



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Fakulta elektrotechniky
a informačných technológií

NÁVODY K LABORATÓRNÝM CVIČENIAM 1

Gabriela Tarjániová, Tomáš Mizera

Žilinská univerzita v Žiline
EDIS-vydavateľstvo UNIZA
2023



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií

RNDr. Gabriela Tarjányiová, PhD., Ing. Tomáš Mizera, PhD.

NÁVODY K LABORATÓRNÝM CVIČENIAM 1

Žilinská univerzita v Žiline
EDIS-vydavateľstvo UNIZA
2023

Vydanie tejto publikácie bolo finančne podporené projektom KEGA č. 023ŽU-4/2021:
Rozvoj intelektuálnych spôsobilostí a manuálnych zručností v STEM vzdelávaní.

Recenzenti prof. Mgr. Ivan Martinček, PhD.
RNDr. Zuzana Gibová, PhD.

© Gabriela Tarjányiová, Tomáš Mizera, 2023

ISBN 978-80-554-2044-8

KALORIMETRICKÉ MERANIA

Úlohy

- A. Určiť tepelnú kapacitu kalorimetra
- B. Vyšetřit hmotnostnú tepelnú kapacitu tuhej látky
- C. Experimentálne určiť hmotnostné skupenské teplo varu kvapaliny

Teoretický úvod

Vnútrotná energia telesa U je definovaná súčtom celkovej kinetickej energie neusporiadane pohybujúcich sa častíc telesa (molekúl, atómov, iónov) E_{k_i} a celkovej potenciálnej energie vzájomnej polohy týchto častíc E_{p_i} . Ak teleso pozostáva z N častíc, jeho vnútrotnú energiu vyjadríme vzťahom $U = \sum_{i=1}^N (E_{k_i} + E_{p_i})$. Zmena vnútornej energie ΔU môže nastať tepelnou výmenou alebo konaním práce. Teplo dodané telesu súvisí so zmenou vnútornej energie ΔU a objemovou prácou W vykonanou telesom podľa 1. termodynamického zákona $Q = \Delta U + W$. Teplo je tá časť energie, ktorá sa prenáša vzájomným pôsobením medzi atómami, molekulami. Dej, pri ktorom si neusporiadane sa pohybujúce častice telesa (sústavy) rôznej teploty odovzdávajú časť svojej energie, sa nazýva **tepelná výmena**.

Teplo Q je fyzikálna veličina, ktorá charakterizuje mieru zmeny vnútornej energie telesa (sústavy). Teplo (tepelná energia) môže prechádzať z jedného telesa na druhé, alebo z jedného miesta prostredia na druhé, pričom sa pohyb tepla prejaví zmenou teploty. Ak teleso prijme teplo tepelnou výmenou, narastie jeho vnútrotná energia a zvýši sa teplota telesa. Jednotkou tepla je joule J ($J = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$). Množstvo tepla potrebného na zvýšenie teploty látky závisí od hmotnosti látky, chemického zloženia a vnútornej štruktúry (stavby). Fyzikálna veličina, ktorá určuje množstvo tepla Q dodaného (odobratého) telesu, aby sa zvýšila (znížila) jeho teplota o jeden kelvin (respektíve o jeden stupeň Celzia), sa nazýva **tepelná kapacita** C a je definovaná vzťahom

$$C = \frac{dQ}{dT}. \quad (1)$$

Jednotkou tepelnej kapacity je $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$. **Hmotnostná tepelná kapacita** c vyjadruje množstvo tepla, ktoré je potrebné na ohriatie (ochladenie) jedného kilogramu látky o jeden kelvin (respektíve o jeden stupeň Celzia) a je definovaná vzťahom

$$c = \frac{dQ}{m dT} = \frac{C}{m}. \quad (2)$$

Q je teplo dodané (odovzdané telesu), m je hmotnosť telesa, C tepelná kapacita a dT je odpovedajúca zmena teploty. Jednotkou hmotnostnej tepelnej kapacity je $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Hmotnostná tepelná kapacita je charakteristická pre danú látku a pre rôzne látky a rôzne skupenstvá má rôzne hodnoty. Pri pevných a kvapalných látkach je funkciou teploty.

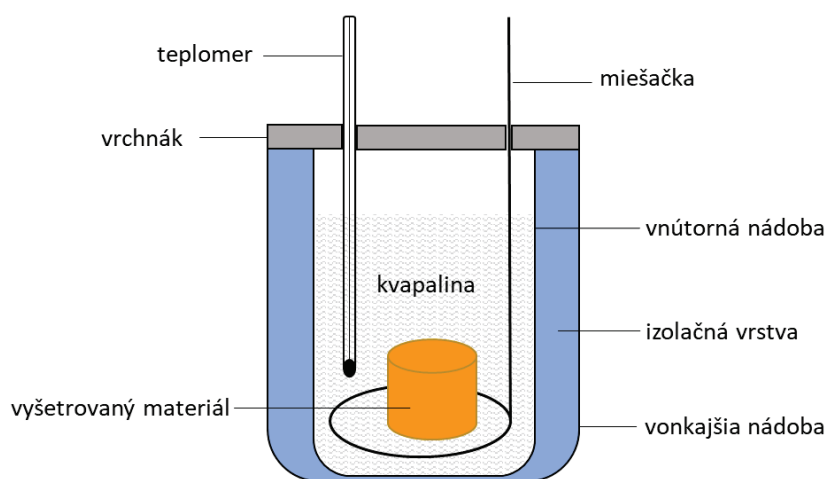
Pri plynoch závisí od teploty, tlaku a podmienok, pri ktorých plyn prijíma teplo. Podľa toho rozlišujeme hmotnostnú tepelnú kapacitu za stáleho tlaku c_p a hmotnostnú tepelnú kapacitu za stáleho objemu c_V . Ak je hmotnostná tepelná kapacita konštantná v danom intervale teplôt, môžeme písať pre množstvo dodaného alebo prijatého tepla Q vzťah

$$\Delta Q = mc\Delta T. \quad (3)$$

Kalorimetria je časť fyziky, ktorá sa zaoberá meraním tepla pri chemických reakciách alebo fyzikálnych zmenách látok uskutočňovaných v kalorimetri. Kalorimetrické merania sa realizujú v tepelne izolovanej sústave, pričom vnútorná energia takejto sústavy sa počas procesu nemení $\Delta U = 0$ J. Zmiešavací **kalorimeter** je tepelne izolovaná nádoba s miešačkou a teplomerom, v ktorej je možné uskutočňovať tepelnú výmenu medzi látkami pri súčasnom meraní zmeny teplôt (Obr. 1). Tepelné vlastnosti kalorimetra sa charakterizujú tepelnou kapacitou kalorimetra C_K . Ak tuhé telesá alebo kvapaliny skúmame v teplotnom intervale, v ktorom je hmotnostná tepelná kapacita c konštantná, **kalorimetrickú rovnicu** je možné vyjadriť všeobecne nasledovne

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n (m_i c_i \Delta T_i), \quad (4)$$

kde ΔQ je množstvo dodaného alebo odovzdaného tepla telies, medzi ktorými dochádza k tepelnej výmene. Celková vnútorná energia v tepelne izolovanej sústave je konštantná a zo zákona zachovania energie vyplýva, že teplo, ktoré odovzdá jedno teleso (teplejšie) druhému, je rovnaké ako teplo, ktoré druhé teleso (chladnejšie) prijme od prvého.



Obr. 1. Prierez zmiešavacieho kalorimetra s ponoreným telesom v kvapaline

Látky sa môžu vyskytovať v pevnom, kvapalnom, plynnom skupenstve a v stave plazmy. Pevné látky, kvapaliny a plyny sa skladajú z veľkého počtu častíc. Sústava v rovnovážnom stave vo všetkých častiach s rovnakým fyzikálnym a chemickým zložením sa nazýva fáza (napr. ľad, voda, vodná para). **Fázová premena** (zmena skupenstva) je prechod látky z jednej fázy do druhej a medzi tieto zmeny patrí topenie, tuhnutie, vyparovanie, kondenzácia, sublimácia a desublimácia. Topenie je zmena tuhej látky na kvapalnú, opačný dej je tuhnutie, t. j. zmena kvapalnej látky na pevnú. Vyparovanie je zmena kvapalnej látky na plynnú. Kondenzácia je zmena plynnej látky na kvapalnú. Sublimácia je priama zmena tuhej látky na plynnú a opačný proces, desublimácia, prechod z plynnej na tuhú látku.

Skupenské teplo L je teplo, ktoré treba dodať alebo teplo, ktoré sa uvoľní pri premene látky danej hmotnosti zohriatej na teplotu skupenskej premeny z jedného skupenstva na druhé rovnakej teploty. **Hmotnostné skupenské teplo** l je množstvo skupenského tepla prepočítaného na hmotnosť látky m

$$l = \frac{L}{m}. \quad (5)$$

Jednotka hmotnostného skupenského tepla je $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Podľa druhu skupenskej premeny je definované skupenské teplo topenia (tuhnutia), vyparovania (kondenzácie) a sublimácie. Hmotnostné skupenské teplo topenia, tuhnutia, vyparovania a kondenzácie sú konštanty, ktorých hodnoty sa pre rôzne látky líšia. Skupenské teplo vyparovania pri teplote bodu varu je teplo, ktoré treba dodať kvapaline danej hmotnosti, zohriatej na teplotu varu, aby sa premenila na paru tej istej teploty. Para, ktorá je v rovnováhe so svojou kvapalinou, sa nazýva **nasýtená para** alebo sýta a jej tlak sa nazýva tlak nasýtenej pary. Skupenské teplo L vyparovania závisí od teploty, pri ktorej nastáva fázová zmena, a od tlaku. S rastúcou teplotou skupenské teplo vyparovania klesá. Ak uvažujeme skupenské teplo pri normálnom bode varu kvapaliny, hovoríme o skupenskom teple varu. Pri vyparovaní alebo vare odoberá látka potrebné skupenské teplo svojmu okoliu, pri kondenzácii ho, naopak, uvoľňuje a dáva telesám, ktoré sústavu obklopujú. Pri kondenzácii sa spätne uvoľňuje skupenské teplo kondenzačné rovnako veľké ako skupenské teplo vyparovania (pre tú istú teplotu). Skupenské teplá sa preto nazývajú latentnými, môžeme ich získať späť.

A. Určenie tepelnej kapacity kalorimetra

Zmiešavací kalorimeter sa skladá z nádoby tvaru valca naplnenej kvapalinou o známej hmotnostnej tepelnej kapacite c_1 , ktorá chemicky nereaguje s vyšetrouvanou látkou (telesom), teplomera a miešačky. Táto nádoba je uložená do inej, väčšej nádoby. Vrstva vzduchu medzi nimi tvorí tepelnú izoláciu (Obr. 1). Zmiešavací kalorimeter je teda tepelne izolovaná nádoba, v ktorej skúmanej látke o hmotnosti m dodávame alebo odoberáme množstvo tepla dQ a meriame zmenu jej teploty dT . V zhode s definíciou, C_K je teplo, ktoré musíme dodať, aby

kalorimeter a jeho súčasti zvýšili svoju teplotu o jeden kelvin a určujeme ju experimentálne (pre každý kalorimeter zvlášť). Meranie je založené na platnosti zákona zachovania energie (kalorimetrickej rovnici). Predpokladom je, že látka, z ktorej je vyrobené teleso (môže byť aj kvapalnú), chemicky nereaguje so známou kvapalinou v kalorimetri a pri tepelnej výmene medzi telesom a kvapalinou nenastáva zmena skupenstva. Tepelná výmena prebieha tak dlho, až nastane rovnovážny stav, pri ktorom sa teploty telesa a kvapaliny vyrovnajú na výslednú teplotu T . Pri určovaní C_K je výhodné, keď obe zmiešavané látky sú kvapalné a môžu, ale nemusia byť rovnaké, pričom majú odlišnú teplotu.

V tomto meraní budeme používať vodu rôznej teploty (T_1 , T_2) na určenie tepelnej kapacity kalorimetra. Pri tepelnej výmene v kalorimetri teplejšia voda s teplotou T_2 , hmotnosťou m_2 odovzdá teplo $\Delta Q_2 = m_2 c_1 (T_2 - T)$, chladnejšia voda s teplotou T_1 , hmotnosťou m_1 príjme teplo $\Delta Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1)$ a kalorimeter s príslušenstvom príjme teplo $\Delta Q_{C_K} = C_K (T - T_1)$, kde c_1 je hmotnostná tepelná kapacita vody (príloha, tabuľka 10 a 11, strana 161). Celková vnútorná energia v tepelne izolovanej sústave je konštantná a zo zákona zachovania energie vyplýva, že úbytok vnútornej energie telesa je rovnaký ako prírastok vnútornej energie kvapaliny, t. j. platí kalorimetrická rovnica

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_{C_K} = \Delta Q_2, \quad (6)$$

$$m_1 c_1 (T - T_1) + C_K (T - T_1) = m_2 c_1 (T_2 - T). \quad (7)$$

Odtiaľ matematickou úpravou dostaneme vzťah pre určenie tepelnej kapacity kalorimetra

$$C_K = m_2 c_1 \frac{(T_2 - T)}{(T - T_1)} - m_1 c_1. \quad (8)$$

Pomôcky

Zmiešavací kalorimeter s príslušenstvom, teplomer, digitálna váha, varič.

Postup merania

1. Určíme hmotnosť m_0 prázdneho a suchého kalorimetra s príslušenstvom. Vnútrnú nádobu kalorimetra s tepelnou kapacitou C_K naplníme približne do polovice vodou nižšej teploty a ponecháme ju v kalorimetri približne 10 minút, aby sa teplota všetkých častí kalorimetra ustálila na teplote T_1 . Druhýkrát odvážime kalorimeter s príslušenstvom a vodou nižšej teploty. Rozdiel hmotností vyjadruje hmotnosť vody m_1 s teplotou T_1 a hmotnostnou tepelnou kapacitou c_1 .
2. V stave rovnováhy odmeriame teplotu vody v kalorimetri T_1 . Na presnosť určenia C_K vplýva presnosť stanovenia teploty, a preto za účelom zníženia chyby teplotu stanovujeme tým istým teplomerom a pozorne sledujeme, kedy sa dosiahol stav rovnováhy.

3. V príslušnom zariadení zohrejeme iné množstvo vody na vyššiu teplotu T_2 .
4. Teplotu vody T_2 meriame tesne pred naliatím do kalorimetra.
5. Do vnútornej nádoby kalorimetra ku vode teploty T_1 dolejeme vodu vyššej teploty T_2 , hmotnosti m_2 a s hmotnostnou tepelnou kapacitou c_1 a obsah nádoby premiešame.
6. Po ustálení teploty kalorimetra s príslušenstvom a vodou tak, že ich teploty môžeme považovať za rovnaké, odmeriame výslednú teplotu T .
7. Určíme hmotnosť vody m_2 . Odvážime kalorimeter s príslušenstvom a so zmiešanými kvapalinami a následne hmotnosť m_2 určíme rozdielom tejto hmotnosti a hmotnosti kalorimetra so studenou vodou $m_0 + m_1$.
8. Určíme štandardné neistoty merania teploty σ_T a hmotnosti σ_m , pričom ich hodnota približne zodpovedá $z_{\max}/\sqrt{3}$, kde z_{\max} je hodnota najmenšieho dielika použitého meracieho zariadenia.

Vyhodnotenie merania

1. Vypočítame tepelnú kapacitu kalorimetra C_K podľa vzťahu (8).
2. Určíme neistotu merania nepriamo meranej veličiny C_K pomocou neistôt priamo meraných veličín m_1 , m_2 , T_1 , T_2 , T , pomocou štatistického súčtu parciálnych chýb podľa nasledujúceho vzťahu

$$\sigma_{C_K} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_K}{\partial m_1}\right)^2 (\sigma_m)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial m_2}\right)^2 (\sigma_m)^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T_1}\right)^2 (\sigma_{T_1})^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T_2}\right)^2 (\sigma_{T_2})^2 + \left(\frac{\partial C_K}{\partial T}\right)^2 (\sigma_T)^2},$$

kde pre jednotlivé derivácie platia vzťahy

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_K}{\partial m_1} &= -c_1, & \frac{\partial C_K}{\partial m_2} &= c_1 \frac{(T_2 - T)}{(T - T_1)}, \\ \frac{\partial C_K}{\partial T_1} &= m_2 c_1 \frac{(T_2 - T)}{(T - T_1)^2}, & \frac{\partial C_K}{\partial T_2} &= \frac{m_2 c_1}{(T - T_1)}, & \frac{\partial C_K}{\partial T} &= \frac{m_2 c_1 (T_1 - T_2)}{(T - T_1)^2}. \end{aligned}$$

Ak meriame všetky hodnoty hmotností s rovnakou neurčitostou σ_m a hodnoty teploty s rovnakou neurčitostou σ_T , pre chybu nepriameho merania bude platiť výsledný vzťah

$$\sigma_{C_K} = \sqrt{c_1^2 \left(1 + \frac{(T_2 - T)^2}{(T - T_1)^2}\right) (\sigma_m)^2 + \frac{m_2^2 c_1^2}{(T - T_1)^2} \left(\frac{(T_2 - T)^2}{(T - T_1)^2} + 1 + \frac{(T_1 - T_2)^2}{(T - T_1)^2}\right) (\sigma_T)^2}.$$

3. Určíme, ktorá z veličín prispieva k výslednej neistote veličiny C_K najväčšou mierou.
4. Výsledok merania uvedieme v tvare $C_K = (C_K \pm \sigma_{C_K})$ a výsledok využijeme pri ďalších kalorimetrických meraniach.
5. V závere diskutujeme o získaných výsledkoch a možných príčinách chýb.

B. Určenie hmotnostnej tepelnej kapacity tuhých látok

Na určovanie hmotnostných tepelných kapacít látok sa najčastejšie používa kalorimetrická metóda s použitím zmiešavacieho kalorimetra (Obr. 1).

V ideálnom prípade sa všetko dodané teplo skúmanou látkou (teleso) odovzdá okolitému prostrediu (vode). V skutočnosti sa vždy časť dodaného tepla spotrebuje na ohriatie kalorimetra a jeho súčastí (nádoba, teplomer, miešačka) a časť tepla sa odvedie do prostredia, ktoré kalorimeter obklopuje. Túto skutočnosť vyjadrujeme tak, že do výpočtov zavádzame tepelnú kapacitu kalorimetra C_K . Teplo $\Delta Q_2 = m_2 c_2 (T_2 - T)$, ktoré vyšetovaná látka (teleso) odovzdá, sa rovná teplu $\Delta Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1)$, ktoré prijme voda a teplu $\Delta Q_{C_K} = C_K (T - T_1)$, ktoré prijme kalorimeter s príslušenstvom. Pri tepelnej výmene platí kalorimetrická rovnica

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_{C_K} = \Delta Q_2, \quad (9)$$

$$m_1 c_1 (T - T_1) + C_K (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T). \quad (10)$$

Odtiaľ matematickou úpravou dostaneme vzťah pre určenie tepelnej kapacity skúmanej látky

$$c_2 = \frac{m_1 c_1 (T - T_1) + C_K (T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)}. \quad (11)$$

Pomôcky

Zmiešavací kalorimeter, teplomer, digitálna váha, varič, nádoba na ohrev vody, tuhé telesá z rôznych materiálov.

Postup merania

1. Určíme hmotnosť prázdneho kalorimetra m_0 s príslušenstvom. Vnútornú nádobu kalorimetra s tepelnou kapacitou C_K naplníme približne do polovice vodou nižšej teploty. Druhýkrát odvážime kalorimeter s príslušenstvom a vodou nižšej teploty. Rozdiel hmotností vyjadruje hmotnosť vody m_1 s teplotou T_1 a hmotnostnou tepelnou kapacitou c_1 .
2. V stave rovnováhy odmeriame teplotu T_1 .
3. Určíme hmotnosť látky m_2 .
4. V príslušnom zariadení, nádobe zohrejeme telesá rôznych látok, napríklad ich zohrievame vo vode na vyššiu teplotu T_2 (do 100 °C).
5. Teplotu látky T_2 (vody v ktorej zohrievame teleso) meriame tesne pred vložením do kalorimetra.
6. Do vnútornej nádoby kalorimetra vložíme látku (teleso) teploty T_2 ($T_2 > T_1$), hmotnosti m_2 a s hmotnostnou tepelnou kapacitou c_2 , ktorú máme určiť.

- Po ustálení teploty kalorimetra s príslušenstvom a látky neznámej hmotnostnej tepelnej kapacity tak, že ich teploty môžeme považovať za rovnaké, odmeriame výslednú teplotu T .
- Určíme štandardné neistoty merania teploty σ_T a hmotnosti σ_m , pričom ich hodnota približne zodpovedá $z_{\max}/\sqrt{3}$, kde z_{\max} je hodnota najmenšieho dielika použitého meracieho zariadenia.
- Meranie opakujeme pre zvolené rôzne látky.

Vyhodnotenie merania

- Vypočítame hmotnostné tepelné kapacity vyšetřovaných telies c_2 podľa vzťahu (11).
- Určíme neistotu merania nepriamo meranej veličiny c_2 pomocou neistôt priamo meraných veličín $m_1, m_2, T_1, T_2, T, C_K$ podľa nasledujúceho vzťahu

$$\sigma_{c_2} = \sqrt{\left(\frac{\partial c_2}{\partial m_1}\right)^2 (\sigma_m)^2 + \left(\frac{\partial c_2}{\partial m_2}\right)^2 (\sigma_m)^2 + \left(\frac{\partial c_2}{\partial T_1}\right)^2 (\sigma_{T_1})^2 + \left(\frac{\partial c_2}{\partial T_2}\right)^2 (\sigma_{T_2})^2 + \left(\frac{\partial c_2}{\partial T}\right)^2 (\sigma_T)^2 + \left(\frac{\partial c_2}{\partial C_K}\right)^2 (\sigma_{C_K})^2},$$

kde pre jednotlivé derivácie platia vzťahy

$$\frac{\partial c_2}{\partial m_1} = \frac{c_1 (T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)}, \quad \frac{\partial c_2}{\partial m_2} = -\frac{(C_K + m_1 c_1) (T - T_1)}{m_2^2 (T_2 - T)}, \quad \frac{\partial c_2}{\partial T_1} = -\frac{(C_K + m_1 c_1)}{m_2 (T_2 - T)},$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial T_2} = -\frac{(C_K + m_1 c_1) (T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)^2}, \quad \frac{\partial c_2}{\partial T} = \frac{(C_K + m_1 c_1)}{m_2 (T_2 - T)} + \frac{(C_K + m_1 c_1) (T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)^2}, \quad \frac{\partial c_2}{\partial C_K} = \frac{(T - T_1)}{m_2 (T_2 - T)}.$$

Ak meriame všetky hodnoty hmotností s rovnakou neurčitostou σ_m , hodnoty teploty s rovnakou neurčitostou σ_t a neurčitost určenia tepelnej kapacity kalorimetra σ_{C_K} sme určili v úlohe po A., tak pre chybu nepriameho merania bude platiť po matematickej úprave výsledný vzťah

$$\sigma_{c_2} = \sqrt{\frac{(T - T_1)^2}{(T_2 - T)^2 m_2^2} \left[c_1^2 + \frac{(C_K + m_1 c_1)^2}{m_2^2} \right] (\sigma_m)^2 + \frac{(T - T_1)^2}{(T_2 - T)^2 m_2^2} (\sigma_{C_K})^2 + \frac{2(C_K + m_1 c_1)^2}{(T_2 - T)^2 m_2^2} \left[1 + \frac{(T - T_1)}{(T_2 - T)} + \frac{(T - T_1)^2}{(T_2 - T)^2} \right] (\sigma_T)^2}.$$

- Určíme, ktorá z veličín prispieva k výslednej neistote veličiny c_2 najväčšou mierou.
- Výsledok merania uvedieme v tvare $c_2 = (c_2 \pm \sigma_{c_2})$ pre všetky merané látky.
- Porovnáme výsledok merania hmotnostnej tepelnej kapacity c_2 s tabuľkovými hodnotami c_t (príloha, tabuľka 10, strana 161) definovanými pre nami zvolené látky použitím vzťahu

$$\varepsilon_r = \frac{|c_2 - c_t|}{c_t} 100 \%$$

- V závere diskutujeme o získaných výsledkoch a možných príčinách chýb.

Tabuľka 10. Hmotnostná tepelná kapacita c_p niektorých tuhých látok, kvapalín a plynov pri 20 °C ($\kappa = c_p/c_V$)

Látka	c_p (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	Látka	c_p (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)
hliník	896	porcelán	791
vodná para (100 °C)	1 952	kremeň	743
meď	383	plasty	1 300 – 1 800
nikel	448	sklo	840
olovo	129	ortuť	139
volfrám	134	glycerín	2 390
zinok	385	olej olivový	1 970
železo	450	olej parafínový	2 130
mosadz	384	voda (4 °C)	4 186
ocel'	460	vzduch	1 012

Tabuľka 11. Hmotnostná tepelná kapacita c_p vody v závislosti od teploty t (pri tlaku 101,325 kPa)

t (°C)	c_p (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	t (°C)	c_p (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)
0	4 217,8	55	4 182,2
5	4 201,3	60	4 184,3
10	4 192,2	65	4 186,7
15	4 186,3	70	4 189,7
20	4 181,8	75	4 192,9
25	4 179,5	80	4 196,4
30	4 178,4	85	4 200,5
35	4 178,1	90	4 205,2
40	4 178,4	95	4 210,4
45	4 179,3	100	4 216,0
50	4 180,5		

Za odbornú náplň tohto vydania zodpovedá odborný redaktor prof. Ing. Dušan Pudiš, PhD.

Autori RNDr. Gabriela Tarjániová, PhD., Ing. Tomáš Mizera, PhD.

Názov **Návody k laboratórnym cvičeniam 1**

Vydala Žilinská univerzita v Žiline v EDIS-vydavateľstve UNIZA v roku 2023
ako svoju 4933. publikáciu

Vydanie prvé, publikované elektronicky

AH 10,14

ISBN 978-80-554-2044-8

Rukopis vo vydavateľstve neprešiel redakčnou ani jazykovou úpravou.

www.edis.uniza.sk