

Obsah

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

Meranie produkovaného tepla batériového modulu VW e-Golf

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 17 kusov modulov 4s3p a 10 kusov modulov 2s3p.

Predmetom merania sú dva moduly 4s3p (zapojené so série) z EV batérie Volkswagen e-Golf s interným označením W15.



Obrázok 1 Výrobný štítok EV batérie VW e-Golf

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

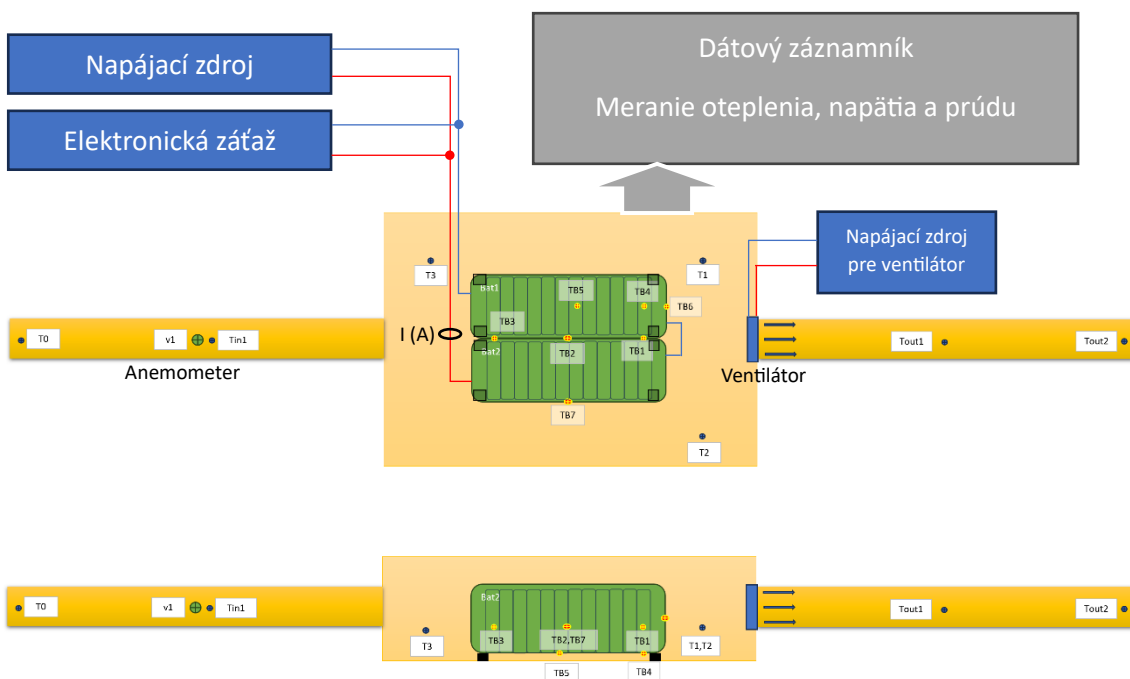
Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

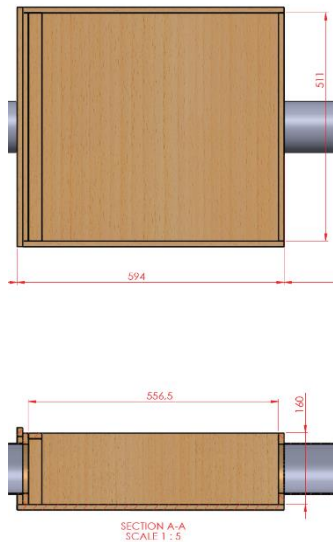
4. Opis merania

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.

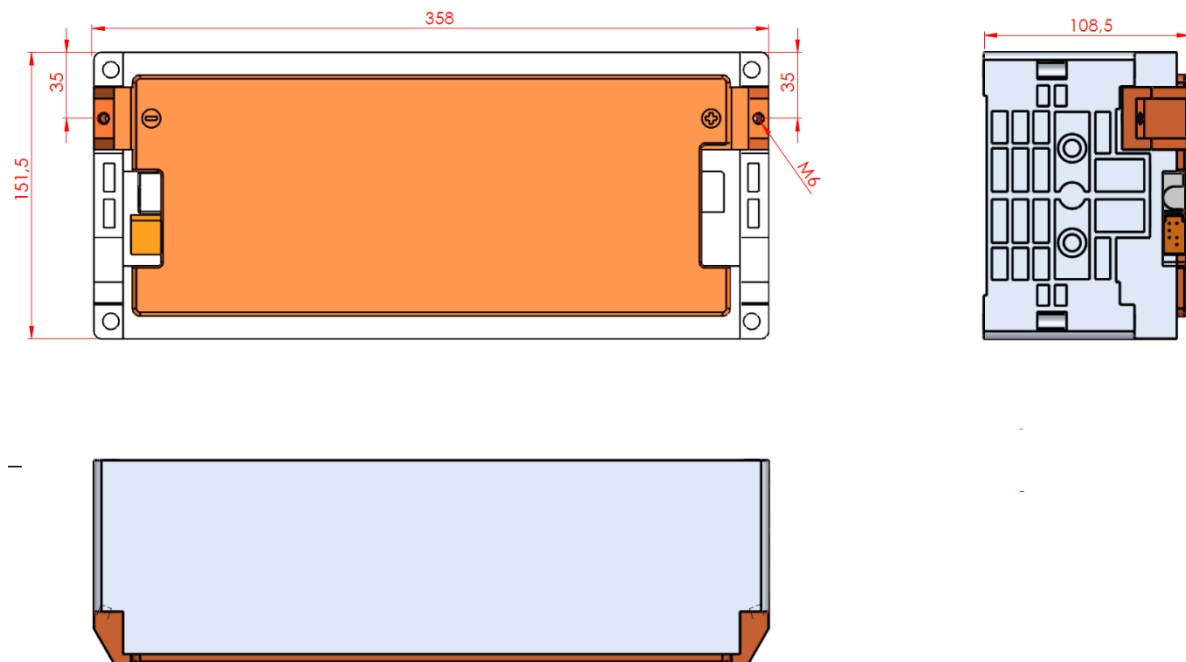
Principiálna schéma zapojenia oteplení modulov a oteplenia vzduchu je zobrazená na obrázku 2. Vnútročné rozmery boxu simulujúce rack sú zobrazené na obrázku 3.



Obrázok 2 Principiálna schéma zapojenia merania tepla produkovaného batériovým modulom



Obrázok 3 Rozmery meracieho boxu



Obrázok 4 Rozmery Batériového modulu VW e-Golf

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).

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

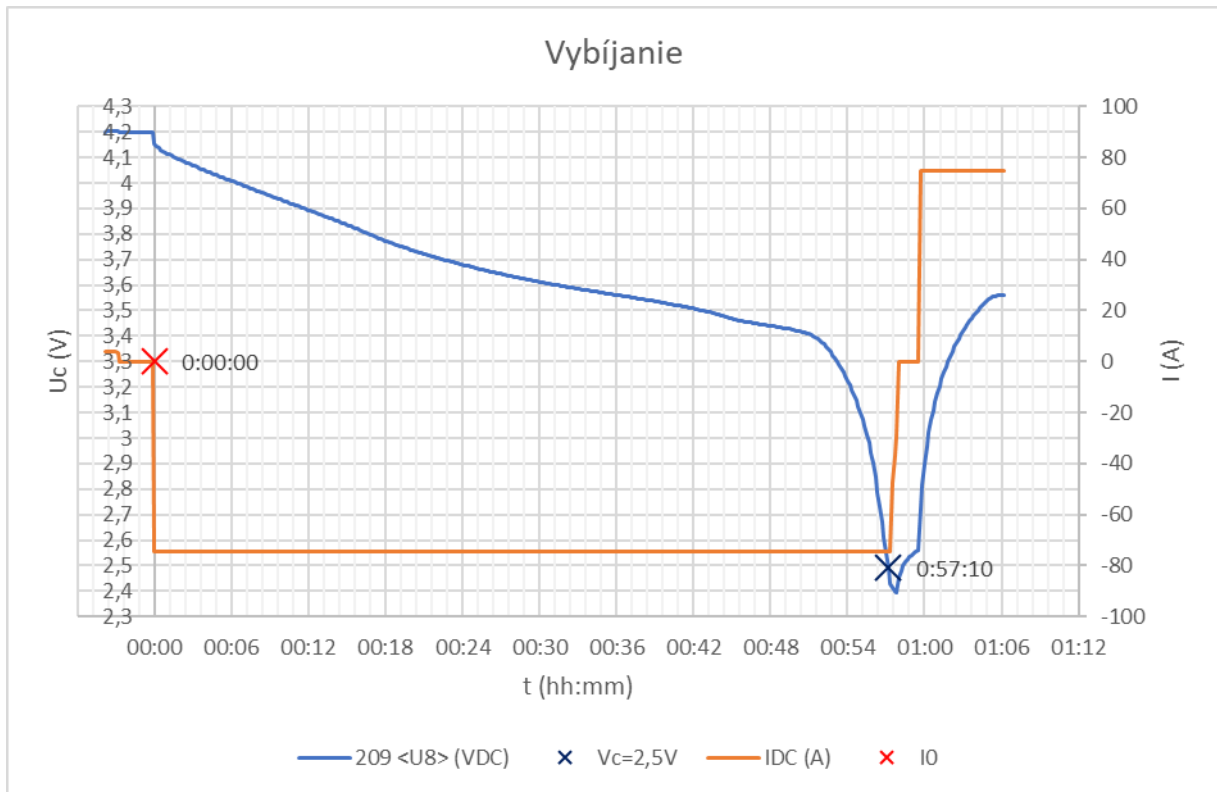
- 5.3 K dátovému záznamníku sú cez meracie karty pripojené termočlánky, meranie napätia z prúdového bočníka a merania napätí na jednotlivých článkoch batériových modulov. Záznam je nastavený na 10s s nepretržitým záznamom údajov.
- 5.4 Napájací zdroj je nastavený na nabíjací prúd $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 75Ah / 1h = 75A$ 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 $I_t (A) = C (Ah) / 1 (h) = 75Ah / 1h = 75A$ 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 elektronická záťaž je nastavená ako v bode 6.5. Pri cyklickom prepínaní zopnutia napájacieho zdroja a elektronickej záťaže sú moduly navíjané 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 navíjacie/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.8 (článok č.4 na module č.2). Nameraná kapacita modulov ja 71,37 Ah, čo pre deklarovanú kapacitu nového článku ($3 * 25Ah = 75 Ah$) predstavuje stav zdravia (SOH) o hodnote 95,16 %.



Obrázok 5 Časový priebeh napätia a prúdu článku U8 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 3,11m/s, čo predstavuje 1,6467m³/min. Z vypočítanej hodnoty oteplenia je možné určiť priemernú energiu odoberanú 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/m³) $m = S * v * \rho$

Cp je merná tepelná kapacita vzduchu (v J/kg.K) – (pre zjednodušenie 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.

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

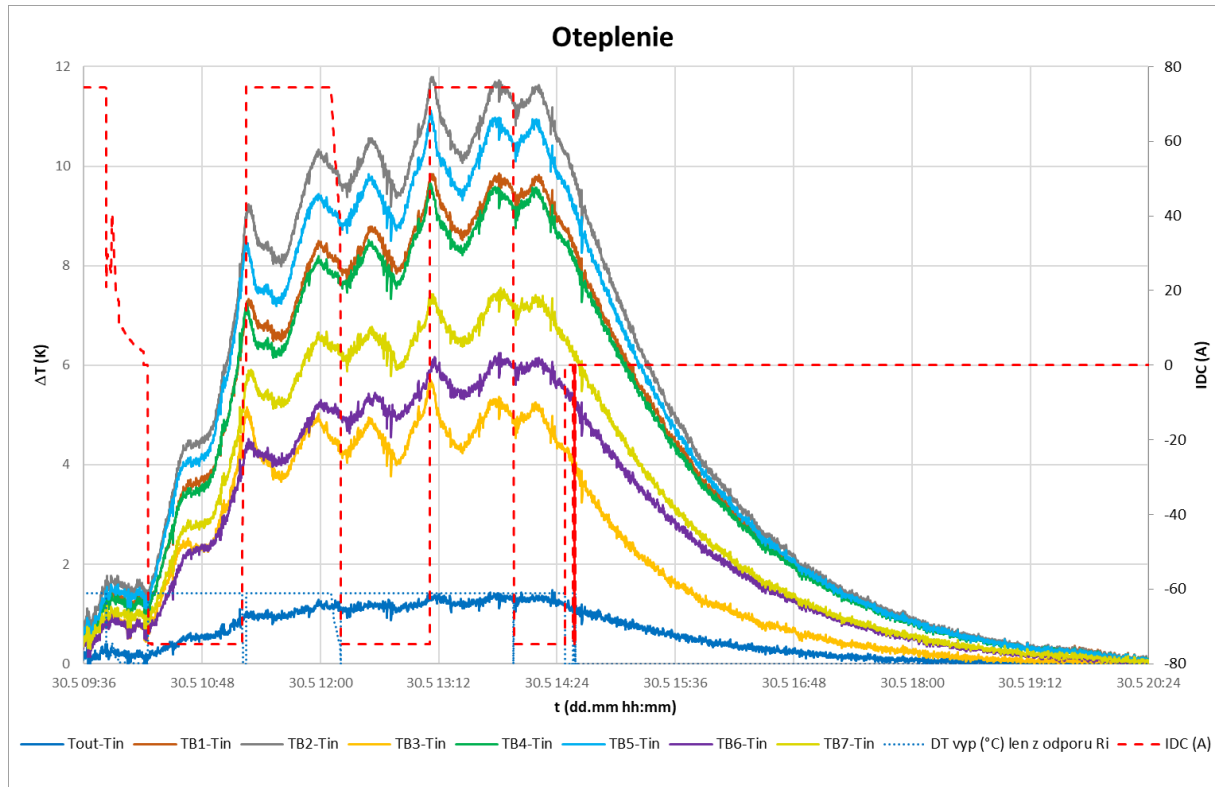
Citlivosť: Projektový

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 ΔT_{vyp} . Na základe uvedeného je určená ekvivalentný stratový odpor pre moduly v meracej zostave $R_i=8,48m\Omega$, alebo priemerne $1,06m\Omega$ na článok (tri paralelne zapojené články).

Na základe uvedeného je celkový stratový výkon modulu pri pracovnom prúde $I_t = 75A$ rovný približne 24W.

Najvyššie oteplenie namerané na batériovom module malo na úrovni 12K v bode TB2 (medzi dvoma modulmi). Oteplenie výstupného vzduchu je na úrovni do 1,5K.



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

- Meranie vnútorného odporu článku (troch paralelne zapojených článkov)

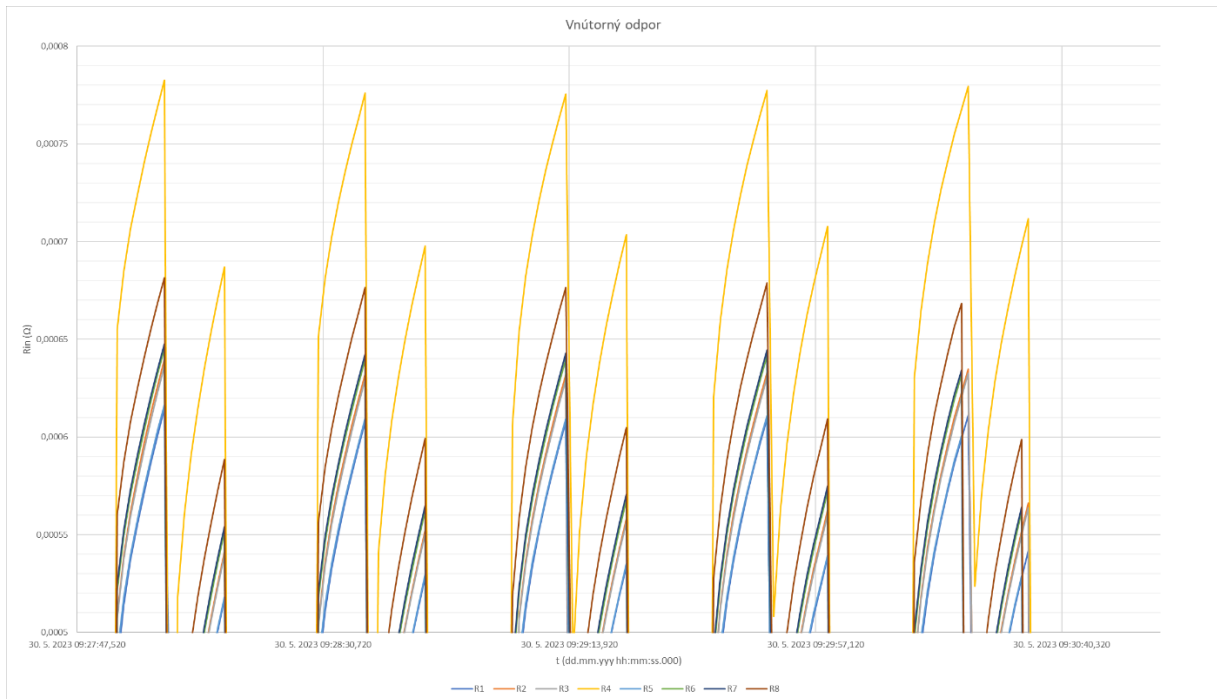
Počas meraní oteplenia boli skúšobne vykonané aj merania vnútorného odporu článkov. Elektronická záťaž bola nastavená na cyklické zapnutie a vypnutie pri vybíjanom prúde 75A. Dĺžka impulzu vybíjania trvala 10s. Dátový záznamník bol nastavený na záznam údajov každú sekundu.

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 a po skončení cyklického nabíjania a vybíjania (Obrázok 7).

Z meraní je možné určiť vnútorný odpor článkov v rozmedzí pred meraní oteplenia (minimálna teplota článkov) priemerná hodnota $0,65\text{m}\Omega$ a od $0,61\text{m}\Omega$ do $0,78\text{m}\Omega$ od $0,54\text{m}\Omega$ do $0,71\text{m}\Omega$ po meraní oteplenia (maximálna teplota článkov) priemerná hodnota $0,59\text{m}\Omega$.



Obrázok 7 Graf určenia vnútorného odporu článkov pred (horný obrázok) a po meraní oteplenia (spodný obrázok)

Citlivosť: Projektový

Verzia: 1.0

7. Záver

Výsledné namerané maximálne oteplenie batérie 12K pri rýchlosti prietoku vzduchu 3,11 m/s v nasávacom potrubí zabezpečuje dostatočné chladenie pre zabezpečenie maximálnej teploty modulu do 50°C pri maximálnej okolitej teplote chladiaceho vzduchu do 38°C.

Pre efektívne využitie priestoru v navrhovanom konštrukčnom riešení „Packu“ je odporúčané vykonať doplňujúce meranie so štyrmi modulmi VW e-Golf zapojenými do série pri rôznych prietokoch chladiaceho vzduchu a pri rôznej úrovni zaťaženia prúdom. Taktiež je vhodné simulovať poruchu chladiaceho systému vypnutím a upchaním chladiacich otvorov.

Odporúča sa vykonať porovnanie nameraných údajov so simulačným výpočtom.