

MERANIE MERNEJ TEPELNEJ KAPACITY S VYUŽITÍM PROSTRIEDKOV MATLABU

M. Lukáč, J. Terpák

Technická univerzita v Košiciach

Fakulta FBERG, Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov

Slovenská republika

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá meraním mernej tepelnej kapacity kalorimetrom s využitím prostriedkov MATLABu. Obsahuje analýzu základných pojmov, návrh blokovej schémy meracieho systému, resp. meracieho reťazca, realizáciu technických prostriedkov a realizáciu programových prostriedkov, t.j. tvorbu aplikácie v prostredí MATLAB určenej pre meranie mernej tepelnej kapacity látok, pričom aplikácia obsahuje spracovanie meraných dát a grafické užívateľské rozhranie. V závere príspevku sú uvedené výsledky overenia funkčnosti celého meracieho systému pre navrhnuté metódy merania a možnosti ďalšieho zlepšenia.

1 Analýza základných pojmov

Z hľadiska merania mernej tepelnej kapacity k základným pojmom patria teplo, teplota, tepelná kapacita, merná tepelná kapacita a kalorimeter.

„Teplota je fyzikálna veličina charakterizujúca tepelný stav látok na základe jeho porovnania s referenčným stavom zvoleným za základ“ [1].

„Teplo je miera zmeny vnútornej energie sústavy telesa, keď sa pri deji nekoná práca. Je to energia prenesená medzi sústavou a jej okolím pri teplotnom rozdieli medzi nimi.“ [1].

Tepelná kapacita je veľmi dôležitá pri procese vedenia tepla, akumulácii tepla a predstavuje množstvo dodaného tepla, ktoré ovplyvňuje hmotnosť a rozdiel teplôt. Teplo prijaté nejakým telesom je úmerné jeho hmotnosti a rozdielu jeho teplôt. Konštantou úmernosti je merná tepelná kapacita c , ktorá sa meria v jednotkách J/kg.K. Napríklad merná tepelná kapacita vody je $c=4.19$ kJ/kg.K. To znamená, že je potrebné dodať energiu 4.19 kJ, aby sme ohriali 1 kilogram vody o 1 K. Preto platí nižšie uvedený vzťah výpočtu c [2]

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (1)$$

kde Q je dodané teplo, m je hmotnosť telesa, ΔT je rozdiel teplôt, o ktoré bolo teleso ohriate.

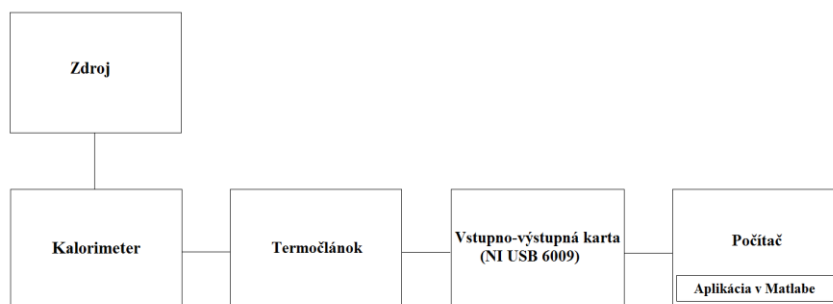
Kalorimeter je zariadenie, ktoré sa využíva na určovanie merných tepelných kapacít rôznych látok. Kalorimeter určený pre meranie musí byť dobre tepelne izolovaný, aby sa predišlo a zabránilo stratám tepla do okolia a tým pádom predišlo skresleniu, nepresnostiam a chybám pri výsledkoch merania.[3] Pri určovaní hodnoty meraných tepelných kapacít látok sa využíva kalorimetrická rovnica, uvedená týmto vzťahom (2)

$$c_1 m_1 (T_1 - T_M) = c_2 m_2 (T_M - T_2), \quad (2)$$

kde c_1 je merná tepelná kapacita prvej látky, c_2 je merná tepelná kapacita druhej látky, m_1 je hmotnosť prvej látky, m_2 je hmotnosť druhej látky, T_1 je teplota prvej látky, T_2 je teplota druhej látky, T_M je výsledná teplota.

2 Návrh meracieho reťazca

Pre vykonávanie samotných meraní a experimentov bol potrebný návrh meracieho reťazca. Merací reťazec pozostáva z nasledujúcich častí: zdroj, kalorimeter, termočlánok, vstupno-výstupná karta, osobný počítač. Uvažované sú dva druhy kalorimetrov: prvý je kalorimeter s interným odporovým ohrevom a druhý je kalorimeter bez interného odporového ohrevu. Kalorimeter s interným odporovým ohrevom vyžaduje elektrický zdroj pre správne fungovanie odporového ohrevu vody. Ďalej merací reťazec pozostáva z dvoch termočlánkov typu K, prvým termočlánkom meriame teplotu okolia a druhým termočlánkom meriame teplotu vody v kalorimetri. Termočlánky sú pripojené ku vstupno-výstupnej karte NI USB 6009 na jej dva analógové vstupy. Vstupno-výstupná karta je pripojená k osobnému počítaču prostredníctvom USB rozhrania [4]. Na nasledujúcom obrázku (Obr. 1) je znázornená bloková schéma meracieho reťazca.



Obr. 1: Bloková schéma meracieho reťazca

3 Realizácia technických a programových prostriedkov

Na základe návrhu meracieho reťazca boli následne realizované technické a programové prostriedky.

3.1 Technické prostriedky

Ku kalorimetru s interným odporovým ohrevom bol potrebný zdroj elektrického napätia. Kalorimeter s interným odporovým ohrevom by mal byť pod napätím, vtedy keď sú špirály vo vode, aby nedošlo k ich poškodeniu. Odporový kalorimeter je pripojený k elektrickému zdroju dvomi prepojovacími káblami. Po zapojení prepojovacieho káblu je možné nastaviť na odporovom kalorimetri s interným ohrevom rôzne hodnoty odporov 2, 4 resp. 6 Ω .

Pre kompaktnosť, praktickosť a ľahkú použiteľnosť sme zostrojili podložku vyrobenú z plexiskla (Obr. 2). V samotných začiatkoch bolo potrebné zistiť, či zariadenie funguje správne. Najprv sa prepojila karta s počítačom prostredníctvom USB kábla. Správnu funkčnosť a komunikáciu zariadenia s počítačom signalizuje a určuje blikanie zelenej LED diódy, ktorá je umiestnená hneď pri USB vstupe na karte.



Obr. 2: Kompletný merací reťazec

Po správnom zapojení USB karty a termočlánku bol nižšie uvedený zdrojový kód umiestnený do príkazového riadku a prostredníctvom uvedeného zdrojového kódu sa realizovali skúšobné merania.

1. `s = daq.createSession('ni');`
2. `s.addAnalogInputChannel('Dev2','ai0', 'Voltage');`
3. `s.Rate = 2;`
4. `s.DurationInSeconds = 5;`
5. `s.Channels.Range = [-1 1];`
6. `[volty,time]=s.startForeground()`

Po zadaní všetkých uvedených príkazov do príkazového riadku sa zobrazili namerané hodnoty teploty vo voltoch.

3.2 Programové prostriedky

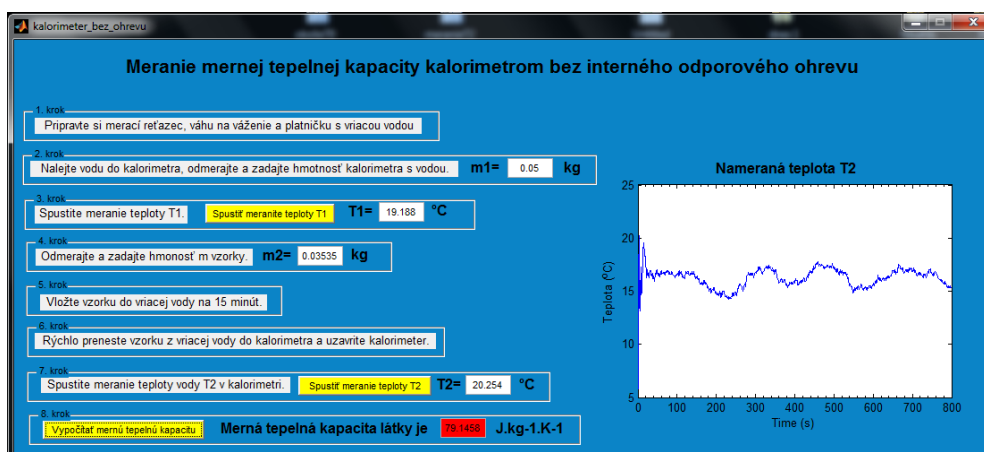
Programové prostriedky boli realizované v prostredí MATLAB a predstavovali dve časti. Prvá časť sa zameriava na spracovanie nameraného signálu termočlánkom, a jeho prevod na teplotu a štatistické spracovanie nameraných teplôt prostredníctvom Data Acquisition Toolbox. Dáta, ktoré sme termočlánkom namerali boli vo voltoch, preto bol potrebný ich prevod na milivolty.

Pre prevod milivoltov na teplotu sa využíva prevodová charakteristika termočlánku typu K vzťah(3), kedy „na výpočet teploty z nameraného termoelektrického napätia sa používa inverzná funkcia, to znamená že teplota sa vyjadruje ako funkcia generovaného termoelektrického napätia“ [5]

$$t = b_0.U^0 + b_1.U^1 + b_2.U^2 + \dots + b_i.U^i + \dots + b_n.U^n, \quad (3)$$

kde b_0 až b_n sú koeficienty polynómu, U je generované termoelektrické napätie v (mV).

V druhej časti je realizované grafické rozhranie medzi meracím systémom a užívateľom s využitím grafického užívateľského rozhrania GUI (Graphic User Interface), dôvodom je to aby sa zabezpečila interaktívna komunikácia s meracím systémom. Navrhnuté a realizované boli dve rôzne metódy merania v podobe dvoch samostatných aplikácií. Prvá metóda vyžaduje externý ohrev meranej vzorky a druhá metóda využívala priamo interný ohrev vody a vzorky v kalorimetri. Na nasledujúcom obrázku (Obr. 3) je znázornená aplikácia pre meranie mernej tepelnej kapacity kalorimetrom bez interného odporového ohrevu.



Obr. 3: Aplikácia pre kalorimeter bez interného odporového ohrevu

Aplikácia sa skladá z desiatich samostatných krokov, z ktorých každý musí byť správne vykonaný, lebo je veľmi dôležitý pri výpočte mernej tepelnej kapacity vzorky.

V prvom kroku aplikácie sa sleduje prípravenie meracieho reťazca, skontrolovanie častí meracieho reťazca a overenie správneho zapojenia.

Druhým krokom v aplikácii je zadanie hmotnosti kalorimetra s vodou v kilogramoch do príslušného výstupného okna.

Tretí krok v sebe zahŕňa spustenie merania teploty T1, prostredníctvom kliknutia na tlačidlo **Spustiť meranie teploty T1**. Po kliknutí sa spustí meranie termočlánkom, ktorý meria teplotu okolia. Po vykonaní tohto merania sa meria teplota vody v kalorimetri druhým termočlánkom. Meranie tejto teploty trvá približne desať minút. Po uplynutí doby sa zobrazí teplota v okne v Celziových stupňoch.

Štvrtým krokom je odváženie zvolenej vzorky na váhach a zapísanie nameranej hodnoty hmotnosti v kilogramoch do príslušného výstupného okna.

Piatym krokom je pri meraní mernej tepelnej kapacity umiestnenie zvolenej meranej vzorky do 100 °C vody. Odporúčame ju nechať v 100 °C vode dostatočne dlhý čas, aby sme mali istotu, že vzorka bude mať teplotu 100 °C.

Šiestym krokom je po uplynutí doby ohrevu vzorky jej rýchle vybratie z vriacej vody a premiestnenie vzorky do kalorimetra. Po premiestnení vzorky kalorimeter čo najrýchlejšie uzavrieme.

Siedmym krokom je pri meraní mernej tepelnej kapacity spustenie merania teploty T2, prostredníctvom kliknutia na tlačidlo **Spustiť meranie teploty T2**. Po uplynutí doby merania sa zobrazí teplota T2 v okne teplota v stupňoch Celzia.

Pri siedmom kroku sa zobrazí graf nameraných hodnôt, v ktorom sú zobrazené namerané hodnoty upravené kľzavým priemerom. V grafe je možné vidieť odozvu na jednotkový skok, ktorá nastane po vložení zohriatej meranej vzorky.

Posledným ôsmym krokom je vypočítanie hodnoty meranej tepelnej kapacity vzorky.

V poslednom ôsmom kroku klikneme na tlačidlo **Vypočítať mernú tepelnú kapacitu** a program vypočíta mernú tepelnú kapacitu vzorky, ktorú aplikácia zaznačí do červeného políčka, uvedeného na predchádzajúcom obrázku (Obr. 3).

4 Overenie funkčnosti

Po návrhu a realizácii prostriedkov bola overená funkčnosť navrhnutých metód, resp. aplikácií v prostredí MATLAB. Pri overení funkčnosti meracieho reťazca bolo najprv potrebné vybrať a zvoliť vhodnú vzorku určenú na meranie. Overenie metódy bolo realizované na vzorke mosadze so známou mernou tepelnou kapacitou $c_p=388.7$ kJ/kg.K. Realizované boli merania pri rôznych podmienkach a následne boli merania spracované a vyhodnotené v podobe tabuliek a grafov.

Pre porovnanie meraní, ktoré sa realizovali na kalorimetri bez interného odporového sa využil vzťah (4), ktorý je určený na výpočet hodnoty relatívnej chyby v percentách, podľa nameraných hodnôt

$$\delta_{c_p} = \frac{100 \cdot (c_p - c_{p_m})}{c_p}, \quad (4)$$

kde c_p je známa merná tepelná kapacita a c_{p_m} je nameraná merná tepelná kapacita.

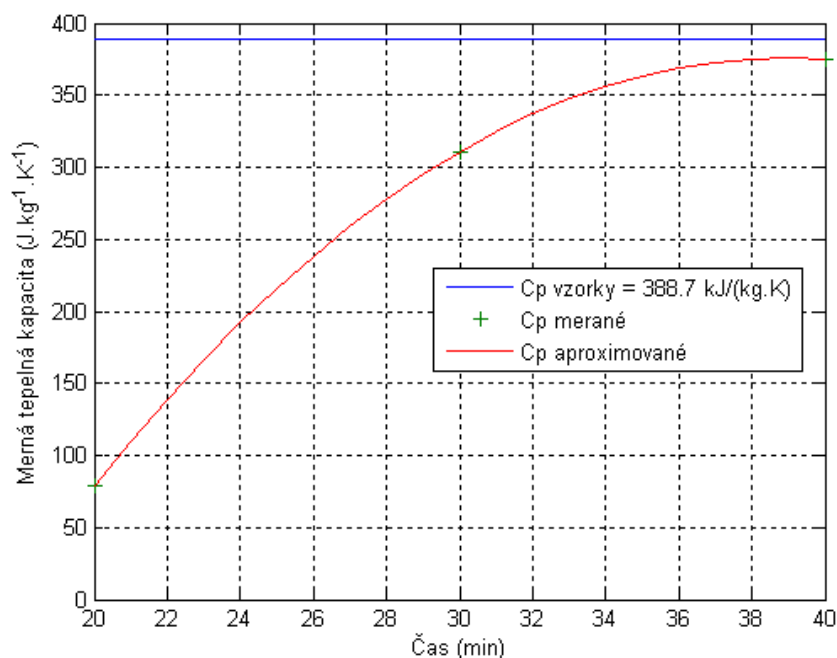
V nasledujúcej tabuľke (Tab. 1) sú uvedené namerané teploty pri meraniach merných tepelných kapacít, vypočítané merné tepelné kapacity a relatívna chyba v percentách

Tab. 1: HODNOTY NAMERANÝCH ÚDAJOV

| Veličina | Metóda 1 | | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | 1.meranie | 2. meranie | 3.meranie |
| čas ohrevu (min) | 20 | 30 | 40 |
| T1 (°C) | 19.19 | 17.75 | 16.72 |
| T2 (°C) | 20.25 | 21.86 | 21.55 |
| merná tepelná kapacita (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹) | 79.15 | 310.83 | 364.31 |
| relatívna chyba (%) | 391.12 | 25.06 | 6.69 |

Z uvedených výpočtov vyplýva, že čím dlhšie sa zahrieva vzorka v 100°C vode tým mala presnejšiu hodnotu nameranej mernej tepelnej kapacity mosadze. Je to z dôvodu, že vzorka pri realizovaní jednotlivých meraní postupne nadobúdala hodnotu 100°C, čiže pri meraniach 20 a 30 minút nebola ešte vzorka dostatočne zahriata na 100°C.

Na nasledujúcom (Obr. 3) je porovnanie jednotlivých meraní. Kde je vidieť, že k presnej hodnote mernej tepelnej kapacity sa priblížilo najviac tretie meranie, keď sa vzorka ohrievala vo vode najdlhšie a to po dobu 40 minút.



Obr. 3: Porovnanie meraní na kalorimetri bez interného odporového ohrevu

5 Záver

Návrh meracieho reťazca pre meranie mernej tepelnej kapacity, jeho realizácia a overenie popísané v tomto príspevku poukazujú na možnosti realizácie laboratórnych meraní rôznych veličín s využitím jednoduchých technických prostriedkov a prostriedkov MATLABu.

V prípade merania mernej tepelnej kapacity pomocou kalorimetra bez interného odporového ohrevu bola nameraná hodnota $c_p=364.31$ J/kg/K, čo predstavuje 6.69% relatívnu chybu merania. Na hodnotu relatívnej chyby, resp. neistoty merania vplýva predovšetkým:

- nedostatočná izolácia plášťa a vrchnáku kalorimetra,
- použitie termočlánkov s vyššou neistotou merania,

- použité iba 8 bitového A/D prevodníka.
- nezapočítanie mernej tepelnej kapacity kalorimetra,
- pomer medzi hmotnosťou vody a vzorky.

Odstránením uvedených nedostatkov a zlepšením niektorých technických parametrov meracieho reťazca je možné znížiť hodnotu relatívnej chyby merania mernej tepelnej kapacity.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Petrovič, P. 2009. Fyzika 1. 1. vyd. Košice: EQUILIBRIA, s.r.o., 2009. 259 s. ISBN 978-80-89284-25-2
- [2] Gascha, H – Pflanz, S. 2008. Kompendium fyziky., 1. vyd. Praha: Tlačiarne BB, spol. s.r.o., 2008. 488 s., ISBN 975-80-242-2013-0
- [3] Podmanická, P. 2010. [online] 20. 02. 2014. [cit 20. 02. 2014].
Dostupné na internete: http://www.oskole.sk/?id_cat=3&clanok=12840
- [4] NI USB 6009 manual. [online] publikované 2011. [citované 21.04.2013]. dostupné na internete: http://download.ni.com/pub/branches/ee/6008-9_manual.pdf
- [5] Halaj, M. , Regtien, P., Kureková, E. 2005. Meranie teploty [online] 07.04.2014. [cit 04. 03. 2014].
Dostupné na internete:
<http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/08s.pdf>

M. Lukáč
matej.lukac@tuke.sk

J. Terpák
jan.terpak@tuke.sk