

Jméno: **Petr Červenka** Kolega: Michal Vranovský
Kruh: **Čtvrtek** Číslo skup.: 2
Měřeno: **21.10.2021** Zpracování: 15h

Klasifikace:

1 Pracovní úkoly

1. Zkalibrujte teplotní čidlo a sestavte kalibrační křivku.
2. Určete tepelnou kapacitu kalorimetru.
3. Určete měrnou tepelnou kapacitu přiložených kovových válečků a ověřte Dulongův-Petitův zákon.
4. Určete měrné skupenské teplo tání ledu.
5. Určete měrné skupenské teplo varu vody.
6. Rozhodněte, kdy musíte použít extrapolaci teplot z grafu, diskutujte,

2 Použité přístroje a pomůcky

Kalorimetr, kovové hrnce, kovové válečky (mosaz, měď, hliník), drát na vytahování válečků, teplotní čidlo PHYWE, software PHYWE - Measure, generátor páry, odvlhčovač páry, hadičky, magnetická míchačka s ohřevem, kuchyňská naběračka, elektronické váhy.

3 Teoretický úvod

3.1 Kalorimetrie

Kalorimetrie je součástí termiky. Hlavním úkolem kalorimetrie je určování tepelných kapacit různých látek. Tepelná kapacita je definována vztahem

$$K = \frac{dQ}{d\Theta}, \quad (1)$$

kde dQ je teplo přijaté/odevzdané systémem a $d\Theta$ je změna teploty systému. Analogicky je definována měrná tepelná kapacita látky o hmotnosti m

$$c_m = \frac{1}{m} \frac{dQ}{d\Theta}. \quad (2)$$

Měrným skupenským teplem l se rozumí množství tepla, které musí přijmout systém o hmotnosti m , aby změnil skupenství.

$$l = \frac{\Delta Q}{m}. \quad (3)$$

3.2 Kalorimetr

Při tepelných výměnách musíme zajistit izolovanost systému od okolí. Kalorimetr je nádoba, které slouží pro izolaci pozorovaného systému. Kalorimetr má svou vlastní tepelnou kapacitu a je většinou v tepelné rovnováze s okolím, tudíž systému odebírá/dodává teplo.

Mějme kalorimetr o tepelné kapacitě κ s kapalinou o hmotnosti m_1 , měrné tepelné kapacitě c_2 a teplotě t_1 . Nalejeme do něj kapalinu o hmotnosti m_2 , měrné tepelné kapacitě c_2 a teplotě t_2 . Z tepelné rovnováhy při teplotě t dostaneme vztah

$$\kappa = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t)}{t - t_1} - m_1 c_1. \quad (4)$$

3.3 Tepelná kapacita krystalických látek

Krystalickou mřížku si představíme jako N prostorových harmonickým oscilátorů (6 stupňů volnosti). Na každý stupeň volnosti připadá energie $E = \frac{kT}{2}$. Pro tepelnou kapacitu platí

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = \left(\frac{\partial (3NkT)}{\partial T} \right)_V = 3Nk = 3nR, \quad (5)$$

kde k je Boltzmannova konstanta, R je molární plynová konstanta. Pro molární tepelnou kapacitu poté platí

$$c_{mol} = 3R. \quad (6)$$

Odtud plyne, že molární tepelná kapacita krystalických látek má přibližně konstantní hodnotu.

Z tepelné rovnováhy dostaneme opět jako v 4 pro krystalickou látku o hmotnosti m , tepelné kapacitě c_2 a teplotě t_2 vztah

$$mc_2|t - t_2| = (m_1c_1 + \kappa)|t - t_1| \implies c_2 = \frac{(m_1c_1 + \kappa)|t - t_1|}{|t - t_2|m}. \quad (7)$$

3.4 Měrné skupenské teplo tání

Máme led o hmotnosti m a teplotě 0°C . Teplo odevzdané kapalinou bude $Q_1 = (m_1c_1 + \kappa)(t_1 - t)$ a teplo přijaté ledem bude $Q_2 = ml_t + mc_1t$. V tepelné rovnováze a při dokonalé izolaci platí rovnost absolutních hodnot těchto tepel. Pro měrné skupenské teplo tání ledu l_t máme vztah

$$l_t = \frac{(m_1c_1 + \kappa)|t - t_1|}{m} - c_1t. \quad (8)$$

3.5 Měrné skupenské teplo varu

Měrné skupenské teplo varu l_v je až na znaménko rovno měrnému skupenskému teplu kondenzace l_k . Jednodušší je určit l_k . Při kondenzaci se uvolní teplo $Q_1 = ml_k + mc_1(t_v - t)$, kde m je hmotnost páry, teplota varu vody je při tlaku b ($[b] = \text{Torr}$)

$$t_v = 100 + 0.03687(b - 760) - 0.000022(b - 760)^2. \quad (9)$$

Z tepelné rovnováhy dostaneme

$$l_k = \frac{(m_1c_1 + \kappa)|t - t_1|}{m} - c_1|t_v - t|. \quad (10)$$

4 Postup měření

Postup měření popíšeme pro každou část zvlášť. Některé úkoly jsou lehce provázané.

4.1 Tepelná kapacita kalorimetru

1. Zvážili jsme prázdný kalorimetr, poté jsme do něj nalili vodu a opět jsme celek zvážili.
2. Zpravoovznili jsme počítačové prostředí pro měření teploty. Nechali jsme si zobrazit měření teploty.
3. V magnetické míchačce jsme si ohřáli vodu.
4. Dali jsme tepelné čidlo (dále jen čidlo) do vody v kalorimetru a zapsali jsme si teplotu vody.
5. Pomocí čidla jsme změřili teplotu ohřáté vody, čidlo jsme rychle ochladili a dali jsme ho do kalorimetru.
6. Zapnuli jsme vykreslování teplot v závislosti na čase a nalili jsme horkou vodu do kalorimetru.
7. Vyčkali jsme než nastane tepelná rovnováha a potom jsme si vyexportovali naměřená data.
8. Zvážili jsme kalorimetr s vodou.

4.2 Měrná tepelná kapacita kovů

1. Do hrnce jsme dali kostky ledu a trochu vody. Led jsme rozdrtili kovoou tyčkou.
2. Vzorky kovu jsme nechali v hrnci chladit.
3. Nalili jsme vodu do kalorimetru a soustavu jsme zvážili.
4. Čidlem jsme změřili teplotu chladivé lázně a zapsali jsme si ji kvůli kalibraci čidla.
5. Když měly vzorky teplotu chladivé lázně, zapnuli jsme program pro vykreslení dat a čidlo jsme dali do kalorimetru. První vzorek jsme naběračkou vyndali z lázně a osušili jsme ho v hadru. Pomocí naběračky jsme ho vložili do kalorimetru.
6. Po dosažení tepelné rovnováhy jsme vyměnili vodu v kalorimetru, kalorimetr jsme zvážili a analogicky jsme zopakovali předchozí postup pro další dva vzorky.

4.3 Měrné skupenské teplo tání ledu

1. Nalili jsme vodu do kalorimetru a soustavu jsme zvážili. Vložili jsme čidlo do vody a zapnuli jsme vykreslování dat.
2. Z chladivé lázně jsme vyndali několik větších kostek ledu, usušili jsme je a přesunuli jsme je do kalorimetru.
3. Po dosažení tepelné rovnováhy jsme zvážili kalorimetr.

4.4 Měrné skupenské teplo varu vody

1. Připravili jsme si aparaturu pro vytvoření a přesun páry. Položili jsme hrnec na ohřívač, do hrnce jsme nalili 2 cm vody a hrnec jsme utěsnili korkovým špuntem.
2. Uprostřed korkového šuntu byl otvor, do něj jsme umístili hadičku, která vedla do odvlhčovače páry. Vzali jsme druhou hadičku. Jeden konec jsme vložili do kalorimetru s vodou (již zvážený) a druhý jsme připevnili k odvlhčovači páry.
3. Vložili jsme čidlo do vody a zapnuli jsme vykreslování dat.
4. Zapnuli jsme ohřívač a za chvíli proudila pára hadičkami až do kalorimetru.
5. Po dosažení tepelné rovnováhy jsme vypnuli vykreslování dat, vložili jsme čidlo do vroucí vody (pro kalibraci čidla) a zvážili jsme kalorimetr.

5 Vypracování

5.1 Kalibrace čidla

Při měření čidlo ukázalo $t_{\text{čidlo}} = 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, když jsme ho dali do ledové lázně (teplota $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve skutečnosti). Dále ukázalo $t_{\text{čidlo}} = 99.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve vroucí vodě. Ten den byl tlak $b = 98300\text{ Pa} = 737.313\text{ Torr}$, dle (9) je teplota varu $t_v = 99.1522\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vztah pro převod teploty čidla na skutečnou teplotu je

$$t_{\text{skut.}} = \frac{t_{\text{čidlo}} - 0.9}{0.9944}. \quad (11)$$

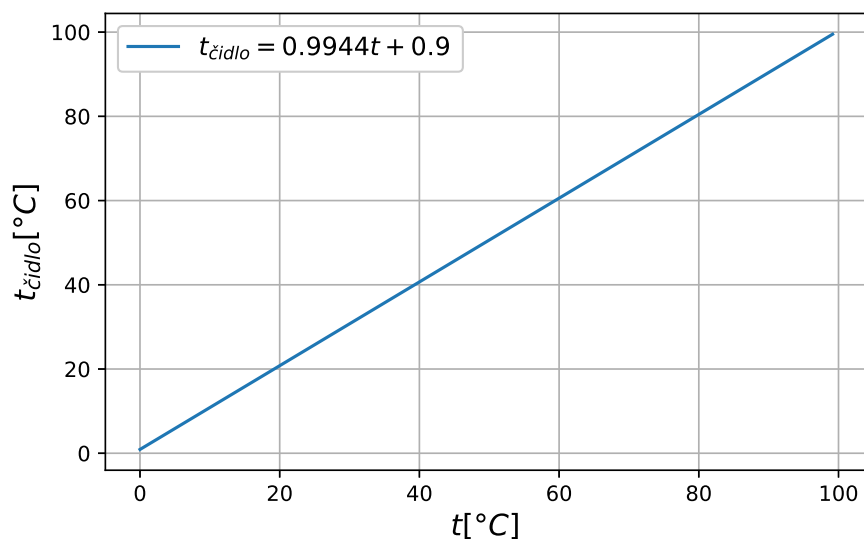
Tento vztah je inverzí vztahu, který je uveden na Obr. 1.

V následujících kapitolách jsou uvedeny teploty naměřené čidlem. Výsledné hodnoty veličin jsou spočítány ze skutečných teplot, které jsou získány ze vztahu (11).

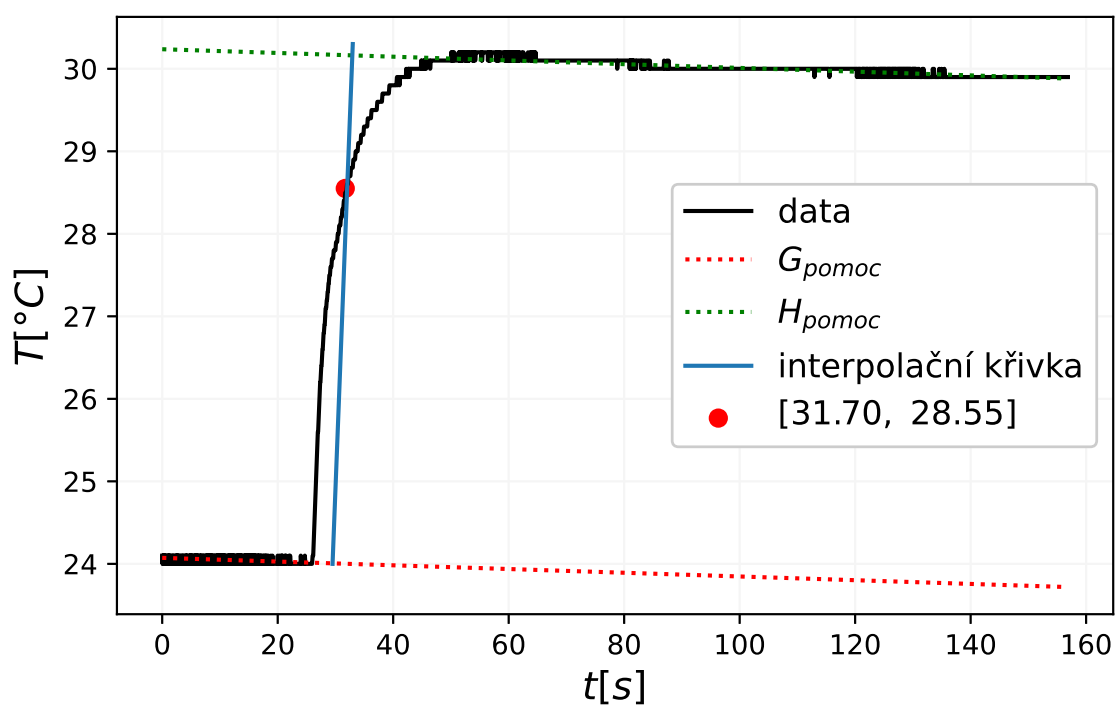
5.2 Tepelná kapacita kalorimetru

Na Obr. 2 a Obr. 3 jsou zobrazeny hodnoty rovnovážných stavů červenými tečkami s jejich souřadnicemi. Tepelnou kapacitu kalorimetru jsme změřili dvakrát. Hodnoty tepelných kapacit kalorimetru jsme určili z (4) a jsou uvedeny v Tab. 1. Uvažovali jsme $c_1 = c_2 = 4181.8\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Hmotnost kalorimetru je 148.58 g .

Výsledná tepelná kapacita kalorimetru je $\kappa = (242 \pm 27)\text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.



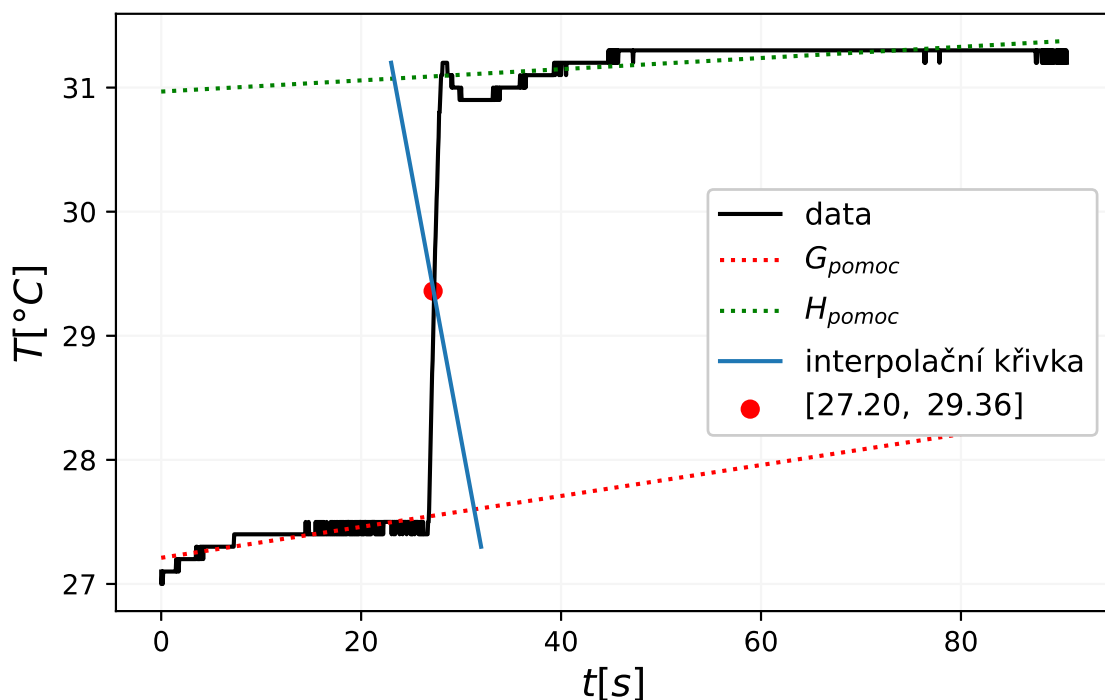
Obr. 1: Kalibrační křivka čidla.



Obr. 2: Graf závislosti teploty systému v kalorimetru na čase. Měření tepelné kapacity č. 1 v Tab. 1.

#	κ [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$]	t [$^{\circ}\text{C}$]	t_1 [$^{\circ}\text{C}$]	t_2 [$^{\circ}\text{C}$]	m_1 [kg]	m_2 [kg]
1	269.34	28.55	24.00	40.40	0.0655	0.04988
2	215.56	29.36	27.45	39.50	0.1031	0.02913

Tab. 1: Tabulka tepelných kapacit kalorimetru a naměřených dat pro jejich výpočet.



Obr. 3: Graf závislosti teploty systému v kalorimetru na čase. Měření tepelné kapacity č. 2 v Tab. 1.

5.3 Měrné skupenské teplo tání ledu

Rovnovážný stav soustavy je odhadnut pomocí interpolační křivky na Obr. 4. Dosazením hodnot z Tab. 2 do vzorce (8) vyjde (zatím bez zaokrouhlení) $l_t = 270631.10 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Předpokládáme, že hmotnost i měrná tepelná kapacita vody jsou určeny přesně. Chybu měření získáme ze vztahu

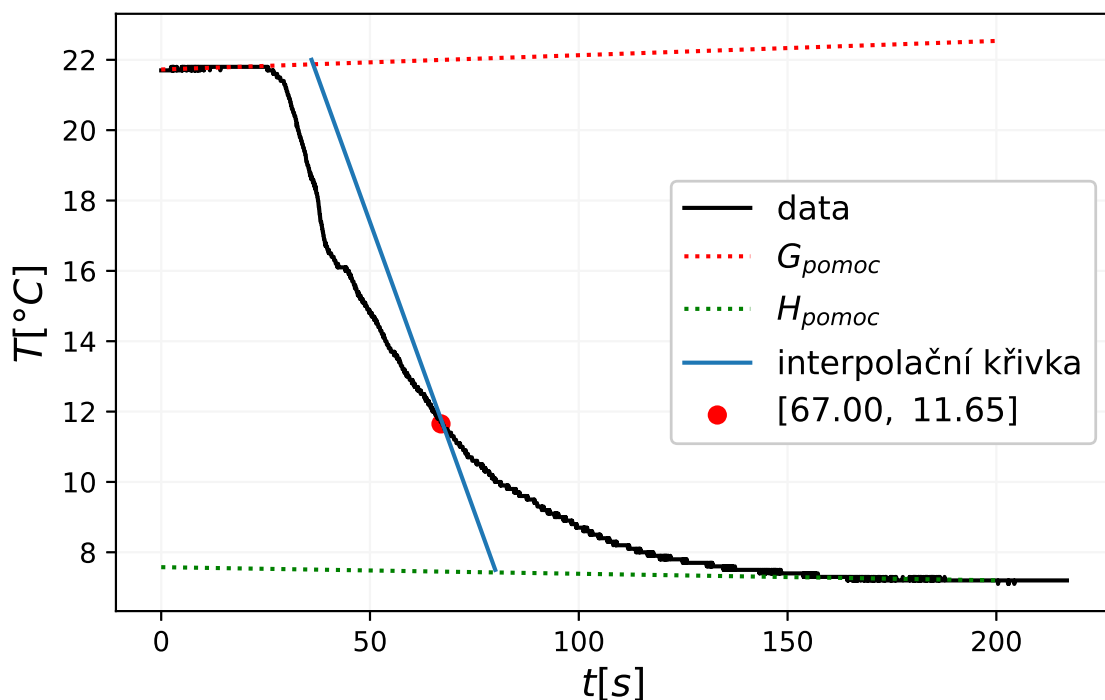
$$\sigma_{l_t} = \sqrt{\left(\frac{t - t_1}{m}\right)^2 \sigma_{\kappa}^2 + \left(\frac{m_1 c_1 + \kappa}{m}\right)^2 \sigma_{t_1}^2}. \quad (12)$$

Čidlo měří s přesností na $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Chyba čidla bude $\sigma_{t_1} = 0.05 \text{ } ^\circ\text{C}$. Dosazením dříve uvedených hodnot do vztahu (12) dostaneme chybu měření.

#	$\kappa [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$	$t [^\circ\text{C}]$	$t_1 [^\circ\text{C}]$	$m_1 [\text{kg}]$	$m [\text{kg}]$
1	242	11.65	21.80	0.1316	0.02562

Tab. 2: Tabulka naměřených hodnot (veličiny odpovídají veličinám v (8)).

Výsledná hodnota je $l_t = (271 \pm 12) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Obr. 4: Graf závislosti teploty systému (led a voda) v kalorimetru na čase.

5.4 Měrná tepelná kapacita kovů

Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3. Teploty rovnovážných stavů jsme získali interpolací dat na Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7. Ve vzorci 7 je $t_2 = 0$ °C. Budeme opět uvažovat, že měrná tepelná kapacita vody a hmotnosti jsou naprosto přesné. Pro chyby nepřímých měření máme

$$\sigma_{c_{2kov}} = \sqrt{\left(\frac{t - t_1}{tm}\right)^2 \sigma_{\kappa}^2 + \left(\frac{m_1 c_1 - \kappa}{tm}\right)^2 \sigma_{t_1}^2}. \quad (13)$$

#	κ [J · K ⁻¹]	t [°C]	t_1 [°C]	m_1 [kg]	m [kg]
mosaz	242	19.10	23.20	0.09574	0.33472
měď	242	19.14	23.00	0.09434	0.36412
hliník	242	19.50	23.20	0.09846	0.11436

Tab. 3: Tabulka naměřených hodnot (veličiny odpovídají veličinám v (7)).

Dosazením hodnot do vzorce (13) a do vzorce (7). Dostáváme pro jednotlivé druhy kovů výsledné hodnoty:

1. $c_{mosaz} = (433 \pm 18) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
2. $c_{měď} = (370 \pm 16) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
3. $c_{hliník} = (1138 \pm 47) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Mezi měrnou tepelnou kapacitou c_m a molární tepelnou kapacitou c_n platí vztah (pro kryst. látky)

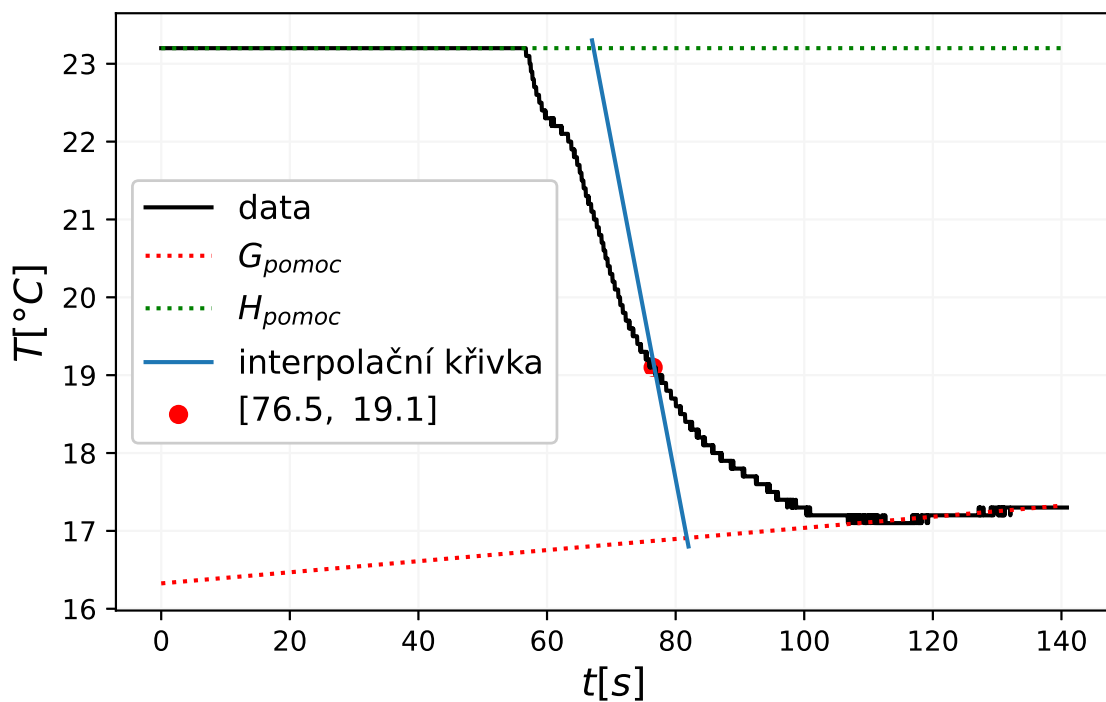
$$\frac{c_n}{c_m} = M \implies c_m = \frac{c_n}{M} = \frac{3R}{M}, \quad (14)$$

kde M je molární hmotnost. Z [5] získáme $M_{Cu} = 63.546 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M_{Al} = 26.9815 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$. U mosazi je to složitější, protože je to slitina. Pro jednoduchost vezmeme 60% mědi, 40% zinku.

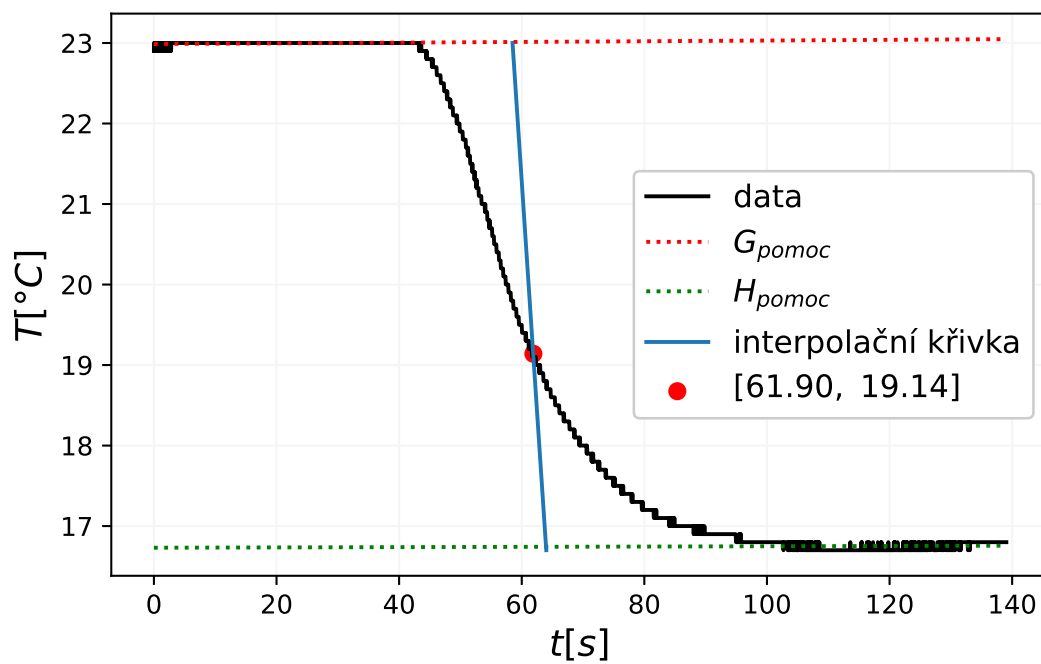
$$M_{mosaz} = (0.6 \cdot 63.546 + 0.4 \cdot 65.39) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Ze vzorce (14) vychází:

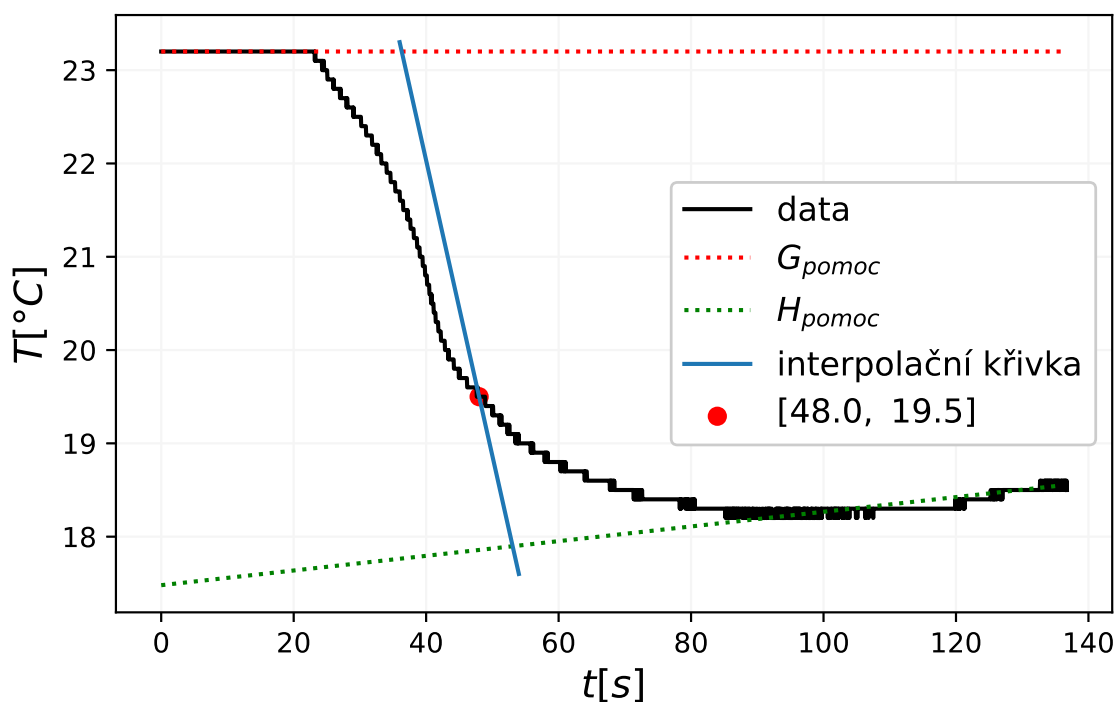
1. $c_{mosaz} = 387.8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
2. $c_{měd} = 392.3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
3. $c_{hliník} = 923.9 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Obr. 5: Graf závislosti teploty systému (voda a mosaz) v kalorimetru na čase.



Obr. 6: Graf závislosti teploty systému (voda a měď) v kalorimetru na čase.



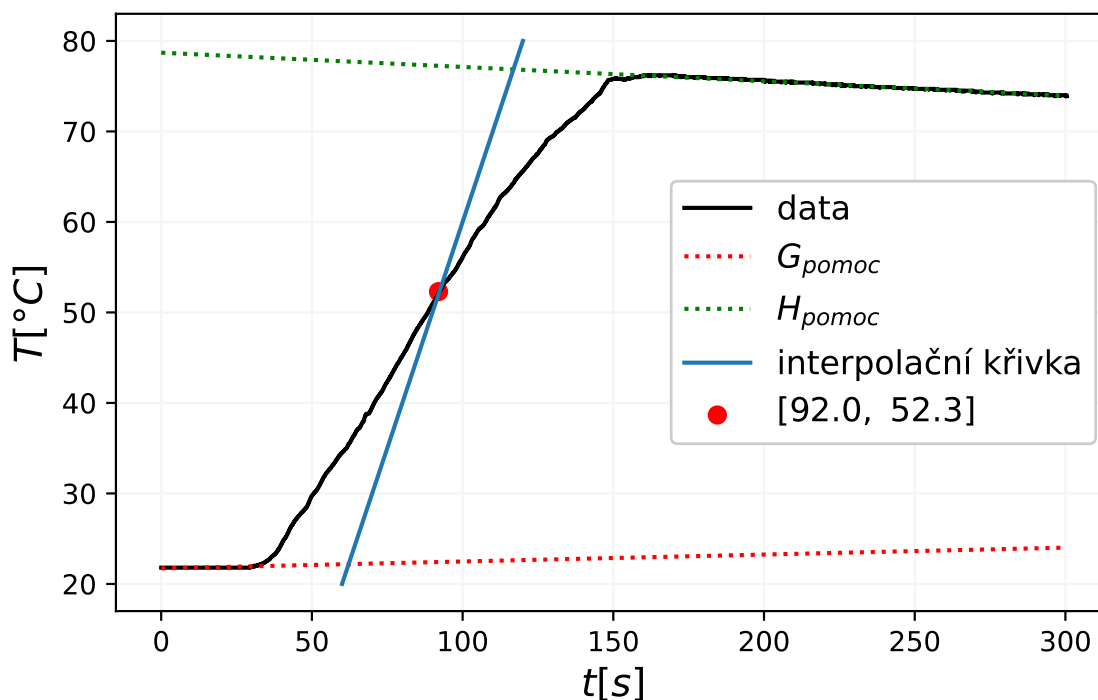
Obr. 7: Graf závislosti teploty systému (voda a hliník) v kalorimetru na čase.

5.5 Měrné skupenské teplo varu vody

Základem našich výpočtů bude opět určení teploty rovnovážného stavu z Obr. 8. V Tab. 4 jsou uvedena naměřená data. Budeme předpokládat, že t_v , hmotnosti i měrná tepelná kapacita vody jsou konstanty, tím dostaneme pro chybu l_k vzorec (12). Dosazením hodnot do vztahů (12), (10), vychází výsledná hodnota $l_v = (2.4 \pm 0.1) \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

#	$\kappa [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$	$t [^\circ\text{C}]$	$t_v [^\circ\text{C}]$	$t_1 [^\circ\text{C}]$	$m_1 [\text{kg}]$	$m [\text{kg}]$
1	242	52.30	99.15	22.8	0.1031	0.00778

Tab. 4: Tabulka naměřených hodnot (veličiny odpovídají veličinám v (10)).



Obr. 8: Graf závislosti teploty systému (voda a pára) v kalorimetru na čase.

6 Diskuse

Zde se vyjádřím k jednotlivým podúkolům zvlášť.

6.1 Kalibrace čidla

Zde není moc prostoru pro diskuzi. Změřili jsme pomocí čidla dvě známé teploty, výsledek závisel pouze na přesnosti čidla. Velice důležitý je předpoklad, že mezi skutečnou a naměřenou teplotou je lineární závislost. Kdyby tomu tak nebylo, bylo by mnohem obtížnější určit z naměřených teplot skutečnou teplotu.

6.2 Tepelná kapacita kalorimetru

Od hodnoty tepelné kapacity kalorimetru se odvíjí všechny další úkoly, proto byla tato hodnota měřena dvakrát. tepelná výměna proběhla velice rychle, jak je vidět z Obr. 2 a Obr. 3. Přejde mi, že data ukazují, že se staly nějaké drobné chyby. Na Obr. 2 kalorimetr přijal na začátku teplo z okolí (nejpíše při nalévání vody). Na Obr. 3 jsou zase velice podivné "zuby" při dosažení rovnováhy. První měření bude více nepřesné než druhé. Měrnou tepelnou kapacitu kalorimetru by bylo dobré změřit alespoň desetkrát.

Dle [4] je měrná tepelná kapacita polystyrenu $c_{EPS} = 1270 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Hmotnost polystyrenu v kalorimetru bude asi 20 g. Pokud bych věděl, z čeho byl kovový obal kalorimetru, mohl bych odhadnout jeho kapacitu. Byl poměrně lehký (hmotnost 148.58 g), kdyby byl z hliníku dostali bychom $\kappa \approx 130 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Určitě nebyl jen s hliníku, takže jeho tepelná kapacita bude větší. Naše hodnota pro jeho tepelnou kapacitu bude poměrně přesná.

6.3 Měrná tepelná kapacita kovů a Dulongův-Petitův zákon

Z naší strany poměrně úspěšný experiment. Měď a mosaz mají malou tepelnou kapacitu, proto při tepelné výměně nastane rovnovážný stav mnohem rychleji než u hliníku. Výsledky pro měď a mosaz jsou mnohem přesnější, protože okolní prostředí mělo na experiment malý vliv.

U hliníku došlo možná i k většímu příjmu tepla z okolí. Zejména pro $t \in \langle 35; 43 \rangle$ s na Obr. 7. Z mého pohledu by měla být teplota rovnovážné polohy spíše 20 °C, poté bychom dostali $c_{hliník} = 958.4 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Odtud odhaduji $\sigma_{sys_{hlin.}} = 180 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Podobně je tomu i u mosazi na Obr. 5, kde by rovnovážná teplota měla být spíše kolem 19.3 °C. Odtud odhaduji $\sigma_{sys_{mos.}} = 30 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Pro měď nám vyšla velice pěkná křivka, která má pouze jeden inflexní bod okolo 20 °C. Z velké části došlo k eliminaci vlivů z okolí, ovšem tyto vlivy nemůžeme nikdy vyloučit. Kvalifikovaným odhadem bych řekl, že systematická chyba bude $\sigma_{sys_{měd}} = 15 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Problémem u tohoto experimentu byl přenos kovu z ledové lázně na hadr a z hadru do kalorimetru. Kov přijal teplo od okolí a trochu se ohřál. Kdybychom zmenšili teplotu ve jmenovateli ve vzorci (7) o 0.03 °C dostaneme:

1. $\sigma_{sys_{hlin.}} = 12 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
2. $\sigma_{sys_{měd}} = 3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
3. $\sigma_{sys_{mos.}} = 3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Tabulkové hodnoty převzaté z [2] jsou:

1. $c_{mosaz} = 384 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
2. $c_{měd} = 383 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
3. $c_{hliník} = 896 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Porovnáním s hodnotami v 5.4 vidíme, že Dulongův-Petitův zákon pro tyto látky platí.

6.4 Měrné skupenské teplo tání ledu

Největším problémem tohoto experimentu je, že trvá velice dlouho než soustava dospěje do rovnovážného stavu. Z Obr. 4 je vidět, že rovnovážný stav nastane zhruba po 120 s od vhození ledu. Zde je velký prostor pro okolí, aby do neideálního kalorimetru dodávalo teplo. Na Obr. 4 je vidět, že v počáteční fázi klesá teplota velice rychle a kolem červeného bodu se pokles teploty zpomalí. Důvodem bude problém při přenosu ledu do kalorimetru, kdy je kalorimetr otevřen. V počáteční fázi je v kalorimetru hodně tepla z okolí, které přispěje k rychlému rozpouštění ledu.

Led plave na vodě. V kalorimetru, který má otvor ve víku, je led přímo v kontaktu s okolím.

Tabulková hodnota je dle [6] $l_t = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nám vyšlo, že na změnu skupenství určitého množství ledu potřebujeme méně tepla. Je to logické, protože nějaké teplo nám dodalo okolí. Myslím, že teplota tepelné rovnováhy by měla být nižší, než jsme naměřili. Geometrie vhozeného ledu má také svůj význam. Čím větší bude mít led povrch, tím rychleji by se měl rozpouštět.

Systematická chyba bude minimálně $\sigma_{sys_{l_t}} = 35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Je ale poměrně těžké z jednoho experimentu odhadnout, jak moc mohlo okolí ovlivnit experiment.

6.5 Měrné skupenské teplo varu vody

Vzestupná část křivky na Obr. 8 by mohla být aproximována přímkou. Teplota rovnovážného stavu soustavy bude velice přesně určena.

U experimentu je problém naprosto opačný od předchozího experimentu, teplo je naopak odevzdáváno do okolí. Při experimentu jsme hadičku ponořili do vody a celý kalorimetr jsme přikryli hadrem. Pára má vysokou energii, proto stačí malý únik páry a soustava ztratí mnoho energie.

Experimentální aparatura má nedostatek, že pára kapalní mezi odvlhčovačem a kalorimetrem. Vizuálně mi přišlo, že hadička byla lehce orosená. Objem jedné kapky je dle [3] přibližně 1.5 mm^3 . Počet kapek, které do soustavy stekly bude maximálně 8. Hodnota l_v by se změnila o $0.01 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Tento efekt bude s únikem tepla do okolí zanedbatelný. Systematická chyba bude minimálně $\sigma_{sys_{l_t}} = 0.1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Je ale poměrně těžké určit kolik páry mohlo uniknout během experimentu.

Tabulková hodnota je [7], což přibližně odpovídá našemu výsledku.

6.6 Kdy použít interpolaci?

Interpolaci je dobré použít v případech, kdy tepelná výměna probíhala delší dobu např. Obr. 4. Naopak když tepelná výměna proběhla skokově, pak není potřeba interpolaci dělat. Ovšem naše experimenty měly vždy nějaký časový průběh, takže jsem interpolaci dělal všude, i když u některých grafů se dělat nemusela, možná i neměla.

7 Závěr

Všechny úkoly až na tání ledu se vydařily. Dulongův-Petitův zákon byl potvrzen. Uvedeme výsledky měření.

Výsledná hodnota **tepelné kapacity kalorimetru** je: $\kappa = (242 \pm 27(stat)) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

Výsledná hodnota **měrného skupenského tepla tání ledu** je: $l_t = (271 \pm 12(stat) \pm 35(sys)) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výsledná hodnota **měrného skupenského tepla varu vody** je: $l_v = (2.4 \pm 0.1(stat) \pm 0.1(sys)) \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výsledná hodnota **měrné tepelné kapacity mědi** je: $c_{m\acute{e}d} = (370 \pm 16(stat) \pm 18(sys)) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výsledná hodnota **měrné tepelné kapacity mosazi** je: $c_{mosaz} = (433 \pm 18(stat) \pm 33(sys)) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výsledná hodnota **měrné tepelné kapacity hliníku** je: $c_{hl.} = (1138 \pm 47(stat) \pm 192(sys)) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

8 Použitá literatura

- [1] Kolektiv KF. *Návod: Úloha 5 – Kalorimetrie* [Online, cit. 23. října 2021].
http://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/415/mod_resource/content/test.pdf
- [2] Tepelná roztažnost a měrná tepelná kapacita [online]. [cit. 2021-10-23].
Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/tepelna-kapacita-roztaznost.php>
- [3] MOCEK, Jan. 10. ročník, úloha V . E . . . experimentování v dešti [online]. [cit. 2021-10-23].
Dostupné z: https://fykos.cz/_media/rocnik10/ulohy/pdf/uloha10_5_e.pdf?cache=
- [4] Bc. Filip Eliáš Vliv tepelné izolační vlastnosti obálky budovy na její energetickou náročnost. Brno, 2018. 96 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
- [5] Standardní atomové hmotnosti prvků [online]. [cit. 2021-10-23].
Dostupné z: [urlhttps://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/TabII.pdf](https://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/TabII.pdf)
- [6] Měrné skupenské teplo tání. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A9_skupensk%C3%A9_t%C3%A1n%C3%AD
- [7] Měrné skupenské teplo varu. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A9_skupensk%C3%A9_varu

Příloha