Společná rozšířená hodnota nejistoty charakteristických hodnot napětí U_{batPre} a $U_{nabPulsMax}$ je shodná s nejistotou napětí uvedenou v odstavci 1.7.

Společná rozšířená hodnota nejistoty náboje nabíjení je rovna

- 0.1 Ah pro hodnoty 2.0 Ah a nižší a
- 0.8 Ah pro hodnoty 20.0 Ah a vyšší.

Společná rozšířená hodnota nejistoty energie nabíjení je rovna

- 0.2 Wh pro hodnoty 5.0 Wh a nižší a
- 3.2 Wh pro hodnoty 100.0 Wh a vyšší.

1.8.2 Měření pulzního vybíjení

Pro vyhodnocení charakteristických hodnot vybíjecích pulzů se uvažuje začátek pulzu v okamžiku, kdy dvě po sobě jdoucí zaznamenané hodnoty napětí poklesnou o více než 0.045 V (náběh zatížení). Konec pulzu se uvažuje v okamžiku, kdy dvě po sobě jdoucí zaznamenané hodnoty napětí vzrostou o více než 0.2 V (odlehčení).

Vyhodnocují se následující charakteristické hodnoty pulzního vybíjení:



- Napětí baterie před začátkem vybíjecího pulzu U_{batPre} je hodnota napětí zaznamenaná jednu sekundu před začátkem daného vybíjecího pulzu.
- Počáteční hodnota napětí daného vybíjecího pulzu $U_{vybPulsStart}$ je hodnota napětí zaznamenaná jednu sekundu po začátku daného vybíjecího pulzu, kdy je již baterie zatížena plným vybíjecím proudem.
- Střední hodnota napětí během daného vybíjecího pulzu $U_{vybPulsMean}$ podle vztahu

$$U_{vybPulsMean} = \sum_{i=1}^{n-1} U_{vyb_i} \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

- Konečná hodnota napětí během daného vybíjecího pulzu $U_{vybPulsEnd}$ je hodnota napětí v poslední sekundě daného vybíjecího pulzu.
- Náboj vybíjení C_{vyb} se určí podle vztahu

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

- Energie vybíjení W_{vyb} se určí podle vztahu

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

Ve výše uvedených definičních vztazích je:

I_{vyb}	měřený vybíjecí proud
U_{vyb}	měřené napětí při vybíjení
i	index vzorku v datovém souboru během daného vybíjecího pulzu
n	počet vzorků v datovém souboru během daného vybíjecího pulzu
t	čas

Společná rozšířená hodnota nejistoty charakteristických hodnot napětí U_{batPre} , $U_{vybPulsStart}$, $U_{vybPulsMean}$ a $U_{vybPulsEnd}$ je shodná s nejistotou napětí uvedenou v odstavci 1.7.

Společná rozšířená hodnota nejistoty náboje vybíjení je rovna

- 0.1 Ah pro hodnoty 6.0 Ah a nižší a
- 1.0 Ah pro hodnoty 100.0 Ah a vyšší.

Společná rozšířená hodnota nejistoty energie vybíjení je rovna

- 0.2 Wh pro hodnoty 20.0 Wh a nižší a
- 3.3 Wh pro hodnoty 400.0 Wh a vyšší.



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.

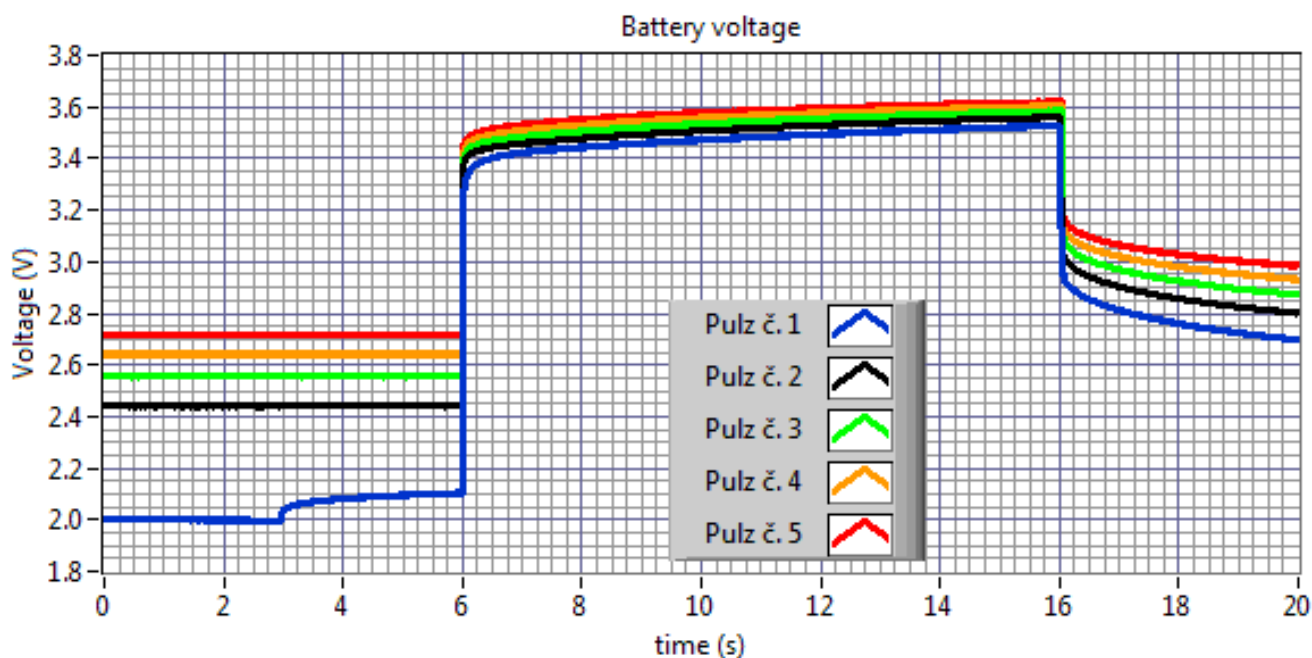
2.1 Měření pulzního nabíjení

2.1.1 Nabíjecí pulzy č. 1 až 5, každý pulz trvá 10 s

Podmínky zkoušky

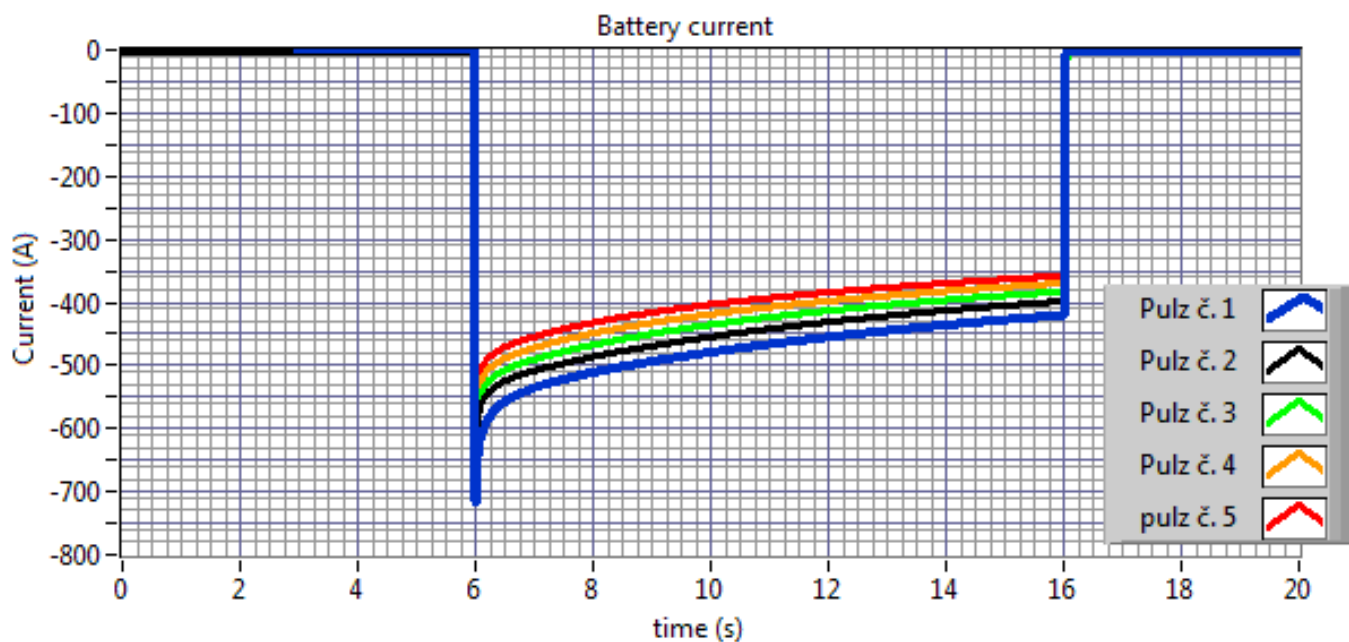
1. Nabíjecí pulz č. 1 z plného vybití o délce trvání 10 s
 - Nabíjení battery packu do napětí 4.137 V s pauzou délky přibližně 5 minut před nabíjením zkoušené položky baterie,
 - vybíjení zkoušené položky baterie proudem v rozmezí do napětí 2.0 V při proudu přibližně 22 A s pauzou délky přibližně 3 sekundy před nabíjením zkoušené položky baterie,
 - nabíjení zkoušené položky baterie z battery packu po dobu 10 sekund.
2. Nabíjecí pulz č. 2 až 5 o délce trvání 10 s po relaxaci o délce trvání 15 minut
 - Nabíjení battery packu do napětí 4.137 V s pauzou délky přibližně 1 minuty před nabíjením zkoušené položky baterie,
 - pauza zkoušené položky baterie od posledního pulzu přibližně 15 minut před nabíjením zkoušené položky baterie,
 - nabíjení zkoušené položky baterie z battery packu po dobu 10 sekund.

Výsledky zkoušky



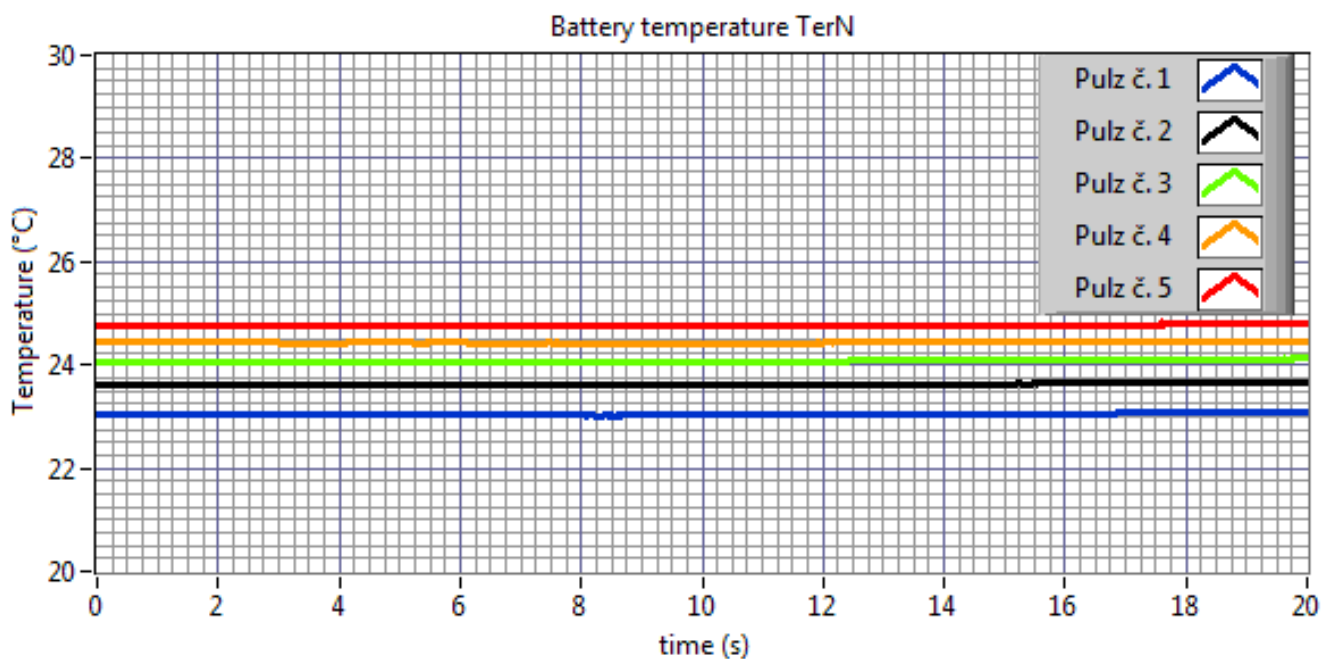
Obrázek 2.1: Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy napětí pro jednotlivé pulzy.

Mezi jednotlivými nabíjecími pulzy se zkoušená položka baterie nenabíjela ani nevybíjela, napětí jednotlivých nabíjecích pulzů na sebe navazují. Jak je patrné z grafu na obrázku 2.1, s každým nabíjecím pulzem se napětí baterie zvyšuje. Významné číselné hodnoty napětí jsou uvedeny v odstavci 2.1.3. Napětí daného nabíjecího pulzu po relaxaci délky přibližně 15 minut je rovno napětí U_{batPre} následujícího pulzu.

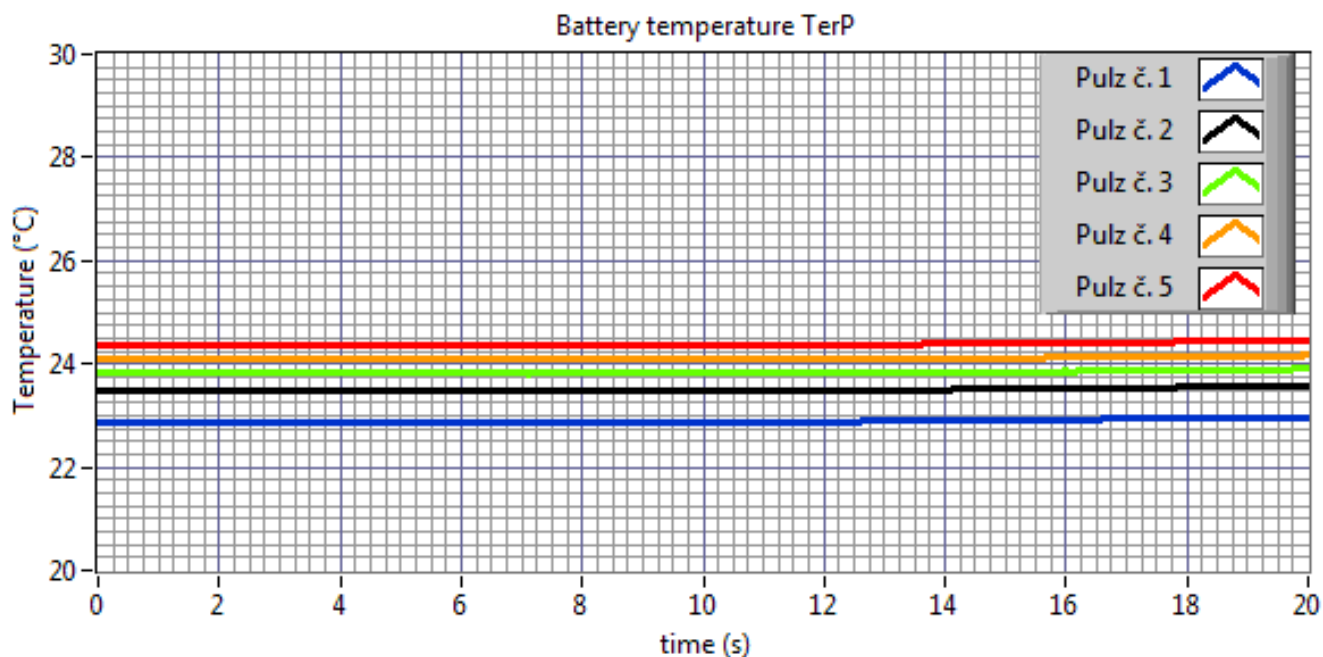


Obrázek 2.2: Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy proudu pro jednotlivé pulzy.

Vrcholová hodnota proudu během daného nabíjecího pulzu $I_{nabPulsMax}$, která je pro první pulz rovna 788.9 A, se se snižujícím se rozdílem napětí batery packu a zkoušené položky baterie postupně snižuje na hodnotu 568.8 A. Konečné hodnoty proudu nabíjecích pulzů $I_{nabPulsEnd}$ postupně klesají od 421.1 A pro první nabíjecí pulz do 357.7 A pro pátý nabíjecí pulz.



Obrázek 2.3: Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy teploty terminálu mínus pro jednotlivé pulzy*.



Obrázek 2.4: Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy teploty terminálu plus pro jednotlivé pulzy*.

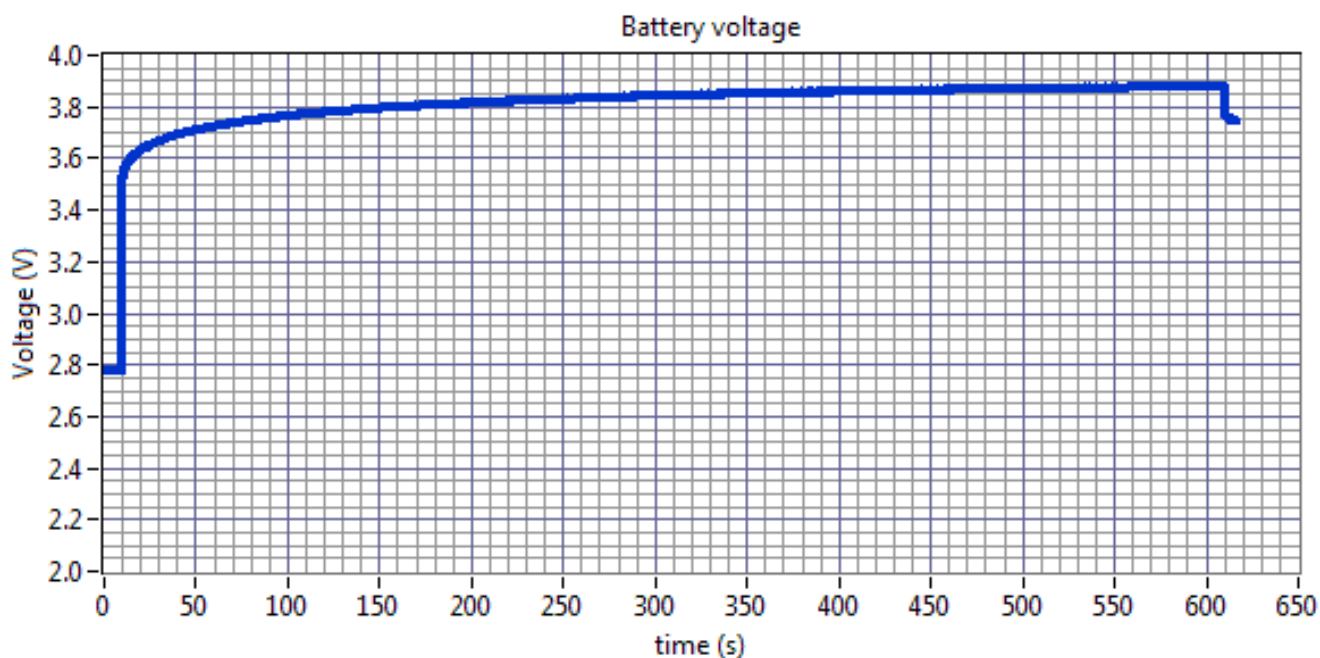
Jak ukazují obrázky 2.3 a 2.4, záporný terminál zkoušené položky baterie se během pěti nabíjecích pulzů ohřál přibližně o 1.8 °C, kladný terminál se ohřál přibližně o 1.4 °C*.

2.1.2 Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut

Podmínky zkoušky

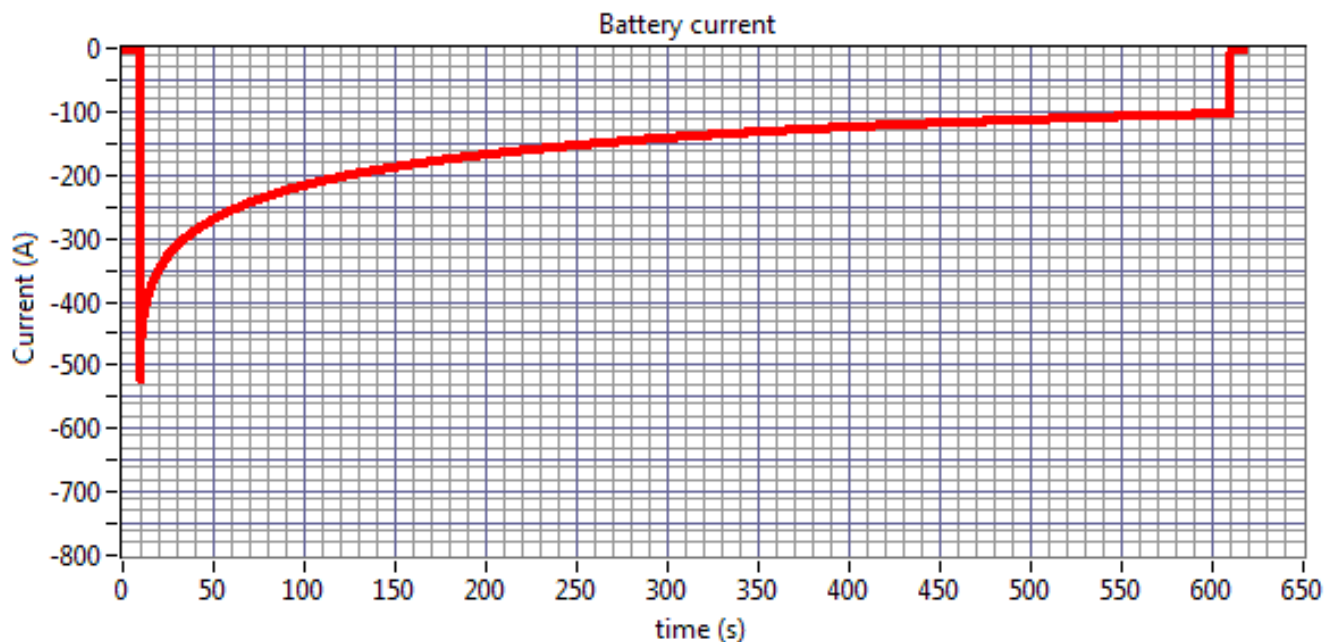
- Nabíjení battery packu do napětí 4.137 V s pauzou délky přibližně 1 minuty před nabíjením zkoušené položky baterie,
- pauza zkoušené položky baterie od posledního pulzu přibližně 15 minut před nabíjením zkoušené položky baterie,
- nabíjení zkoušené položky baterie z battery packu po dobu 10 minut.

Výsledky zkoušky



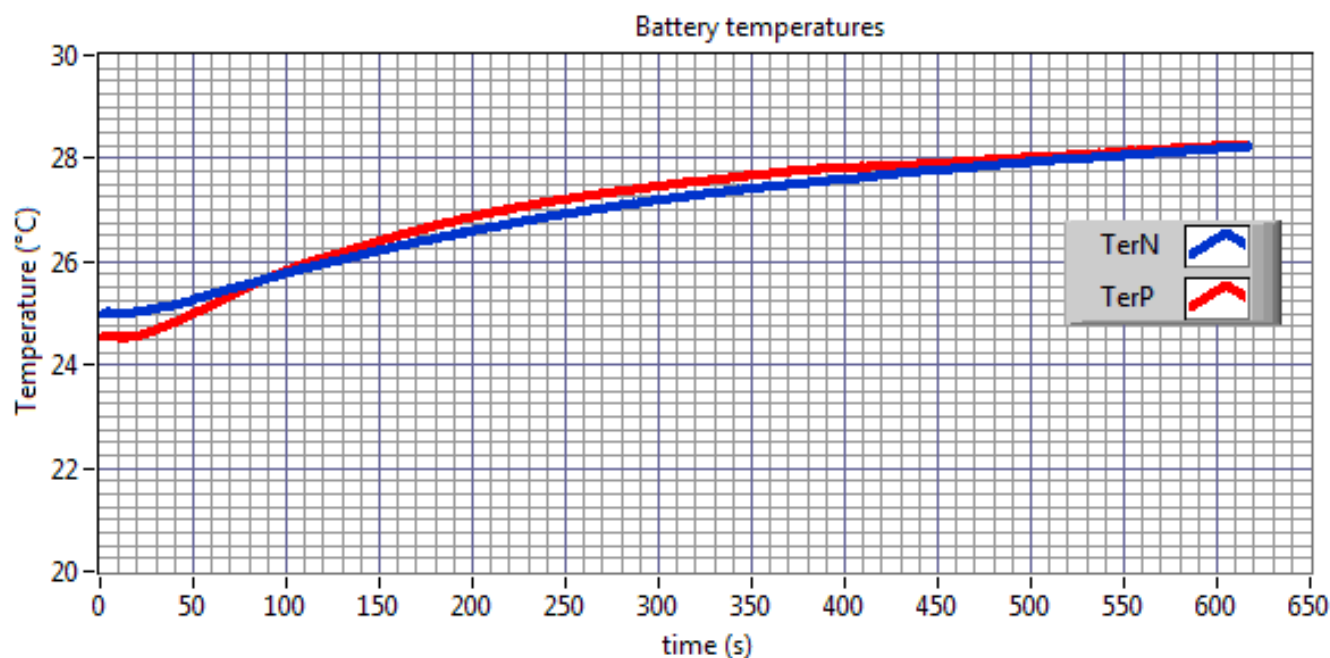
Obrázek 2.5: Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh napětí.

Battery pack (znovu plně nabitý na 4.137 V) byl na deset minut vodivě propojen s částečně nabitou zkoušenou položkou baterie nabitou do 2.778 V v pěti předcházejících desetisekundových nabíjecích pulzech. Průběh změřeného napětí ukazuje obrázek 2.5. Napětí zkoušené položky baterie vzrostlo z hodnoty 3.468 V bezprostředně po vodivém propojení na 3.777 V před ukončením vodivého propojení a bezprostředně po ukončení vodivého propojení bylo toto napětí rovno 3.781 V.



Obrázek 2.6: Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh proudu.

Vrcholová hodnota proudu během desetiminutového nabíjecího pulzu $I_{nabPulsMax}$ byla rovna 546.6 A. Nabíjecí proud postupně poklesl na konečnou hodnotu proudu nabíjecího pulzu $I_{nabPulsEnd}$, která byla rovna 104.1 A.



Obrázek 2.7: Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh teplot*.

Během desetiminutového nabíjecího pulzu se teplota záporného terminálu zkoušené položky baterie zvýšila přibližně o 3.2 °C, teplota kladného terminálu se zvýšila přibližně o 3.7 °C*.



2.1.3 Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.1: Vyhodnocené charakteristické hodnoty nabíjecích pulzů zkoušené položky baterie.

Nabíjecí pulz č.	$I_{nabPulsMax}$ (A)	$I_{nabPulsMean}$ (A)	$I_{nabPulsEnd}$ (A)	U_{batPre} (V)	$U_{nabPulsMax}$ (V)	C_{nab} (Ah)	W_{nab} (Wh)
1	788.9	476.8	421.1	2.0956	3.5283	1.3	4.6
2	662.6	450.5	398.1	2.4410	3.5610	1.3	4.4
3	625.2	432.6	382.6	2.5539	3.5849	1.2	4.3
4	594.4	416.5	369.2	2.6403	3.6048	1.2	4.1
5	568.8	401.9	357.7	2.7130	3.6216	1.1	4.0
6	546.6	161.0	104.1	2.7792	3.8784	26.8	102.0

Náboj nabíjení C_{nab} během prvních pěti desetisekundových nabíjecích pulzů činil 6.1 Ah, tedy přibližně 3.8 % vyhodnocené kapacity baterie podle odstavce 2.3.4 zkušebního protokolu PROT 16/2018.

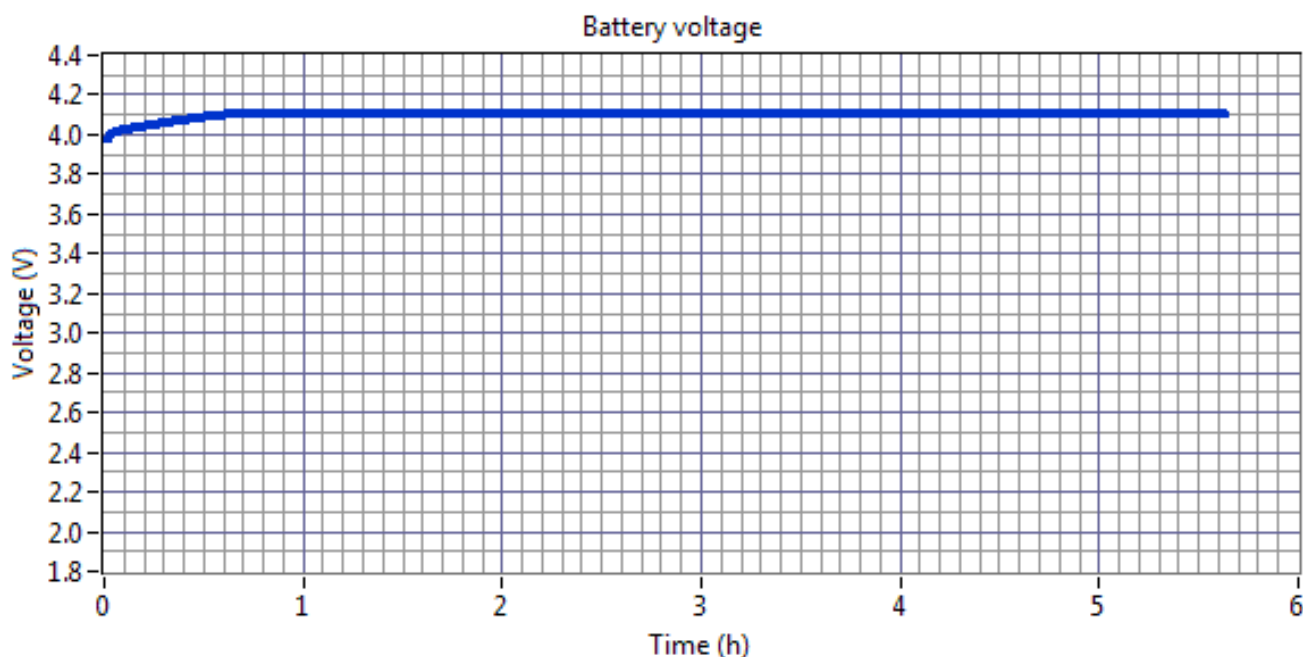
Náboj nabíjení C_{nab} během desetiminutového nabíjecího pulzu činil 26.8 Ah, tedy přibližně 16.6 % vyhodnocené kapacity baterie podle odstavce 2.3.4 zkušebního protokolu PROT 16/2018.

2.2 Měření pulzního vybíjení

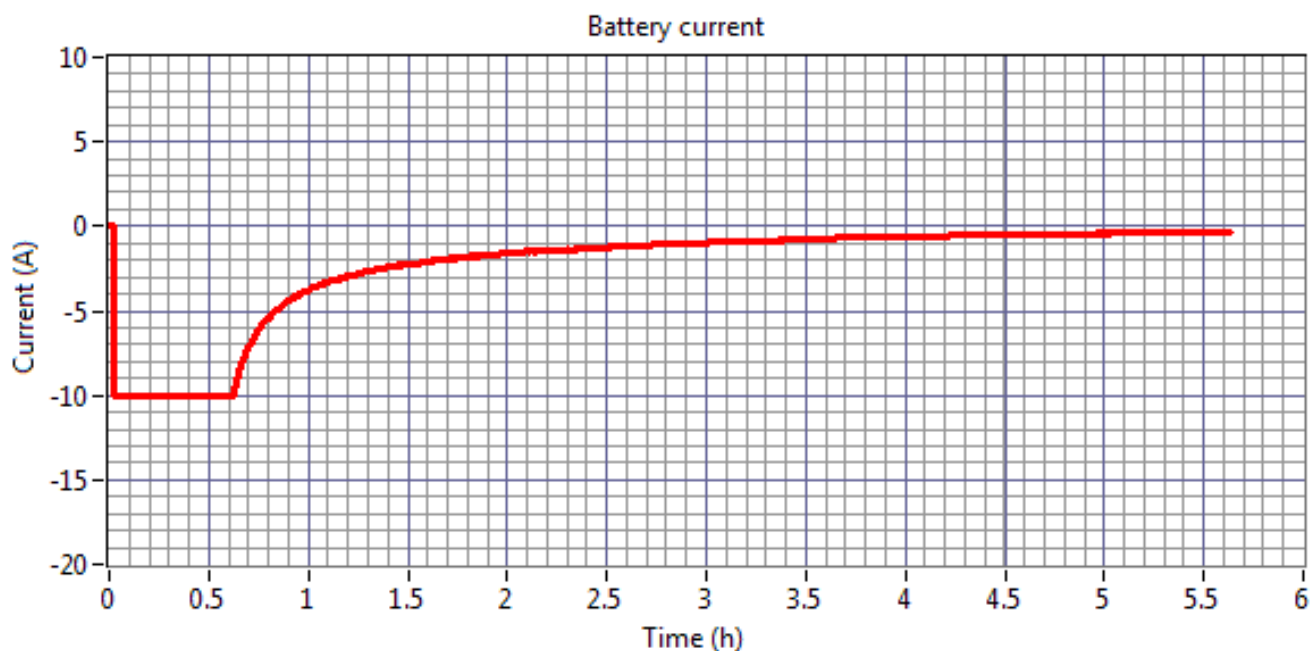
2.2.1 Zajištění podmínek zkoušky

Před započítáním měření vybíjecích pulzů proběhlo nabití baterie proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při tomto napětí po dobu 5 hodin, jak ukazují obrázky 2.8 až 2.10. Po prodlevě délky přibližně 2 minut začalo měření vybíjecích pulzů za následujících podmínek:

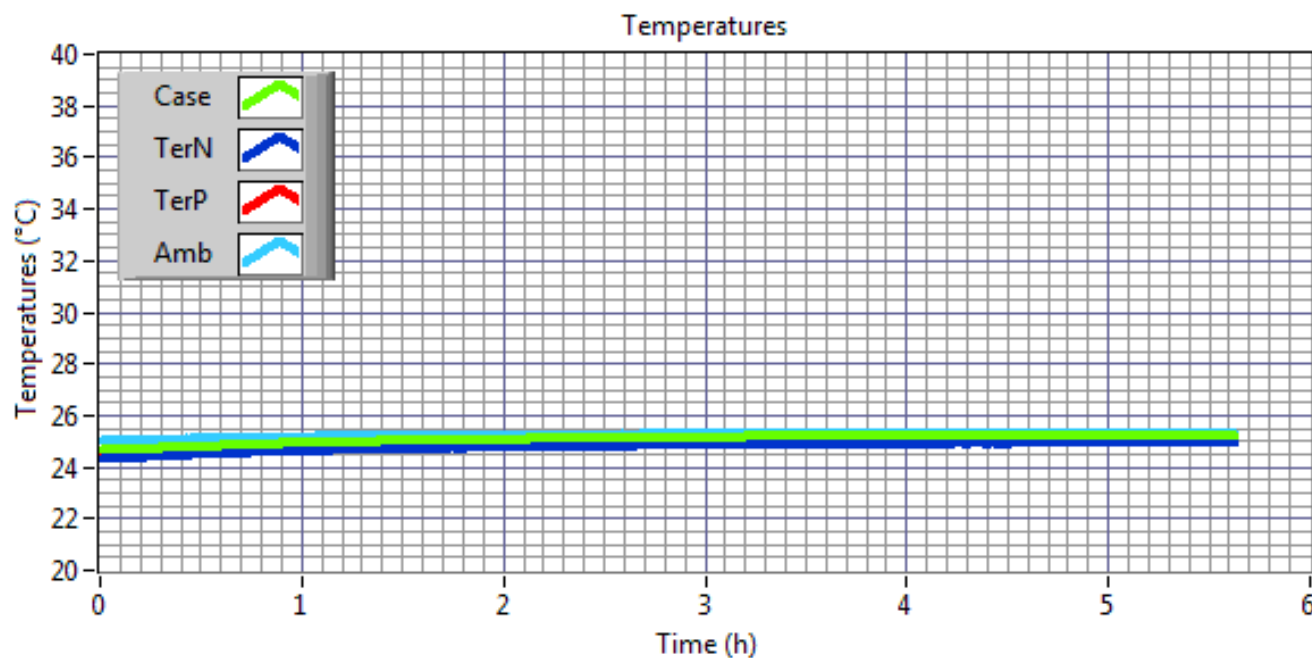
- vybíjení baterie proudem 300 A po dobu 1 minuty,
- prodleva délky přibližně 15 minut.
- Měření dle bodů a) a b) se opakuje do té doby, než napětí zkoušené baterie klesne pod hodnotu 2.0 V. Poslední vybíjecí pulz může trvat kratší dobu.



Obrázek 2.8: Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh napětí.

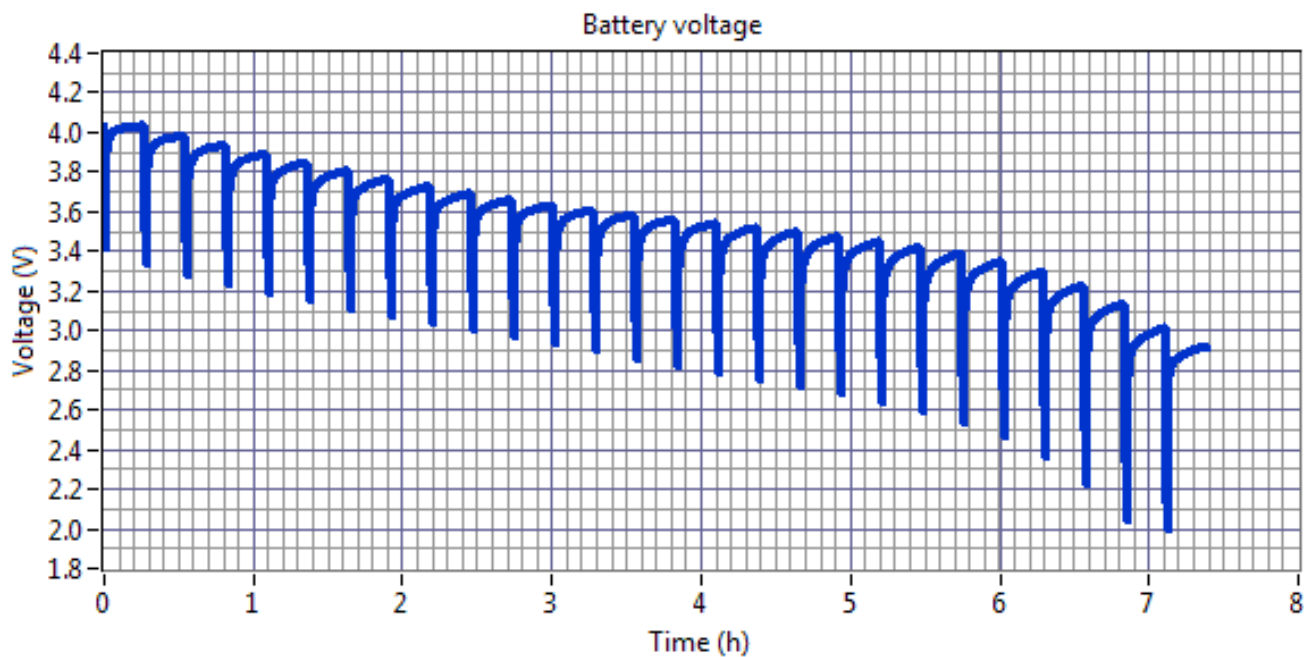


Obrázek 2.9: Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh proudu.



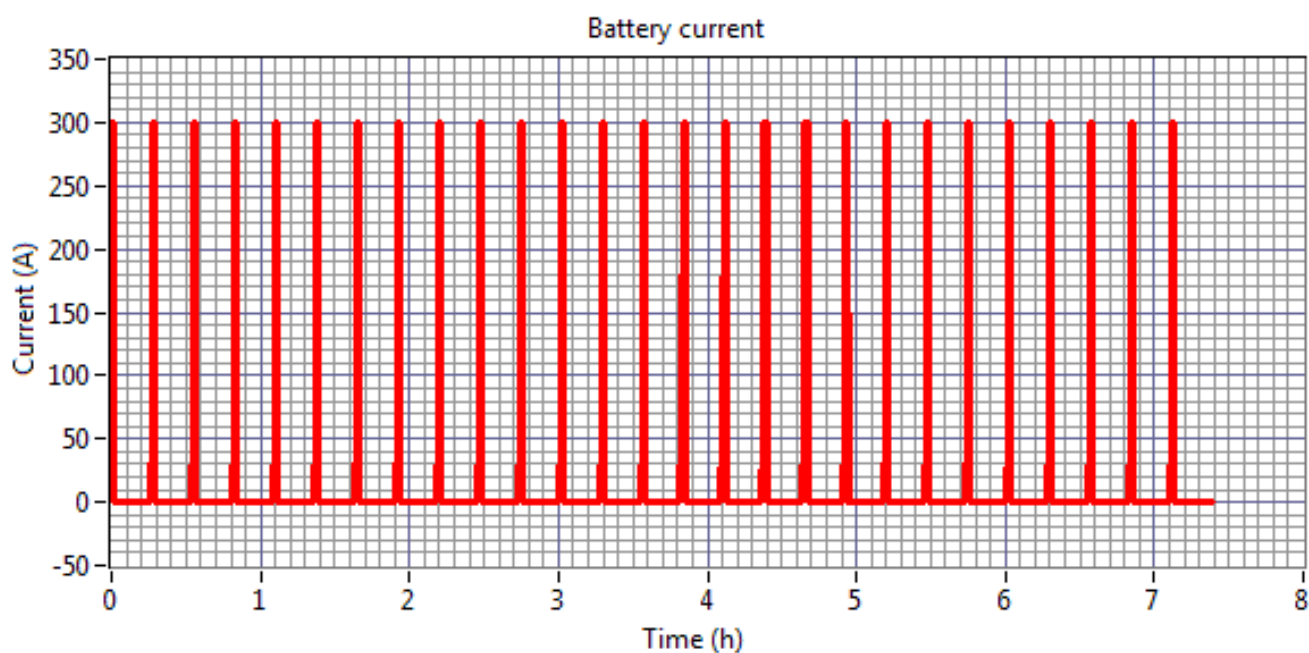
Obrázek 2.10: Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh teplot*.

2.2.2 Výsledky zkoušky

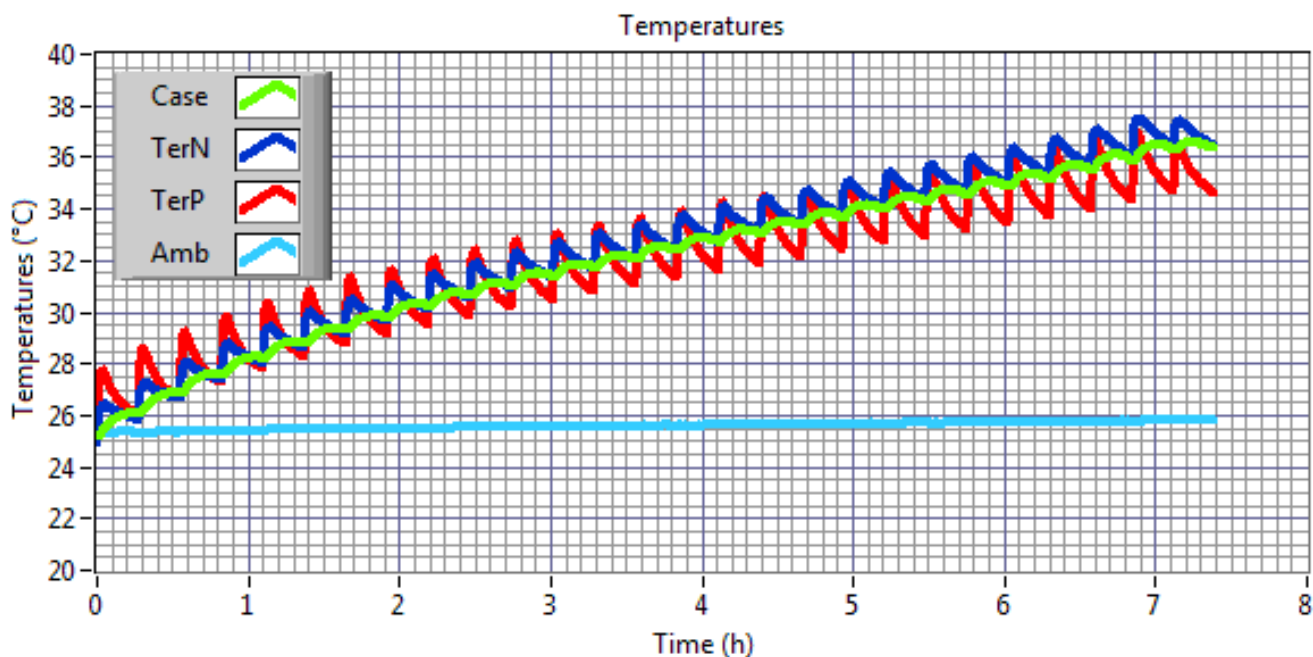


Obrázek 2.11: Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh napětí.

Zkoušená položka baterie byla před začátkem zkoušky nabita na hodnotu 4.1 V a následně již nebyla nabíjena. Celkem proběhlo 27 pulzů, u nichž je patrný posun napětí směrem k nižším hodnotám vybitého stavu baterie.



Obrázek 2.12: Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh proudu.

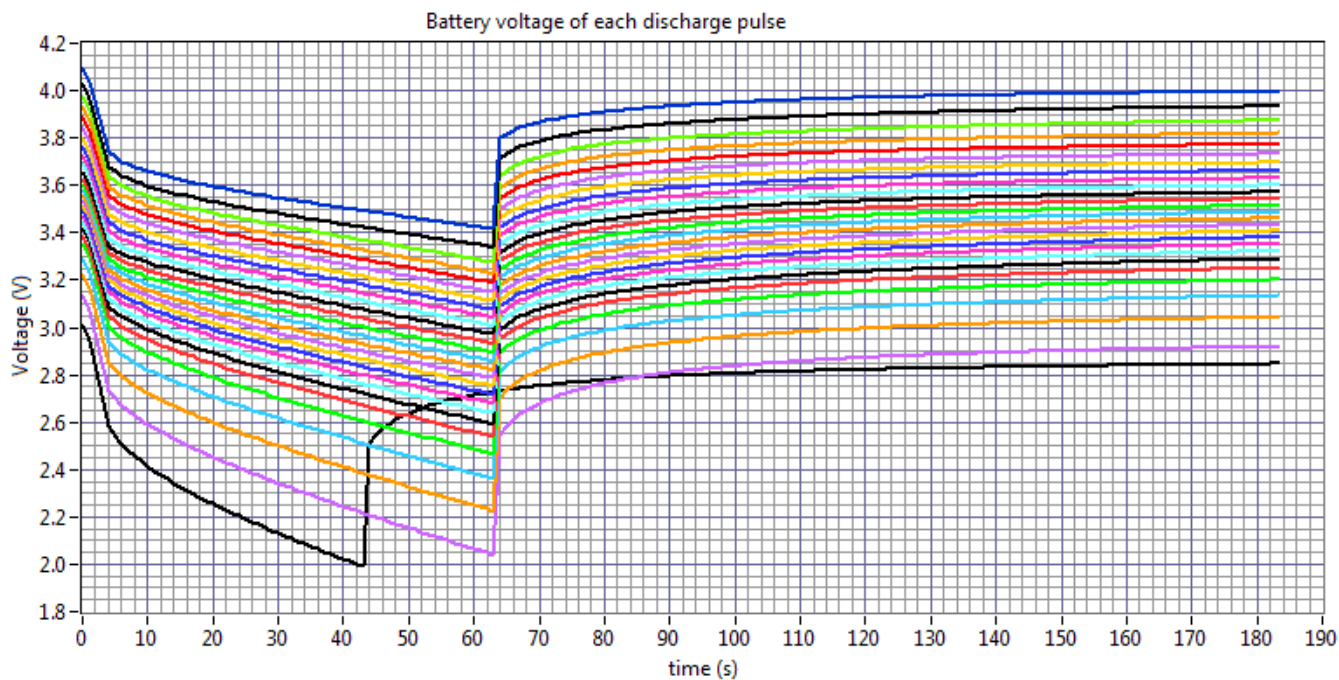


Obrázek 2.13: Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh teplot*.

Změřené průběhy teplot na obrázku 2.13 ukazují, že během střídajících se vybíjecích pulzů a prodlev dochází k nejvyšším výkyvům teplot na kladném terminálu zkoušené položky baterie, ke středním výkyvům teplot na záporném terminálu baterie a k nejnižším výkyvům teplot na pouzdře baterie.

V průběhu kompletní zkoušky vybíjecích pulzů zkoušené položky baterie se

- teplota pouzdra baterie zvýšila z 25.2 °C na 36.4 °C, tj. o 11.2 °C*,
- teplota záporného terminálu baterie zvýšila z 24.9 °C na 36.5 °C, tj. o 11.6 °C*,
- teplota kladného terminálu baterie zvýšila z 25.2 °C na 34.7 °C, tj. o 9.5 °C*,
- teplota okolního prostředí zvýšila z 25.3 °C na 25.8 °C, tj. o 0.5 °C*.



Obrázek 2.14: Zkouška pulzního vybíjení: průběh napětí všech 27 vybíjecích pulzů a následný průběh zotavení napětí baterie během prvních 3 minut po skončení pulzu. První pulz má pro čas $t = 183$ s nejvyšší napětí, poslední pulz má pro čas $t = 183$ s nejnižší napětí.



2.2.3 Interpretace výsledků zkoušky

Tabulka 2.2: Vyhodnocené charakteristické hodnoty vybíjecích pulzů zkoušené položky baterie.

Vybíjecí pulz č.	U_{batPre} (V)	$U_{vybPulsStart}$ (V)	$U_{vybPulsMean}$ (V)	$U_{vybPulsEnd}$ (V)	C_{vyb} (Ah)	W_{vyb} (Wh)
1	4.0993	3.7390	3.5496	3.4167	5.0	17.9
2	4.0292	3.6793	3.4819	3.3391	5.0	17.6
3	3.9775	3.6363	3.4308	3.2759	5.0	17.3
4	3.9310	3.5967	3.3891	3.2284	5.0	17.1
5	3.8864	3.5571	3.3505	3.1873	5.0	16.9
6	3.8435	3.5188	3.3132	3.1484	5.0	16.7
7	3.8023	3.4800	3.2767	3.1112	5.0	16.5
8	3.7629	3.4434	3.2420	3.0759	5.0	16.3
9	3.7253	3.4083	3.2084	3.0415	5.0	16.2
10	3.6899	3.3752	3.1753	3.0072	5.0	16.0
11	3.6570	3.3429	3.1411	2.9712	5.0	15.8
12	3.6276	3.3141	3.1058	2.9335	5.0	15.7
13	3.6017	3.2881	3.0705	2.8952	5.0	15.5
14	3.5784	3.2646	3.0367	2.8576	5.0	15.3
15	3.5569	3.2418	3.0047	2.8214	5.0	15.1
16	3.5363	3.2209	2.9750	2.7865	5.0	15.0
17	3.5156	3.1998	2.9464	2.7524	5.0	14.8
18	3.4940	3.1747	2.9164	2.7169	5.0	14.7
19	3.4709	3.1492	2.8849	2.6796	5.0	14.5
20	3.4458	3.1182	2.8488	2.6382	5.1	14.4
21	3.4184	3.0872	2.8095	2.5924	5.0	14.2
22	3.3875	3.0480	2.7622	2.5380	5.0	13.9
23	3.3479	3.0015	2.7005	2.4655	5.0	13.6
24	3.2949	2.9342	2.6130	2.3626	5.0	13.2
25	3.2251	2.8480	2.4958	2.2241	5.0	12.6
26	3.1333	2.7340	2.3385	2.0389	5.0	11.8
27	3.0109	2.5830	2.2469	1.9910	3.4	7.6
Celkem	—	—	—	—	134.6	406.1

Celkový vybitý náboj 134.6 Ah během vybíjecích pulzů představuje přibližně 83.4 % vyhodnocené kapacity baterie podle odstavce 2.3.4 zkušebního protokolu PROT 16/2018.



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 pro měření pulzního nabíjení.	7
1.2	Fotografie zkoušené položky a měřicího řetězce.	8
1.3	Schéma zapojení pro měření pulzního vybíjení. Zkoušená položka je označena jako Bat.	9
1.4	Fotografie zkoušené položky.	9
2.1	Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy napětí pro jednotlivé pulzy.	14
2.2	Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy proudu pro jednotlivé pulzy.	15
2.3	Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy teploty terminálu mínus pro jednotlivé pulzy*.	15
2.4	Nabíjecí pulzy č. 1 až 5: změřené průběhy teploty terminálu plus pro jednotlivé pulzy*.	16
2.5	Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh napětí.	17
2.6	Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh proudu.	18
2.7	Nabíjecí pulz č. 6 po dobu 10 minut: změřený průběh teplot*.	18
2.8	Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh napětí.	20
2.9	Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh proudu.	21
2.10	Zajištění podmínek zkoušky pulzního vybíjení: nabití proudem 10 A do napětí 4.1 V s podržením při napětí 4.1 V po dobu 5 hodin: změřený průběh teplot*.	21
2.11	Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh napětí.	22
2.12	Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh proudu.	22
2.13	Zkouška pulzního vybíjení: celkový změřený průběh teplot*.	23
2.14	Zkouška pulzního vybíjení: průběh napětí všech 27 vybíjecích pulzů a následný průběh zotavení napětí baterie během prvních 3 minut po skončení pulzu. První pulz má pro čas $t = 183$ s nejvyšší napětí, poslední pulz má pro čas $t = 183$ s nejnižší napětí. . . .	24



Kapitola 5

Seznam tabulek

- 2.1 Vyhodnocené charakteristické hodnoty nabíjecích pulzů zkoušené položky baterie. . . 19
- 2.2 Vyhodnocené charakteristické hodnoty vybíjecích pulzů zkoušené položky baterie. . . 25



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.