

## Obsah

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

## Meranie produkovaného tepla batériového modulu Nissan Leaf

### 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 24 kusov modulov 4s2p.

Predmetom merania sú dva moduly 4s2p (zapojené so série) z EV batérie Nissan Leaf s interným označením N1.



Obrázok 1 Výrobný štítok EV batérie Nissan Leaf

### 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

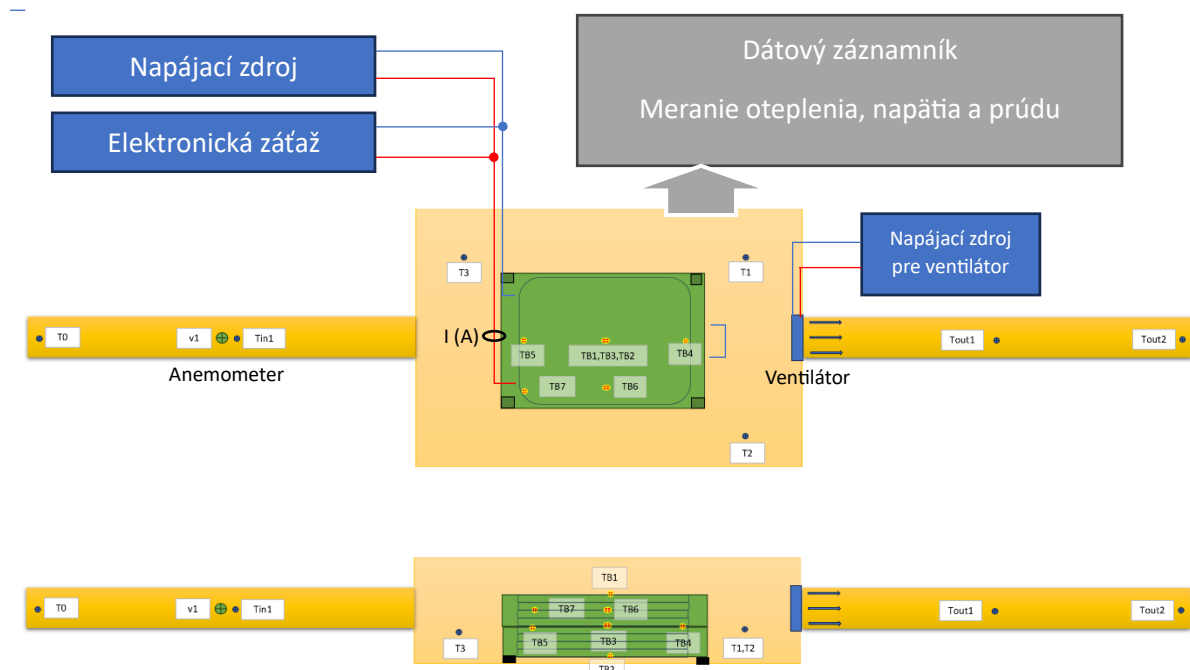
Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

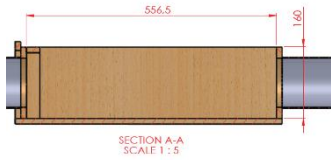
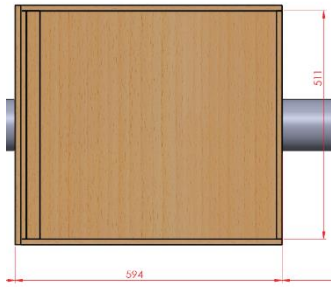
#### 4. Opis merania

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.

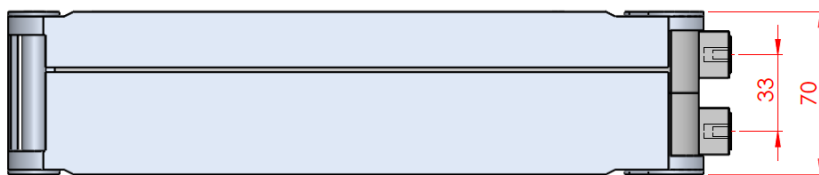
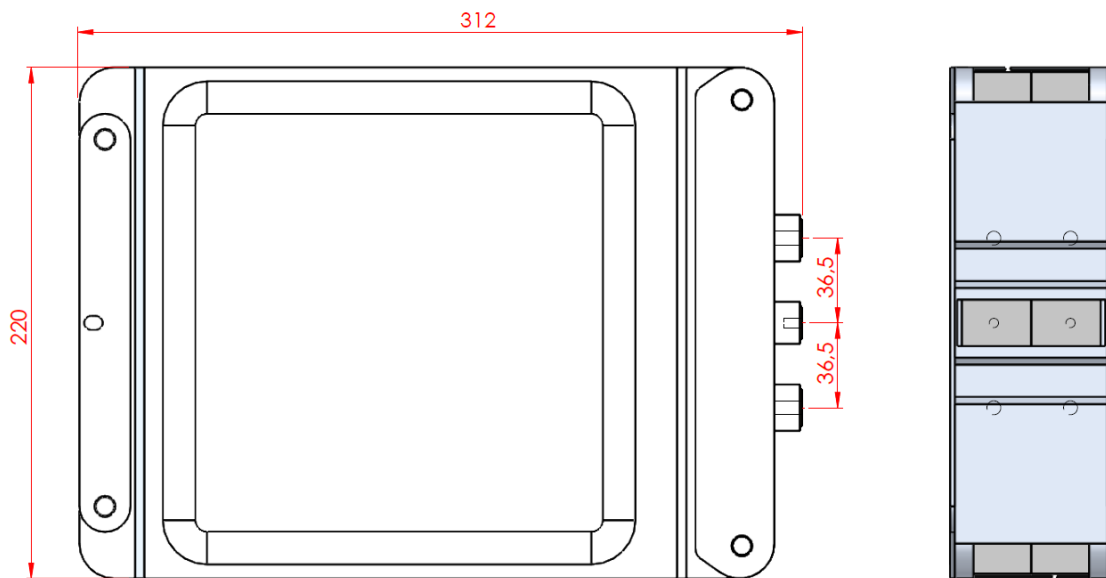
Principiálna schéma zapojenia oteplení modulov a oteplenia vzduchu je zobrazená na obrázku 2. Vnútročné rozmery boxu simulujúce rack sú zobrazené na obrázku 3.



Obrázok 2 Principiálna schéma zapojenia merania tepla produkovaného batériovým modulom



Obrázok 3 Rozmery meracieho boxu



Obrázok 4 Rozmery Batériového modulu Nissan Leaf

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

## 5. Postup merania

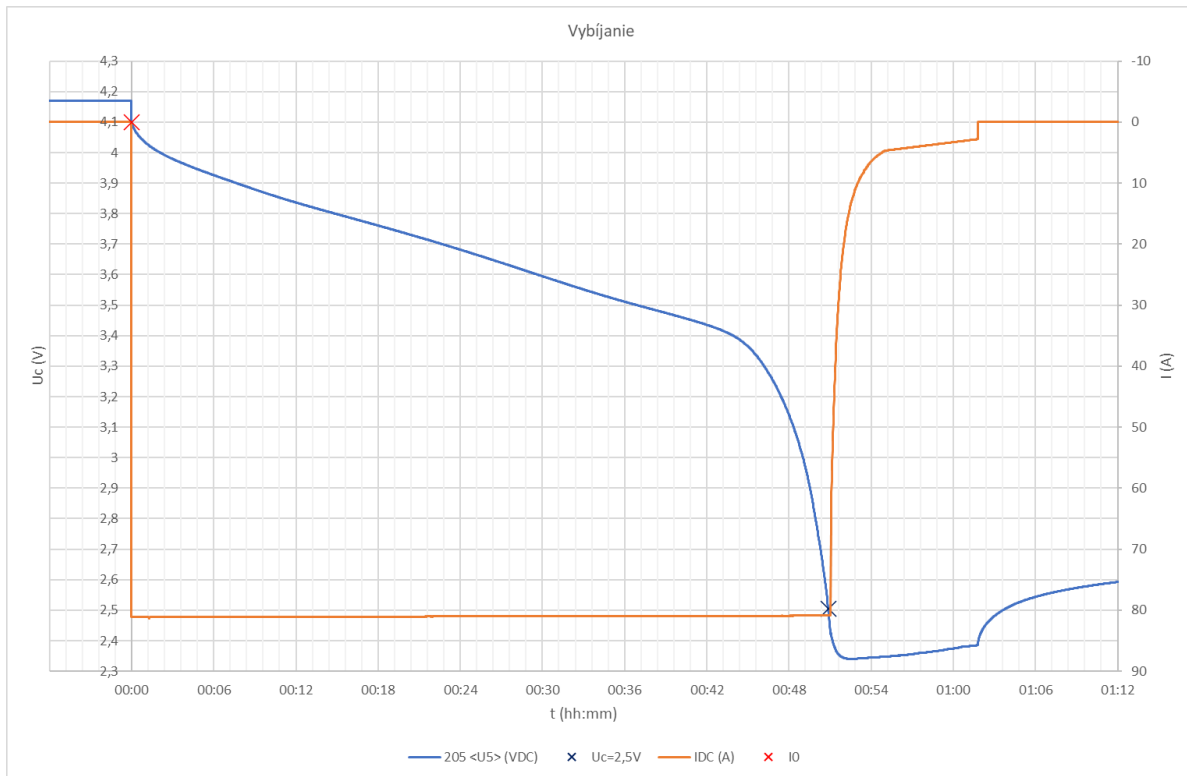
- 5.1 Dva moduly VW e-Golf zapojené do série sú pripojené k napájaciemu zdroju a elektronickej záťaži. Meranie prúdu je vykonávané na meracom bočníku zapojenom do série s batériovými modulmi.
- 5.2 Napájací zdroj pre ventilátor je nastavený na nominálne napätie ventilátora (24V) bez prúdového obmedzenia, 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 batériových modulov. Záznam je nastavený na 10s s nepretržitým záznamom údajov.
- 5.4 Napájací zdroj je nastavený na nabíjací prúd  $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 82Ah / 1h = 82A$  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 Elektronickej záťaži je nastavená na vybíjací prúd  $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 82Ah / 1h = 82A$  s limitáciou napätia  $U = 8 * 2,5V = 20V$ . Táto časť merania je zameraná na zmeranie aktuálnej kapacity modulu pri vybíjanom 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 záťaži je nastavená ako v bode 6.5. Pri cyklickom prepínaní zopnutia napájacieho zdroja a elektronickej záťaže sú moduly nabíjané a vybíjané prúdom  $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h)$ , 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 elektronickej 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.8 (článok č.4 na module č.2). Nameraná kapacita modulov je 63,6 Ah, čo pre deklarovanú kapacitu nového článku ( $2 * 41Ah = 82 Ah$ ) predstavuje stav zdravia (SOH) o hodnote 77,65 %.



Obrázok 5 Časový priebeh napätia a prúdu článku U5 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 3,25m/s, čo predstavuje 1,72m<sup>3</sup>/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:

$$Q = m * Cp * (Tout - Tin)$$

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/m<sup>3</sup>)  $m=S*v*\rho$

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

Tout je teplota výstupného vzduchu (v °C)

Tin je teplota vstupného vzduchu (v °C)

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

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

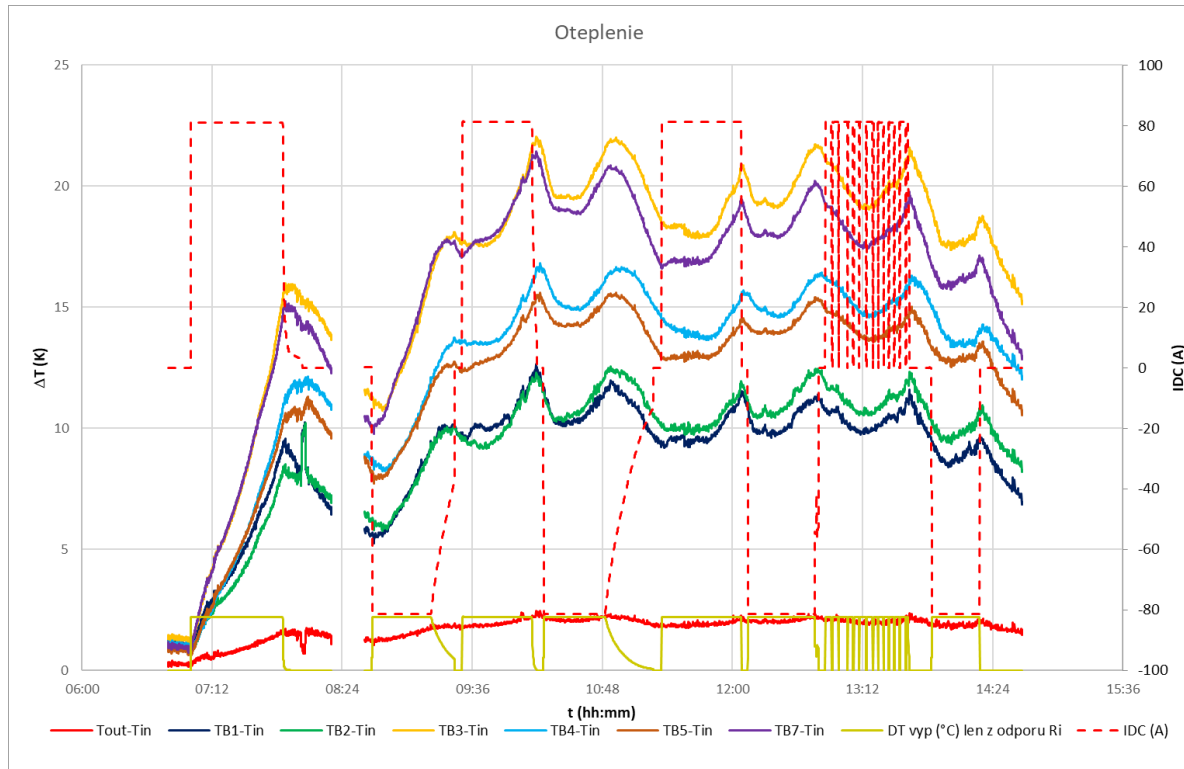
Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

Suma nameraných hodnôt ( $T_{out} - T_{in}$ ) je za predpokladu neuvažovania ďalších tepelných strát cez meraciu aparatúru rovnaká so sumou vypočítaných hodnôt oteplenia  $\Delta T_{vyp}$ . Na základe uvedeného je určená ekvivalentný stratový odpor pre moduly v meracej zostave  $R_i = 11,68 m\Omega$ , alebo priemerne  $1,46 m\Omega$  na článok (tri paralelne zapojené články).

Na základe uvedeného je celkový stratový výkon jedného modulu pri pracovnom prúde  $I_t = 82A$  rovný približne 40W.

Najvyššie oteplenie namerané na batériovom module malo na úrovni 22K v bode TB3 (medzi dvoma modulmi). Oteplenie výstupného vzduchu je na úrovni do 2,3K.



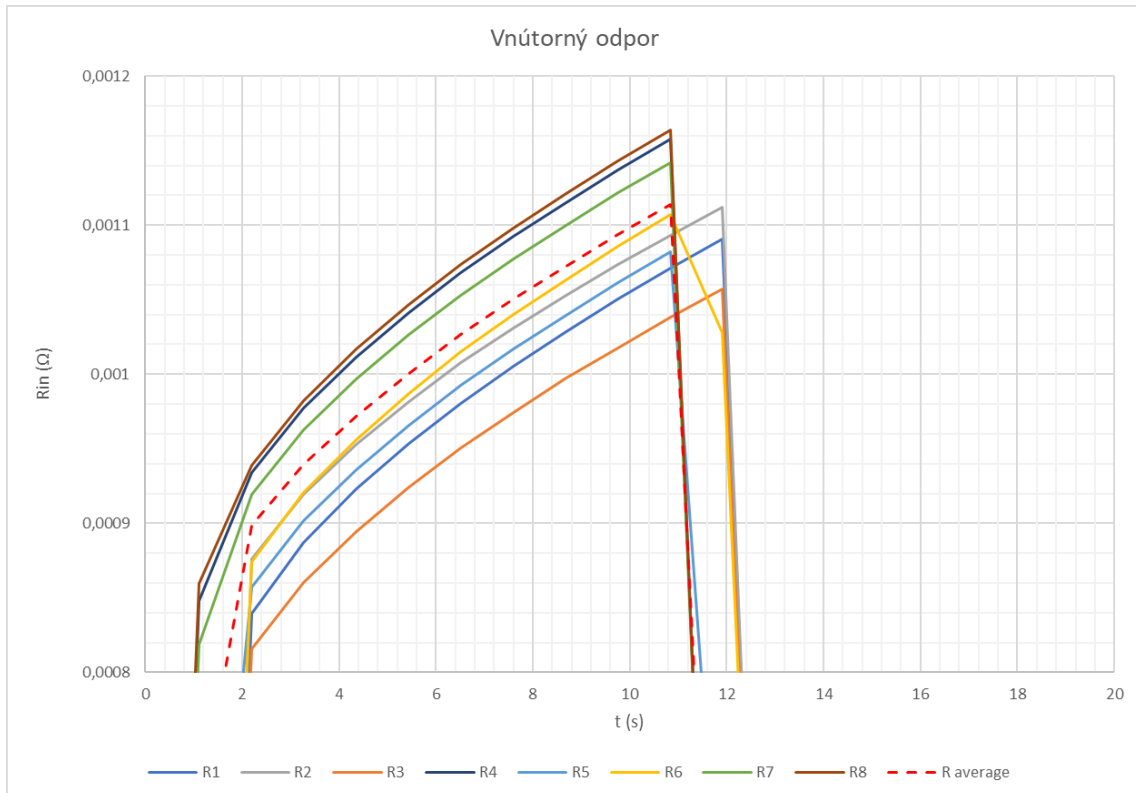
Obrázok 6 Časový priebeh oteplenia článkov a výstupného vzduchu počas cyklického nabíjania a vybíjania modulov prúdom  $I_{DC}$

- Meranie vnútorného odporu článku (dvoch paralelne zapojených článkov)

Počas meraní oteplenia boli skúšobne vykonané aj merania vnútorného odporu článkov. Elektronická záťaž bola nastavená vybíjancom prúde 82A. Počas prvotného zapnutia zaťaženia bol odčítaný pokles napätia po 10s o začiatku vybíjania a podelený na prúd počas vybíjania (Obrázok 7). 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.

Z merania je možné určiť vnútorný odpor článkov v rozmedzí pred meraní oteplenia (minimálna teplota článkov) od 1,06mΩ do 1,16 mΩ priemerná hodnota 1,115mΩ.



Obrázok 7 Graf určenia vnútorného odporu článkov

## 7. Záver

Výsledné namerané maximálne oteplenie batérie 22K pri rýchlosti prietoku vzduchu 3,25 m/s v nasávacom potrubí zabezpečuje dostatočné chladenie pre zabezpečenie maximálnej teploty modulu do 50°C pri maximálnej okolitej teplote chladiaceho vzduchu do 28°C pri prúdovom zaťažení

$$I_t \text{ (A)} = C \text{ (Ah)} / 1 \text{ (h)}$$

Odporúča sa vykonať porovnanie nameraných údajov so simulačným výpočtom.