

TEPELNÉ VELIČINY A KALORIMETRIE

TEORETICKÝ ÚVOD

Teplo je jednou z forem energie a jeho jednotkou je joule. Obor, který se zabývá zákonitostmi výměny tepla mezi makroskopickými soustavami, se nazývá **kalorimetrie**.

Jednou z veličin, kterou často určujeme při tepelných měřeních, je množství tepla Q , které je třeba dodat termodynamické soustavě, aby zvýšila svou teplotu o jeden kelvin. Tato veličina se nazývá **tepelná kapacita** K soustavy a je přesně definovaná vztahem

$$K = \frac{dQ}{dT}, [K] = \text{J} \cdot \text{K}^{-1} . \quad (1)$$

Tepelná kapacita látky je přímo úměrná množství látky v daném systému. Dělíme-li tepelnou kapacitu systému jeho hmotností, dostaneme **měrnou tepelnou kapacitu** c .

$$c = \frac{K}{m} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}, [c] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} . \quad (2)$$

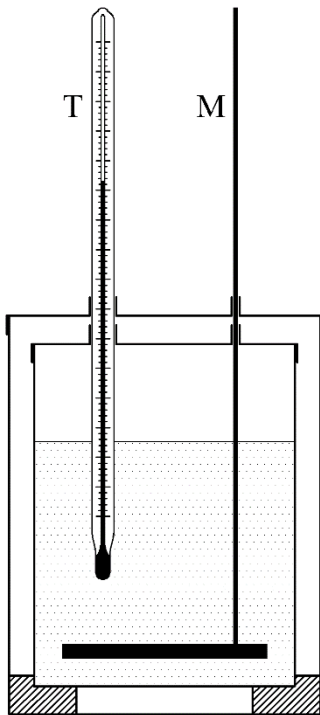
Ke změně skupenství látky (pevného v kapalném, kapalného v plynném a naopak), které u chemicky čistých látek za konstantního tlaku probíhá při stálé teplotě, je třeba určité množství tepla Q nazývaného **skupenské teplo** (tání, varu). Obecněji můžeme toto teplo definovat jako teplo potřebné k změně **fáze**. Změna fáze nastává i při zachování téhož skupenství (mění se krystalová soustava). Protože se v průběhu změny skupenství či fáze teplota látky nemění, říká se někdy o tomto teplu, že je utajené neboli **latentní**.

Podíl skupenského tepla Q a hmotnosti m látky je **měrné skupenské teplo** l příslušné skupenské přeměny, které je pro danou látku charakteristické. Přesně je měrné skupenské teplo l definováno vztahem

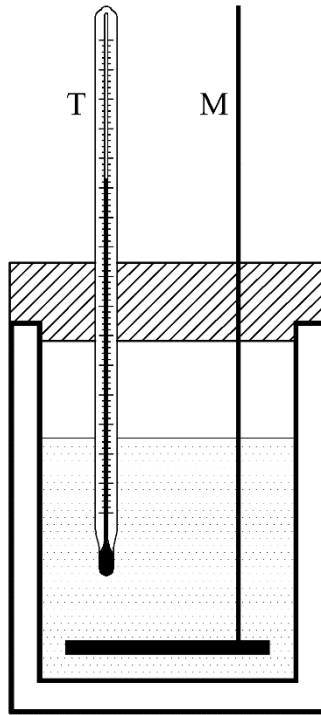
$$l = \frac{dQ}{dm}, [l] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} . \quad (3)$$

Pro kalorimetrická měření se používají **kalorimetry**. Jsou to nádoby, které mají dobré tepelně izolační vlastnosti, aby sdílení tepla mezi obsahem kalorimetru a jeho okolím bylo co nejmenší. Uvnitř kalorimetru dochází k přenosu tepla mezi proměřovaným vzorkem látky a vhodnou lázní. Teplota lázně se měří teploměrem. Nejjednodušším druhem kalorimetru je **kovový kalorimetr**, složený ze dvou plechových nádob, mezi nimiž je vzduchová mezera, vymezená korkovými vložkami, které vytvářejí tepelnou izolaci (obr. 1 a). Vnitřní nádoba bývá z lesklého mosazného plechu a je opatřena víčkem s dvěma otvory pro míchačku **M** a teploměr **T**. Podobně je konstruován **skleněný kalorimetr**. Dokonalejší tepelnou izolaci proti okolí poskytuje **Dewarova nádoba** (obr. 1 b), u níž je vyčerpán vzduch mezi jejími dvojitými skleněnými stěnami, opatřenými uvnitř zrcadlovým povrchem. Dewarova nádoba je uzavřena víkem z dobře tepelně izolujícího materiálu, do lázně v nádobě je vložen teploměr **T** a míchačka **M**. Ponoříme-li do kalorimetru topnou spirálu z vhodného odporového drátu, mluvíme o tzv. **elektrickém kalorimetru** (obr. 1 c). Teplo Q předané elektrickému kalorimetru se vyjádří ze známého elektrického příkonu P topné spirály a doby τ průchodu proudu

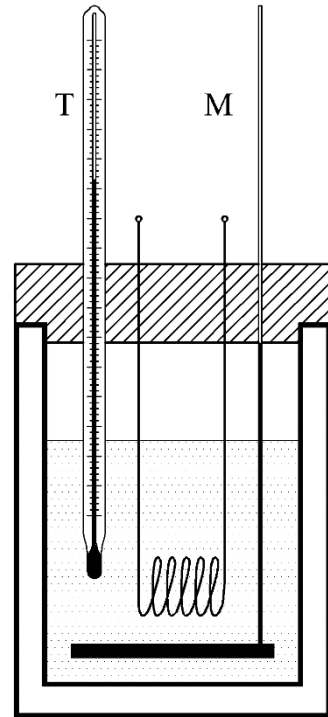
$$Q = P\tau . \quad (4)$$



Obr. 1 a



Obr. 1 b



Obr. 1 c

K výměně tepla nedochází jen uvnitř kalorimetru, ale část tepla přechází též na nádobu kalorimetru a jeho součásti. Teplo spotřebované k ohřátí samotného kalorimetru lze určit pomocí jeho tepelné kapacity K_K .

Tepelná kapacita kalorimetru je množství tepla, které je třeba dodat nádobě a všem součástem kalorimetru (jež jsou v tepelném styku s lázní kalorimetru), aby se její teplota zvýšila o 1 K. Jestliže např. původní teplota lázně i kalorimetru byla t_1 a po ohřevu se zvýšila na t_2 , pak na ohřátí nádoby s jejími součástmi se spotřebovalo teplo

$$Q' = K_K (t_2 - t_1) . \quad (5)$$

Tepelnou kapacitu **kovového** (resp. **skleněného**) kalorimetru lze určit násobením celkové hmotnosti vnitřní nádoby kalorimetru a dalších kovových (skleněných) součástí příslušnou měrnou tepelnou kapacitou kovu (skla). Vzhledem k tomu, že po skončené výměně tepla víčko obvykle nedosáhne teploty lázně, doporučuje se neuvažovat jeho tepelnou kapacitu. Tepelná kapacita teploměru je pro malou tepelnou vodivost skla dána jen tepelnou kapacitou části teploměru ponořené do kalorimetrické lázně. Určí se snadno u tlustostěnných rtuťových teploměrů (vyrobených z tlustostěnné kapiláry, na níž je přímo vyryta teploměrná stupnice) vzhledem k tomu, že teplo potřebné k ohřátí objemové jednotky látky o 1 K je pro sklo i rtuť přibližně stejné a je $c_{\text{obj}} = 1,93 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

K výpočtu tepelné kapacity ponořené části teploměru pak postačí stanovit její objem např. ponořením do kapaliny v odměrném válci.

Příklad:

Stanovení tepelné kapacity mosazného kalorimetru.

součást	hmotnost [kg]	měrná tep. kapacita [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	tepelná kapacita [J · K ⁻¹]
vnitřní nádoba (bez víčka) míchačka	$m_1 = 0,1601$ $m_2 = 0,0206$	$c_1 = 3,85 \cdot 10^2$ $c_2 = 3,85 \cdot 10^2$	$m_1 c_1 = 61,64$ $m_2 c_2 = 7,93$
teploměr	ponořený objem [cm ³] $V = 2,6$	objemové teplo [J · cm ⁻³ · K ⁻¹] $c_{\text{obj}} = 1,93$	$V c_{\text{obj}} = 5,02$

Celková tepelná kapacita kalorimetru $K_K = \sum (K_K)_i = 74,59 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tepelnou kapacitu trubicového teploměru je možné určit tak, že do kalorimetru naplněného malým množstvím vody se vnoří část teploměru vyhřátého na vyšší teplotu. K výpočtu je třeba znát počáteční a konečnou teplotu kalorimetru, teplotu teploměru, tepelnou kapacitu kalorimetru a množství vody v kalorimetru. Obvykle však bývá hodnota tepelné kapacity používaného trubicového teploměru uvedena na kartě příslušné úlohy.

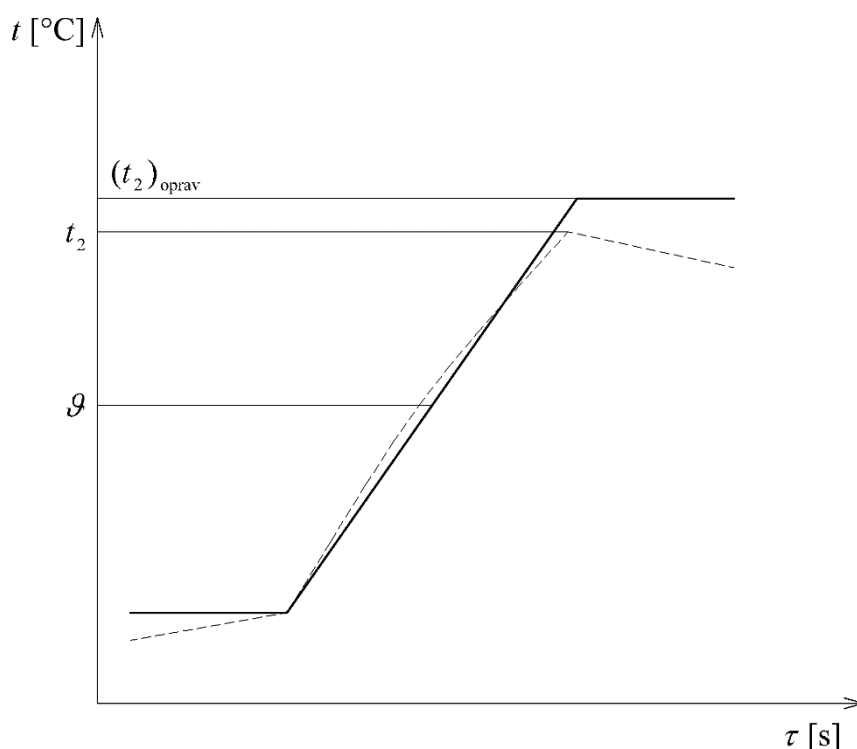
Výpočet tepelné kapacity kalorimetru podle výše uvedeného příkladu je možný pouze za předpokladu, že jsou známy hmotnosti jednotlivých částí kalorimetru a jejich měrné tepelné kapacity. Je-li mosazný kalorimetr opatřen topnou spirálou, nelze prakticky tento výpočet provádět, protože topná cívka je navinuta na izolační kostře, jejíž měrná tepelná kapacita a hmotnost nejsou dostatečně přesně známé. Podobně i v případě Dewarových nádob nelze tepelnou kapacitu spočítat a je nutno ji určit experimentálně. Pro profesionálně zhotovené kalorimetry je hodnota jejich tepelné kapacity změřena a dodávána jako součást zařízení výrobcem.

Tepelné ztráty vznikají i při dobré tepelné izolaci kalorimetrické nádoby, protože dochází k nežádoucí výměně tepla mezi kalorimetrem a jeho okolím nebo obráceně. V tepelné bilanci v kalorimetru tyto přenosy tepla označujeme jako tepelné ztráty.

Podrobný výpočet tepelných ztrát je poměrně složitý, protože v kalorimetru probíhají nestacionární tepelné procesy, zahrnující výměnu tepla prouděním (konvekcí), vedením (kondukcí) a v menší míře i zářením (radiací).

Často se omezujeme jen na přibližné stanovení tepelných ztrát, o kterých můžeme předpokládat, že jsou malé. Snížení tepelných ztrát dosáhneme tak, že volíme pokud možno počáteční teplotu kalorimetru takovou, aby se teplota kalorimetru při vlastním měření měnila přibližně souměrně kolem teploty místnosti. Potom lze korekce na tepelné ztráty, pokud jsou pro vyhodnocování vyžadovány, provést následujícím způsobem.

Na obr. 13.2 je schematicky znázorněna plnou čarou závislost teploty t elektrického kalorimetru na čase τ při dokonalé tepelné izolaci a přerušovanou čarou časový průběh teploty kalorimetru s tepelnými ztrátami. Teplota okolí je označena symbolem ϑ . Rozdíly mezi oběma průběhy byly pro názornost zvětšeny.



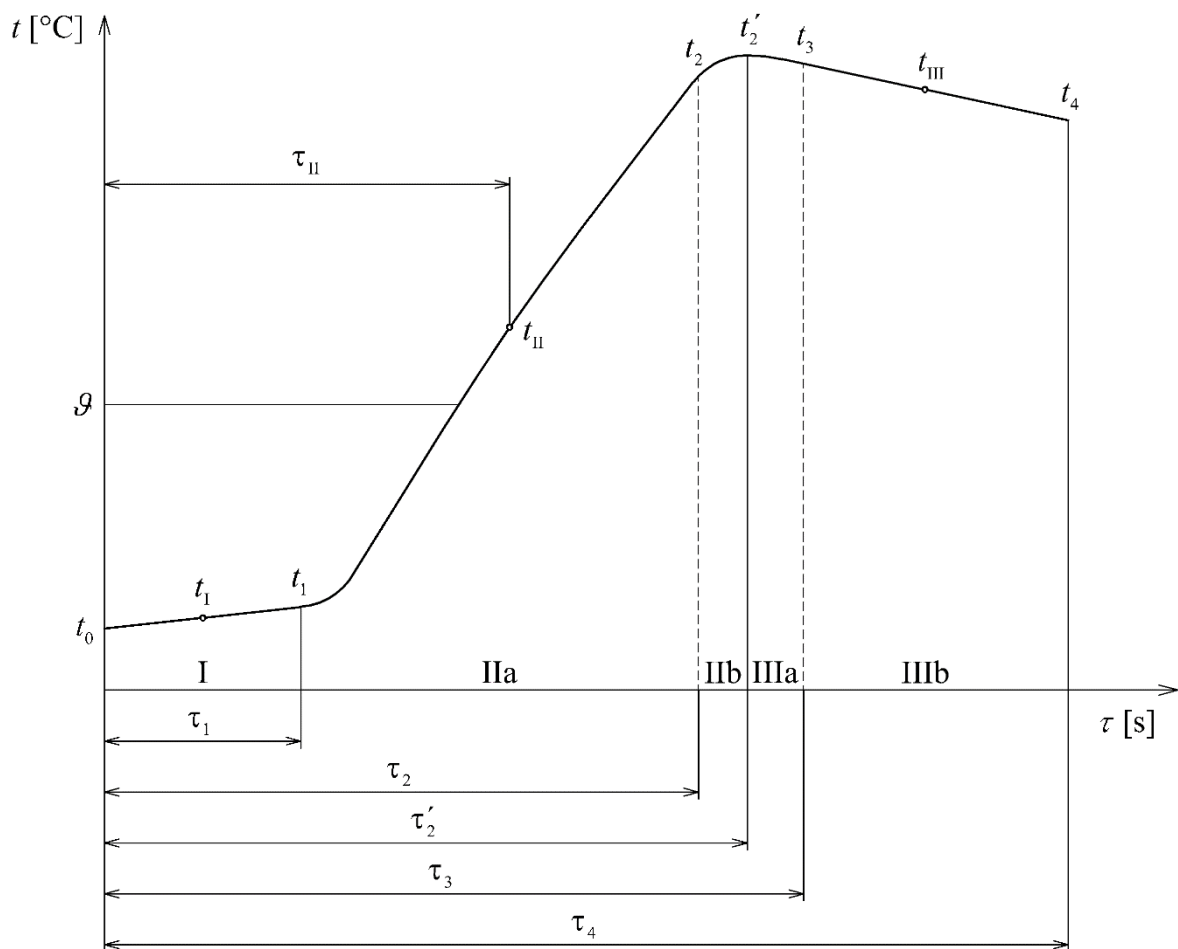
Obr. 2

Časový průběh se ještě komplikuje setrvačností topného systému, jak ukazuje průběh $t = f(\tau)$ znázorněný na obr. 3, který byl vyneseno pro jeden typický ohřev elektrického kalorimetru. Následující výklad vychází ze závislosti na obr. 3.

V čase $\tau_0 = 0$ je v kalorimetru kapalina o teplotě $t_0 < g$. Během intervalu I (se střední teplotou t_1), kdy topení v elektrickém kalorimetru je vypnuto, dochází vlivem přenosu tepla z okolí k pozvolnému růstu teploty lázně v kalorimetru na teplotu t_1 . Zapne-li se v čase τ_1 topení, začne teplota lázně růst rychleji (interval IIa). Když v čase τ_2 topení vypneme, bude teplota lázně v důsledku setrvačnosti topného systému ještě stoupat. V čase τ'_2 dosáhne lázeň maximální teploty t_2 . Celému intervalu II přísluší střední teplota t_{II} (stanovená jako aritmetický průměr údajů teploměru odečítaných po stejných časových intervalech), kterou by kalorimetr dosáhl v intervalu II a má stálou hodnotu. V intervalu III opět teplota klesá, protože kapalina v kalorimetru má vyšší teplotu než okolí. Interval III můžeme ještě rozdělit na dvě části, a to na nelineární část III a, kdy doznívá setrvačnost topného systému a kombinuje se s přenosem tepla do okolí a na oblast III b o střední teplotě t_{III} s přibližně lineárním průběhem, která je ovlivněna výlučně ztrátami tepla z kalorimetru do okolí. Ke sdílení tepla kalorimetru s okolím dochází v průběhu celého výše popsaného procesu.

Maximální teplota t_2 naměřená v kalorimetru je tedy vlivem tepelných ztrát poněkud nižší, než jaká by byla maximální teplota $(t_2)_{oprav}$ na konci procesu výměny tepla uvnitř dokonale tepelně izolovaného kalorimetru (obr. 2). Korekce na tepelné ztráty se tedy provede tak, že k naměřené maximální teplotě t_2 přičteme opravu δ ve $^{\circ}\text{C}$, tedy

$$(t_2)_{oprav} = t_2 + \delta . \quad (6)$$



Obr. 3

Tepelná ztráta kalorimetru za jednotku času (např. 1 min.) Q_z je přímo úměrná rozdílu $(t - \mathcal{G})$ mezi okamžitou teplotou t v kalorimetru a stálou teplotou \mathcal{G} okolí. Označíme-li Δt jako pokles teploty v kalorimetru vlivem tepelných ztrát za jednotku času (tj. rozdíl Δt , o který je teplota v kalorimetru nižší, než kdyby byl dokonale izolován) je tento pokles (vztažený nejčastěji na 1 minutu, tzv. minutový pokles) úměrný okamžité teplotě, při níž proces výměny tepla probíhá

$$\Delta t \sim (t - \mathcal{G}) .$$

Určíme-li minutový pokles pro dvě střední teploty t kalorimetru, můžeme jej pro třetí střední teplotu určit lineární interpolací. Při střední teplotě t_1 v intervalu I je střední minutový pokles

$$\Delta_I = \frac{t_0 - t_1}{\tau_1} < 0 ,$$

pro střední teplotu t_{III} v intervalu III je střední minutový pokles

$$\Delta_{III} = \frac{t_3 - t_4}{\tau_4 - \tau_3} > 0$$

a vzhledem k předpokládané lineární závislosti mezi Δt a t je na základě lineární interpolace střední minutový pokles v intervalu II

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) . \quad (7)$$

Jestliže doba trvání pokusu v intervalu II je $n^* = \tau'_2 - \tau_1$, pak oprava ve vztahu (6) bude $\delta = n^* \Delta_{II}$ a po dosazení do (6)

$$(t_2)_{\text{oprav}} = t_2 + n^* \Delta_{II} = t_2 + (\tau'_2 - \tau_1) \Delta_{II} . \quad (8)$$

Příklad:

Topnou spirálou v elektrickém kalorimetru byla ohřívána lázeň a zaznamenávány teploty v závislosti na čase. Teplota lázně byla při experimentu měřena teploměrem s dělením na desetiny kelvinu, na kterém byly odhadovány i části dílků.

V tab. 1. je uveden praktický návod, jak zaznamenávat měřené hodnoty v celém průběhu kalorimetrického měření.

Na základě středních minutových poklesů Δ_I , Δ_{III} a příslušných středních teplot t_I a t_{III} byl vypočítán střední minutový pokles Δ_{II} v měřené oblasti podle vztahu (7).

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) = -0,05 + \frac{0,04 - (-0,05)}{29,48 - 10,22} (20,6 - 10,22) \cong -0,002 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$$

Opravená hodnota vzestupu teploty způsobená elektrickým ohřevem je pak podle (8)

$$(t_2)_{\text{oprav}} - t_1 = t_2 + n^* \Delta_{II} - t_1 = 29,7 + 21,5(-0,002) - 10,35 = 19,307 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Z tohoto výsledku je vidět, že oprava teploty na tepelné ztráty není výrazná v případě, kdy teplota okolí leží přibližně kolem středu intervalu II.

Z experimentálního i početního hlediska je výhodné volit střední teplotu v intervalu II rovnu teplotě okolí ϑ (což prakticky znamená vypnout topení o chvíli dříve, než kalorimetr dosáhne teploty $\vartheta + (\vartheta - t_I)$). V takovém případě je korekce na tepelné ztráty prakticky nulová, jak lze ukázat podle vztahu (7), kam dosadíme $t_{II} = \frac{t_{III} + t_I}{2}$.

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} \frac{t_{III} - t_I}{2} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{2} = \frac{\Delta_{III} + \Delta_I}{2} .$$

Bude-li $t_{III} \cong \vartheta$ je $\Delta_I \cong -\Delta_{III}$ a vychází, že $\Delta_{II} = \frac{\Delta_{III} + \Delta_I}{2} \approx 0$.

Tabulka 1

I		II a		II b		III a				
čas min	teplota °C	čas min	teplota °C	čas min	Teplota °C	čas min	s	Teplota °C		
0	10,1	5	10,35	25	29,52	26	0	29,7		
1	10,15	6	11,2	26	29,7		30	29,7		
2	10,2	7	12,25			27	0	29,67		
3	10,25	8	13,3				30	29,63		
4	10,3	9	14,3			28	0	29,6		
5	10,35	10	15,3				30	29,58		
doba trvání: $\tau_1 - \tau_0 = 5 \text{ min}$ $t_I = \frac{\sum t_i}{6} = \frac{61,35}{6} =$ $= 10,22 \text{ °C}$ t_I je aritmetický průměr teplotních údajů čili teplota středu intervalu I, tzn. v čase $\tau = 2,5$ minuty $\Delta_I = \frac{t_0 - t_1}{\tau_1 - \tau_0} =$ $= \frac{10,1 - 10,35}{5} =$ $= -0,05 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$		11	16,3			III b				
		12	17,3			29		29,54		
		13	18,3			30		29,50		
		14	19,25			31		29,47		
		15	20,2			32		29,42		
		16	21,2			33		29,38		
		17	22,2			34		29,34		
		18	23,15			doba trvání: $\tau_4 - \tau_3 = 5 \text{ min}$ $t_{III} = \frac{\sum t_i}{6} = \frac{176,6}{6} =$ $= 29,44 \text{ °C}$ t_{III} je aritmetický průměr teplotních údajů ve III b, čili teplota středu intervalu III b, $\Delta_{III} = \frac{t_3 - t_4}{\tau_4 - \tau_3} =$ $= \frac{29,54 - 29,34}{5} =$ $= 0,04 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$				
		19	24,08							
		20	25							
		21	25,9							
		22	26,8							
		23	27,7							
		24	28,6							
		25	29,52							
				počáteční teplota $t_1 = 10,35 \text{ °C}$ maximální teplota $t_2 = 29,7 \text{ °C}$ doba ohřevu $n = \tau_2 - \tau_1 = 20$ minut celková doba intervalu II $n^* = 21$ minut střední teplota celého intervalu II $t_{II} = \frac{451,90}{22} = 20,54 \text{ °C}$ (lze určit přibližně jako teplotu, odpovídající středu celého intervalu II)						

Hodnoty měrných tepelných kapacit některých látek běžných v technické praxi při teplotě 20 °C jsou obsaženy v tab. 2. Tabulka 3 udává měrnou tepelnou kapacitu destilované vody v teplotním intervalu (0 – 100) °C při normálním tlaku 101,325 kPa.

Tabulka 2

Skupenství	Látka	Měrná tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Pevné	Cín	227
	Hliník	896
	Křemík	703
	Měď	393
	Mosaz	395
	Nikl	448
	Olovo	129
	Platina	133
	sklo jenské	779
	sklo křemenné	728
	stříbro	235
	wolfram	134
	zinek	385
	zlato	129
	železo	450
Kapalné	Anilin	2050
	Benzen	1730
	Etylalkohol	2430
	Glycerín	2390
	olej olivový	1970
	petrolej	2090
	rtuť	139
	toluen	1690

Tabulka 3

t [°C]	c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	t [°C]	c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	t [°C]	c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
0	4217,8	35	4178,1	70	4189,7
5	4201,3	40	4178,4	75	4192,9
10	4192,2	45	4179,3	80	4196,4
15	4186,3	50	4180,5	85	4200,5
20	4181,8	55	4182,2	90	4205,2
25	4179,5	60	4184,3	95	4210,4
30	4178,4	65	4186,7	100	4216,0

STANOVENÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY KOVOVÉHO VZORKU

ÚLOHA č. 16

Způsob měření:

Stanovení měrné tepelné kapacity kovového vzorku se provádí pomocí kalorimetru. Vychází se ze znění kalorimetrické rovnice, která v tomto případě stanoví, že teplo odevzdané ohřátým vzorkem kalorimetru musí být stejné jako teplo, které kalorimetr přijme. Kalorimetr o tepelné kapacitě K_K je zčásti naplněn kapalinou teploty t_1 a hmotnosti m_1 a tato kapalina má známou hodnotu měrné tepelné kapacity c_1 . Do kapaliny ponoříme vzorek hmotnosti m o neznámé měrné tepelné kapacitě c ohřátý na teplotu t_2 větší než teplota t_1 kapaliny. Postupně dochází k výměně tepla mezi vzorkem a kapalinou, až se v kalorimetru ustálí teplota t . Teplo dodané kalorimetru ohřátým vzorkem se musí rovnat teplu, které odebere kalorimetr naplněný kapalinou. Proces lze popsat kalorimetrickou rovnicí ve tvaru

$$mc(t_2 - t) = (m_1c_1 + K_K)(t - t_1) . \quad (9)$$

Z této rovnice je možné stanovit hodnotu neznámé měrné tepelné kapacity vzorku. Jako kalorimetrická kapalina se v laboratoři používá voda. V takovém případě platí $c_1 = c_V$, $m_1 = m_V$ a rovnici (9) můžeme přepsat do tvaru vhodného pro výpočet c

$$c = \frac{m_V c_V + K_K}{m} \frac{t - t_1}{t_2 - t} . \quad (10)$$

Připomínky k měření a vyhodnocení:

Postup měření se liší jen způsobem ohřevu pro různé vzorky. Vzorky zhotovené z látky s malou tepelnou vodivostí je třeba zahřívat poměrně dlouho, aby se prohřály v celém objemu. Teplotu lázně je nutné měřit v blízkosti zahřívaného vzorku. Pro snížení chyby měrné tepelné kapacity c se snažte volit rozdíly $t - t_1$, $t_2 - t$ co největší, a proto teplota t_2 musí být dostatečně vysoká, ovšem vždy o nejméně několik stupňů nižší než je teplota varu kapaliny v kalorimetru.

Při realizaci tohoto měření se zkoumané vzorky různých kovů zahřívají v termostatu. Kovy mají vesměs dobrou tepelnou vodivost, a proto doba 5 minut je dostatečná k prohřátí vzorku. Po ohřátí vzorek rychle přeneste do kalorimetru, aby došlo k co nejmenším tepelným ztrátám. Kalorimetr s vloženým vzorkem uzavřete víčkem a za stálého míchání sledujte průběh teploty tak dlouho, až dosáhne maximální hodnoty t . Při výpočtu měrné tepelné kapacity dobrých tepelných vodičů není třeba obvykle uvažovat tepelné ztráty, protože celý děj vyrovnávání teploty v kalorimetru trvá krátkou dobu.

Pro měření se používá kovový kalorimetr, jehož tepelnou kapacitu je třeba vypočítat podle postupu uvedeného v teoretickém úvodu. Hodnota tepelné kapacity teploměru je uvedena na kartě. Hodnoty měrných tepelných kapacit pro některé kovy jsou uvedeny v tab. 2.

Pro stanovení nejistoty měrné tepelné kapacity c ze vztahu (10) je třeba uvážit, které zdroje nejistot se budou podstatným způsobem podílet na výsledné nejistotě typu B (měření všech veličin se provádí pouze jednou). Relativní přesnost vážení bude vždy mnohem větší, než je relativní přesnost určení teploty. Proto předpokládejte, že na nejistotě u_c se budou jako zdroje podílet pouze teploty t , t_1 , t_2 a tepelná kapacita K_K kalorimetru. Nejistotu u_c určete jako

nejistotu nepřímo měřené veličiny. Nejvíce budou k nejistotě měření přispívat členy, ve kterých se vyskytuje výraz $\frac{1}{(t-t_1)}$ (rozdíl výsledné teploty a teploty počáteční není příliš velký z důvodu velké měrné tepelné kapacity vody) a dále výraz s nejistotou u_{t_2} , protože ta je pětikrát větší než nejistoty od ostatních měřených teplot. Po úpravě a zanedbání členů, které mají zanedbatelný vliv na celkovou nejistotu měrné tepelné kapacity vzorku, dostanete pro relativní nejistotu výraz

$$u_{rcB} = \sqrt{\frac{u_{KKB}^2}{(m_V c_V + K_K)^2} + \frac{u_{tB}^2 + u_{t_1B}^2}{(t-t_1)^2} + \frac{u_{t_2B}^2}{(t_2-t)^2}}, \quad (11)$$

kde jednotlivé nejistoty stanovíme z maximálních nepřesností jednotlivých přímo měřených veličin. Do výpočtu nejistoty podle vztahu (11) nebyl započten vliv některých zdrojů, např. tepelné ztráty kalorimetru a vzorku vzhledem k okolnímu prostředí, vliv ocelového očka připevněného na vzorku (pro snadnější přemístění), vliv vody ulpělé na vzorku apod. Skutečná nejistota proto může být o něco větší, což se může projevit větším nesouhlasem mezi stanovenou a tabulkovou hodnotou měrné tepelné kapacity materiálu vzorku.