

Obsah

Meranie produkovaného tepla batériového modulu BMW i3	2
1. Účel merania.....	2
2. Predmet merania.....	2
3. Použité prístroje	3
4. Opis merania.....	3
5. Postup merania.....	5
6. Výsledky merania.....	6
- Meranie kapacity batériových modulov.	6
- Meranie oteplenia	6
- Meranie vnútorného odporu článku (dvoch paralelne zapojených článkov)	8
7. Záver	9

Meranie produkovaného tepla batériového modulu BMW i3

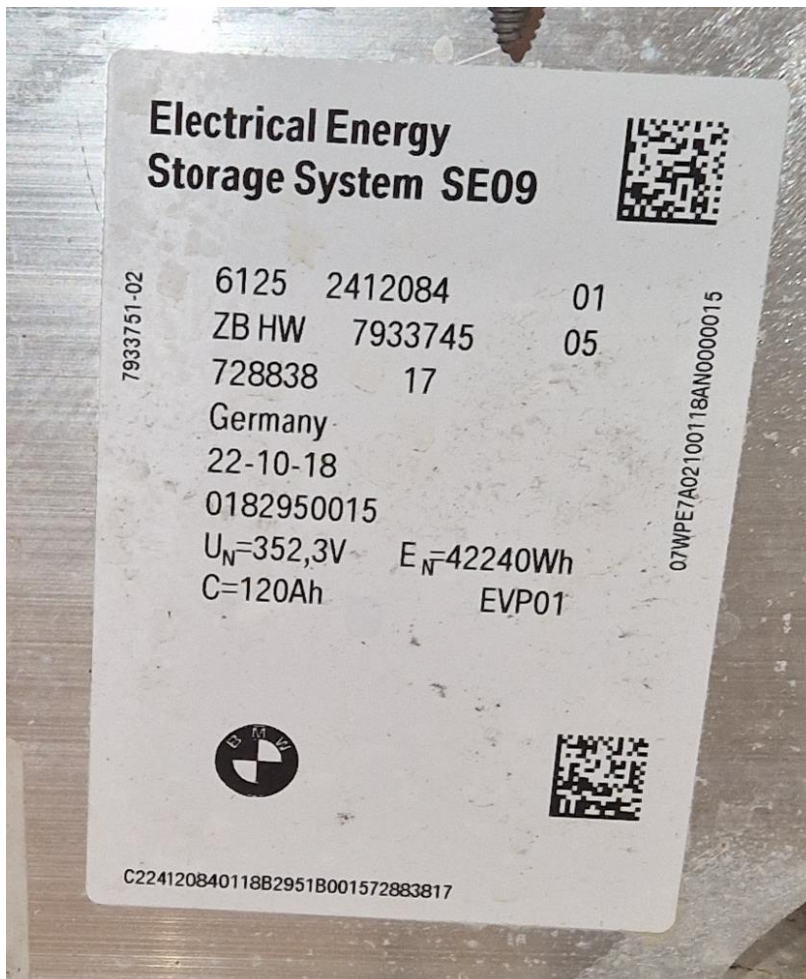
1. Účel merania

Účelom tohto merania je zistenie určenie výkonových strát produkovaných batériovým modulom počas cyklického nabíjania a vybíjania prúdom I_t (A)=C (Ah)/1 (h) ako aj zistiť maximálne oteplenie batériových článkov. Na základe nameraných údajov bude navrhované konštrukčné riešenie „Packov“ a „Rackov“ i ich spôsob chladenia pre zabezpečenie optimálnych teplôt batériových modulov.

2. Predmet merania

Batéria pozostáva z 8 kusov modulov 12s1p.

Predmetom merania je jeden modul 12s1p z EV batérie BMW i3 s interným označením B4 (Modul B4M6).



Obrázok 1 Výrobný štítok EV batérie BMW i3

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

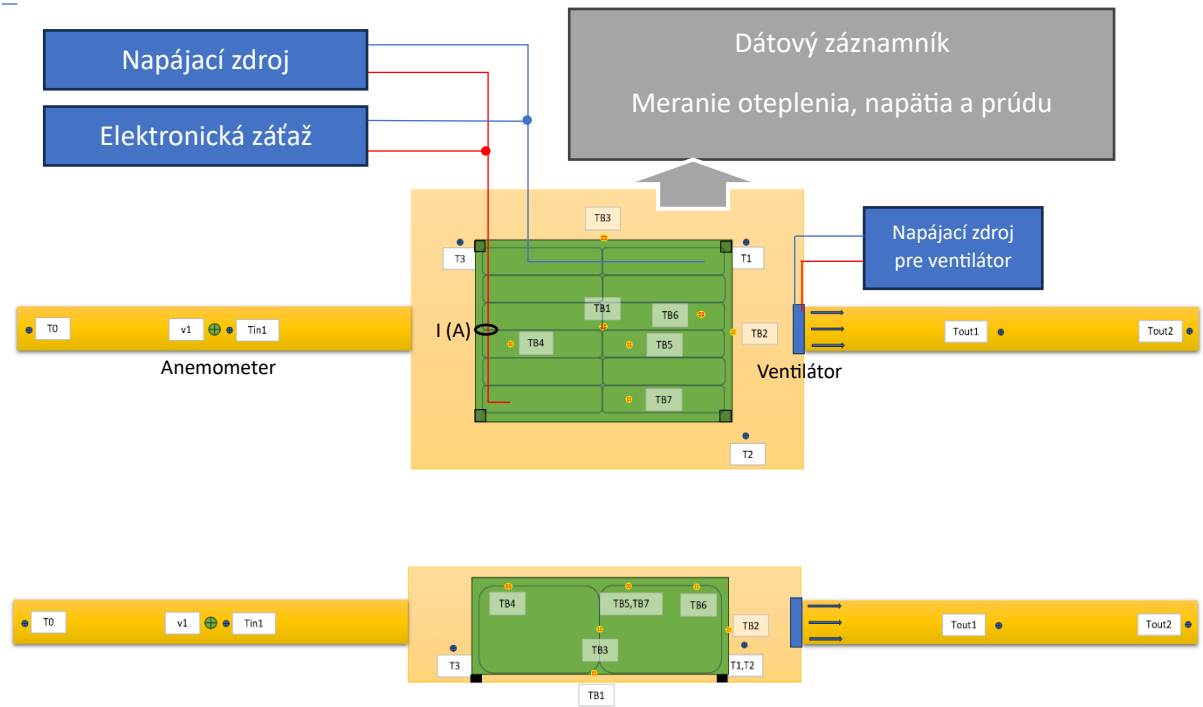
3. Použité prístroje

Názov zariadenia	Typ zariadenia	Výrobca zariadenia
Napájací zdroj	PSI 10360-40	EA Elektro-Automatik
Napájací zdroj	PS 10200-70	EA Elektro-Automatik
Elektronická záťaž	EA-EL 9200-140 B	EA Elektro-Automatik
Elektronická záťaž	EA-EL 9200-140 B	EA Elektro-Automatik
Napájací zdroj	HMP4040	Rohde & Schwarz
Dátový záznamník	DAQ970A	Keysight
Meracia karta	DAQM901A	Keysight
Meracia karta	DAQM901A	Keysight
Anemometer	Testo 425	testo
Bočník	200A/100mV (492,5 $\mu\Omega$)	NA
Termočlánky	typ TT-T-30-SLE-500	Omega

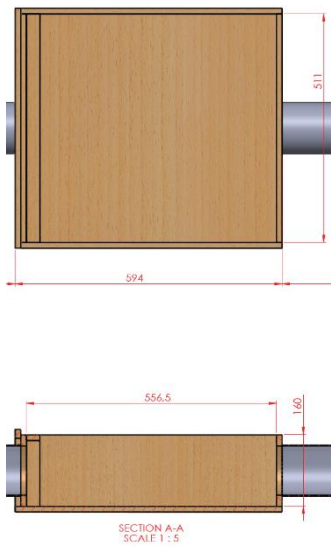
4. Opis merania

Batériové moduly boli umiestnené v tepelne izolovanom drevenom boxe s doplnenou tepelnou izoláciou polystyrénom o hrúbke 100mm. K boxu boli pripojené plastové rúry s vnútorným priemerom 106mm na zabezpečenie prietoku chladiaceho vzduchu. Ventilátor umiestnený v otvore boxu zabezpečoval požadovaný prietok chladiaceho vzduchu cez potrubie. Vo vstupnom potrubí je zabezpečené meranie teploty vstupného vzduchu a rýchlosť prúdenia vzduchu. Vo výstupnom potrubí je zabezpečené meranie teploty výstupného vzduchu. Meranie teplôt je zabezpečované na určených miestach na samotných moduloch, ako aj v priestore boxu.

Principiálna schéma zapojenia oteplení modulov a oteplenia vzduchu je zobrazená na obrázku 2. Vnútorné rozmery boxu simulujúce rack sú zobrazené na obrázku 3.



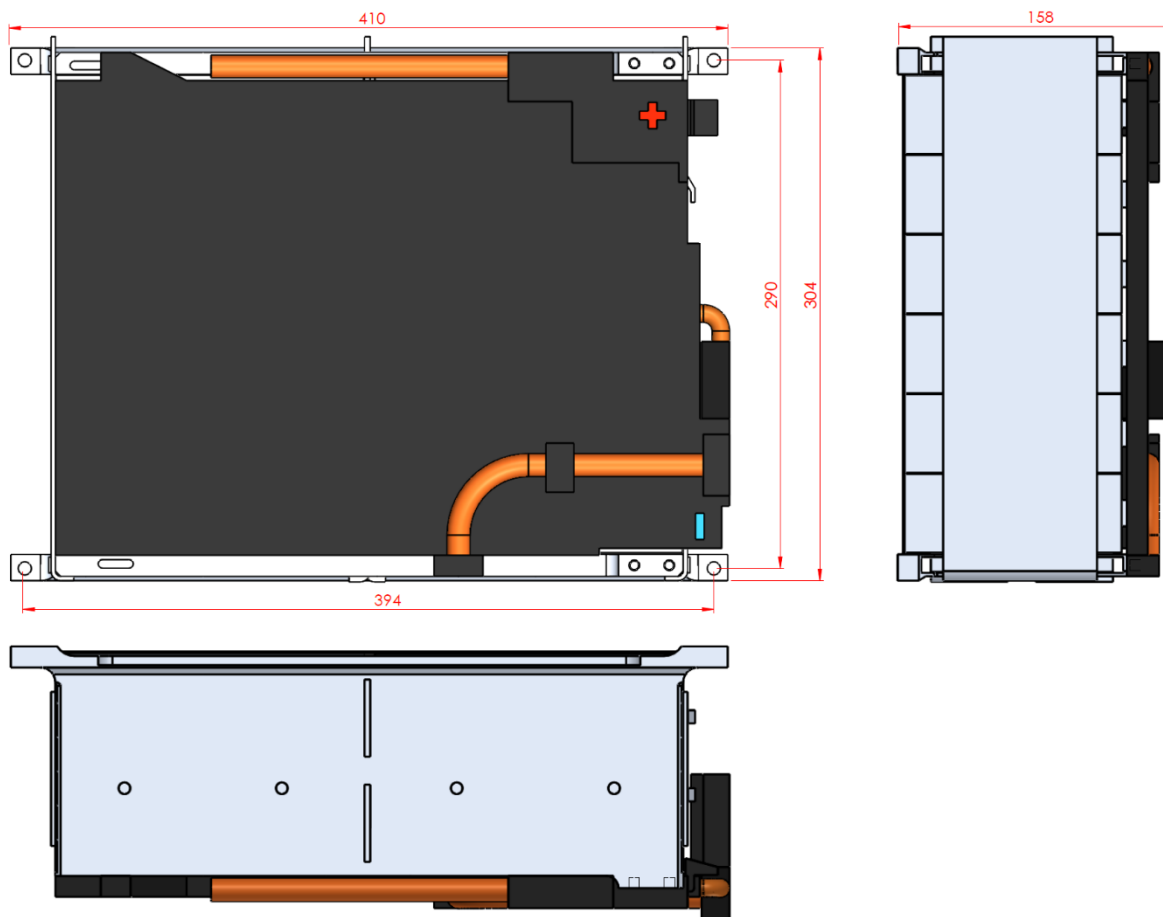
Obrázok 2 Principiálna schéma zapojenia merania tepla produkovaného batériovým modulom



Obrázok 3 Rozmery meracieho boxu

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0



Obrázok 4 Rozmery Batériového modulu BMW i3

5. Postup merania

- 5.1 Modul BMW i3 je pripojený k napájaciemu zdroju a elektronickej záťaži. Meranie prúdu je vykonávané na meracom bočniku zapojenom do série s batériovým modulom.
- 5.2 Napájací zdroj pre ventilátor je nastavený na nominálne napätie ventilátora (24V) bez prúdového obmedzenia, aby ventilátor zabezpečil maximálny prietok chladiaceho vzduchu. Rýchlosť prúdenia vzduchu z anemometra sú zapisované priebežne (každých 15 až 30min).
- 5.3 K dátovému záznamníku sú cez meracie karty pripojené termočlánky, meranie napätia z prúdového bočníka a merania napätí na jednotlivých článkoch batériového modulu. Záznam je nastavený na 10s s nepretržitým záznamom údajov.
- 5.4 Napájací zdroj je nastavený na nabíjací prúd $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 120Ah / 1h = 120A$ (alebo do maximálnej hodnoty nastaviteľnej zdrojmi) s limitáciou napätia $U = 8 * 4,2V = 33,6V$. Po zopnutí výstupu zdroja je batéria nabíjaná v režime konštantného prúdu (CC mode) a po dosiahnutí napätia batérie 33,6V zdroj prechádza do režimu nabíjania konštantným napätím (CV mode). Po dosiahnutí nabíjacieho prúdu hodnoty $I_t / 20$ je ukončené nabíjanie batériových modulov.
- 5.5 Elektronická záťaž je nastavená na vybíjací prúd $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 120Ah / 1h = 120A$ s limitáciou napätia $U = 8 * 2,5V = 20V$. Táto časť merania je zameraná na zmeranie aktuálnej kapacity modulu pri vybíjacom prúde $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h)$, ako aj na zistenie napätového profilu článkov pri vybíjaní.
- 5.6 Napájací zdroj je nastavený ako v bode 6.4 a elektronickej záťaže je nastavená ako v bode 6.5. Pri cyklickom prepínaní zopnutia napájacieho zdroja a elektronickej záťaže sú moduly

navíjané a vybíjané prúdom $I_t \text{ (A)} = C \text{ (Ah)} / 1 \text{ (h)}$, aby bolo dosiahnuté maximálne oteplenie. Počas merania sú sledované napätia na článkoch modulu a celkový prúd. K prepnutiu medzi zdrojom a záťažou by malo optimálne dochádzať v rozmedzí napätí na článkoch medzi 3 V až 4,15 V, kedy baterkou preteká maximálny prúd.

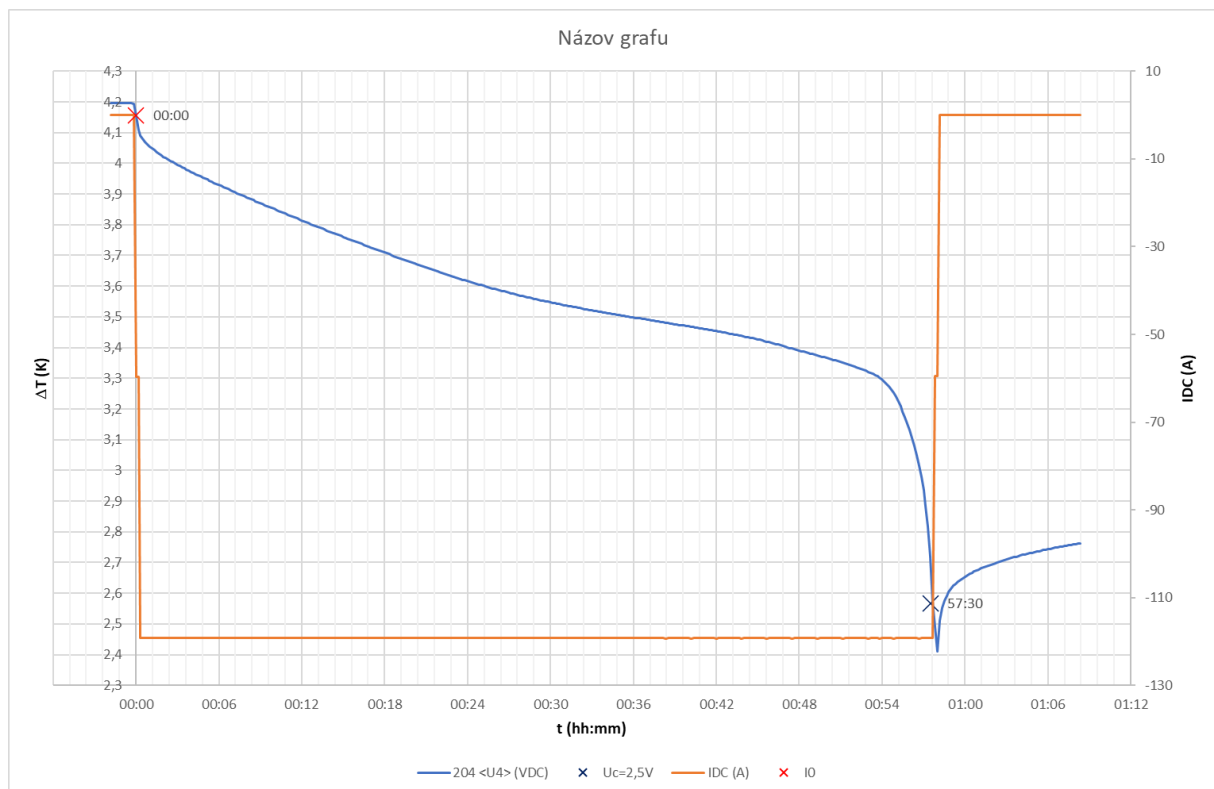
- 5.7 Cyklovanie pokračuje až do približnej stabilizácii nameraných teplôt (odhadované na 3 nabíjacie/vybíjacie cykly).
- 5.8 Po stabilizácii teplôt sú vypnuté napájací zdroj aj elektronická záťaž. Dátový záznamník je ponechaný zapnutý a zabezpečuje záznam meraní až do stabilizácii meraných teplôt.
- 5.9 Meranie dátovým záznamníkom môže byť po stabilizácii teplôt ukončené.

6. Výsledky merania

Namerané údaje boli vyexportované do CSV dátového súboru, a následne boli spracované v programe MS Excel.

- Meranie kapacity batériových modulov.

Kapacita modulu ja možné vypočítať integráciou prúdu do času, keď hodnota napätia článku dosiahne napätia 2,5V. V našom prípade prvý článok, ktorý dosiahol túto hodnotu bol článok č.3. Nameraná kapacita modulu je 114,95 Ah, čo pre deklarovanú kapacitu nového článku (120 Ah) predstavuje stav zdravia (SOH) o hodnote 95,78 %.



Obrázok 5 Časový priebeh napätia a prúdu článku U3 počas vybíjania

- Meranie oteplenia

Všetky namerané údaje boli exportované do súboru MS Excel : „Oteplenie VW e-Golf.xlsx“. Priemerná hodnota prietoku vzduchu meraného v nasávacom potrubí bola 3,0m/s, čo predstavuje

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

1,5885m³/min. Z vypočítanej hodnoty oteplenia je možné určiť priemernú energiu odoberané z batérie počas cyklického nabíjania a dochladzovania modulov až do vyrovnania vstupnej a výstupnej teploty chladiaceho vzduchu . Pre výpočet tepla použijeme nasledovný vzorec:

$$Q = m * C_p * (T_{out} - T_{in})$$

kde:

Q je množstvo tepla preneseného do batérie alebo z batérie (v J)

m je objem prietokového vzduchu (v kg/s) - (hustotu vzduchu uvažujeme 1,204 kg/m³) $m = S * v * \rho$

C_p je merná tepelná kapacita vzduchu (v J/kg.K) – (pre zjednodušene je možné uvažovať s hodnotou 1010 J/Kg.K)

T_{out} je teplota výstupného vzduchu (v °C)

T_{in} je teplota vstupného vzduchu (v °C)

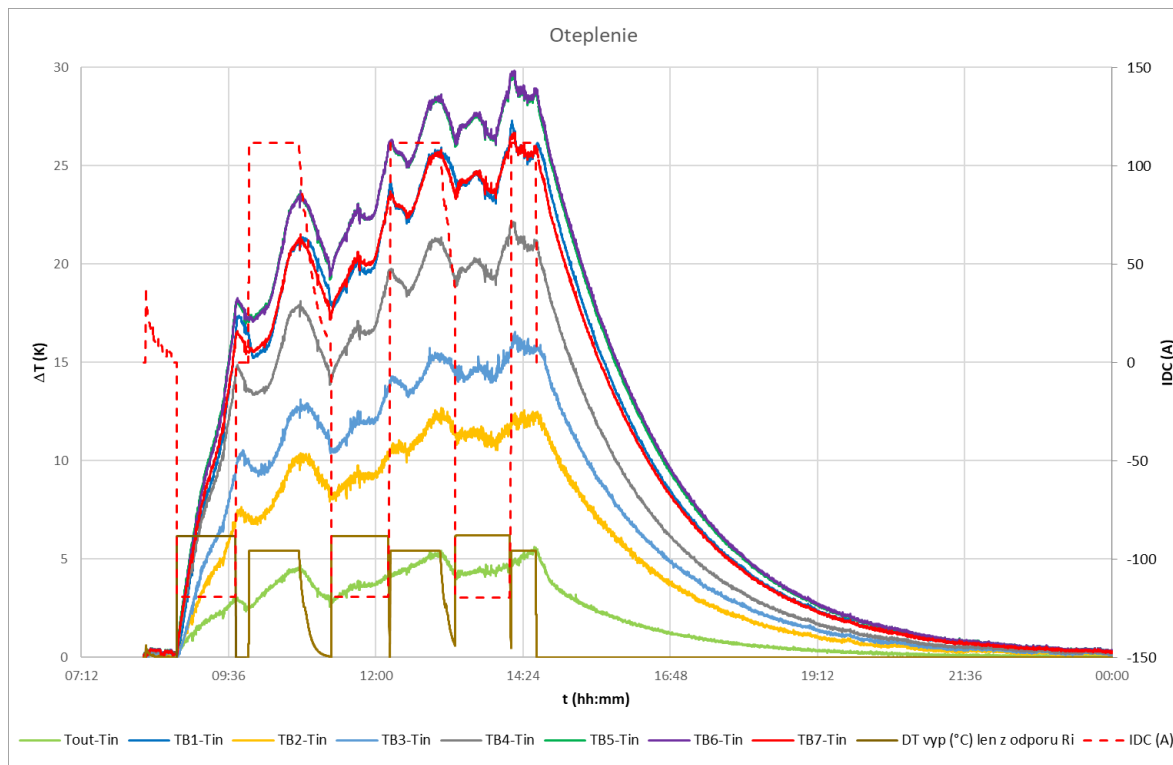
Na základe sumy oteplení je možné vypočítať ekvivalentný stratový odpor modulov.

$$\Delta T_{vyp} = (I_{DC})^2 * R_i / (m * C_p) .$$

Suma nameraných hodnôt (T_{out} - T_{in}) je za predpokladu neuvažovania ďalších tepelných strát cez meraciu aparatúru rovnaká so sumou vypočítaných hodnôt oteplenia ΔT_{vyp} . Na základe uvedeného je určená ekvivalentný stratový odpor pre moduly v meracej zostave R_i=14,04mΩ, alebo priemerne 1,17mΩ na článok .

Na základe uvedeného je celkový stratový výkon modulu pri pracovnom prúde I_t = 120A rovný približne 200W.

Najvyššie oteplenie namerané na batériovom module malo na úrovni 30 K v bode TB5 a TB6. Oteplenie výstupného vzduchu je na úrovni do 5,45K.



Obrázok 6 Časový priebeh oteplenia článkov a výstupného vzduchu počas cyklického nabíjania a vybíjania modulu prúdom I_{DC}

- Meranie vnútorného odporu článku (dvoch paralelne zapojených článkov)

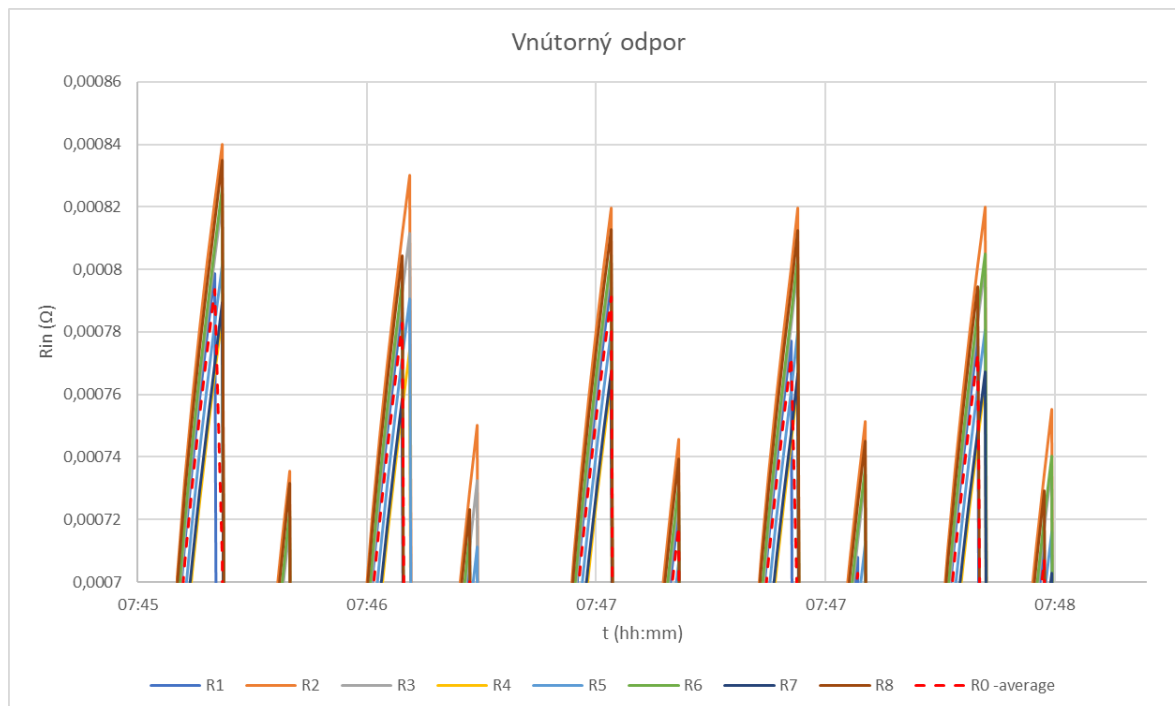
Počas meraní oteplenia boli skúšobne vykonané aj merania vnútorného odporu článkov. Elektronická záťaž bola nastavená na cyklické zapnutie a vypnutie pri vybíjancom prúde 126A. Dĺžka impulzu vybíjania trvala 10s. Dátový záznamník bol nastavený na záznam údajov každú sekundu.

Vyhodnotenie vnútorného odporu bolo vykonané podľa vzorca:

$R_{in} = (U_{t+10s} - U_t) / (I_{on})$, kde U_{t+10s} je napätie na článku v čase $t+10$ sekúnd, U_t je napätie na článku v čase t a I_{on} je vybíjací prúd.

Meranie vnútorného odporu bolo vykonané pred meraním oteplenia (Obrázok 7).

Z meraní je možné určiť vnútorný odpor článkov v rozmedzí pred meraním oteplenia (minimálna teplota článkov) od 0,77mΩ do 0,84 mΩ pričom priemerná hodnota je 0,8mΩ.



Obrázok 7 Graf určenia vnútorného odporu článkov

7. Záver

Výsledné namerané maximálne oteplenie batérie 30K pri rýchlosti prietoku vzduchu 3,02 m/s v nasávacom potrubí zabezpečuje dostatočné chladenie pre zabezpečenie maximálnej teploty modulu do 50°C pri maximálnej okolitej teplote chladiaceho vzduchu do 20°C.

Pre zabezpečenie maximálneho oteplenia modulu je možné zníženie maximálneho pracovného prúdu alebo vykonávať riadenie prúdového zaťaženia od meranej teploty modulu.

Pre zabezpečenie chladenia modulu je potrebné zabezpečiť zvýšenie prietoku chladiaceho vzduchu alebo zabezpečiť požadovanú teplotu chladiaceho vzduchu.

Odporúča sa vykonať porovnanie nameraných údajov so simulačným výpočtom.