

Teplota varu kapalin v elektrické konvici

VLADIMÍR VOCHOZKA, PAVLA WEGENKITTLOVÁ

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Abstrakt

Běžná elektrická „rychlovarná“ konvice vypne ohřev vody okolo 100 °C. Jak se ale bude chovat při ohřevu ethanolu (technického lihu, ethanolu pro biokrbý) či směsi vody a ethanolu (30 % a 50 % vodky) už není tak předvídatelné. V příspěvku jsou popsána jednotlivá měření.

Teplota varu a měrná tepelná kapacita

Teplota varu θ je teplota, při které kapalina mění v celém svém objemu své skupenství na plynné. Teplota varu závisí na atmosférickém tlaku a látce.[1]

Měrná tepelná kapacita udává, jaké množství tepla je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby se její teplota zvýšila o jeden Kelvin (resp. o jeden stupeň Celsia). [1]

Základní hodnoty pro vybrané látky shrnuje Tabulka 1.

Tabulka 1. Teplota varu a měrná tepelná kapacita vybraných látek. [2]

Látka	Teplota varu t_{var} (°C) ^a	Měrná tepelná kapacita c ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) ^b
Voda	100,0	4 183
Ethanol	78,3	2 437

a Za normálního atmosférického tlaku $p_n = 1\,013,25$ hPa.

b Při teplotě 25 °C. Měrná tepelná kapacita není pro látku konstantou, ale závisí na teplotě. Například ethanol má při teplotě 50 °C hodnotu $c_{50} = 2\,674$ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; při teplotě 75 °C hodnotu $c_{75} = 2\,963$ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Elektrická konvice

Všechny elektrické konvice se automaticky vypínají díky termostatu (mechanickému, elektrickému nebo elektronickým zařízení, která reagují na změny teploty). [3]

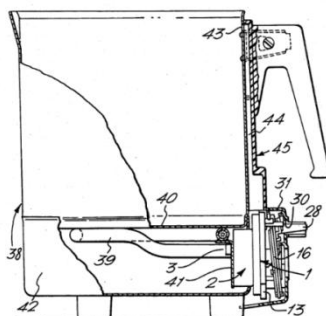
Nejjednodušší jsou mechanické termostaty používající bimetalový termostat. Skládá se z kotouče ze dvou různých kovů pevně spojených dohroma-

dy, z nichž se jeden při zvyšování teploty rozpíná rychleji než druhý. Normálně je termostat prohnutý jedním směrem, ale když voda dosáhne bodu varu, vzniklá pára předá teplo bimetalovému termostatu, a to způsobí, že se náhle zlomí a prohne v opačném směru. Když se termostat deformuje, stiskne páčku, která rozpojí obvod, přeruší elektrický proud a bezpečně vypne konvici (obr. 1). [3; 4; 5]

Druhým typem termostatu, který je využívám v elektrických konvicích, je elektronický termostat využívající přesnější elektronické teplotní senzory, jako jsou například NTC (*Negative Temperature Coefficient*) termistory. Tyto termostaty jsou schopny snímat teplotu v širším intervalu hodnot místo pouze při jedné teplotě. Na výstupu čidla je informace předávána v digitální formě, číselný údaj se mění podle okolní teploty.[5]

U.S. Patent Nov. 2, 1982 Sheet 1 of 4 4,357,520

FIG.1.



Obr. 1 Řez elektrickou konvicí s bimetalovým termostatem [4]

Z horní části vodní komory číslo 38 vede dolů k bimetalovému termostatu a spínači č. 1 a č. 2 odvod páry a trubice č. 43 a 44. Když voda v konvici vře, vzniklá pára postupuje touto trubicí, ohřívá termostat a způsobuje jeho sepnutí, čímž vypíná topné těleso č. 39 a zastavuje další ohřev. [4]

Naměřené hodnoty

Měření bylo prováděno v nadmořské výšce 381 m (České Budějovice) za konstantní okolní teploty 25 °C při tlaku vzduchu 968,4–969,2 hPa.

Pomůcky

K měření byla použita měřidla:

- teploměr Vernier Go!Temp $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, přesnost $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- software Vernier Graphical Analysis;
- skleněný odměrný válec Simax Kavalier 1634 BB 250 ml/1 ml;
- digitální váha Kern EMS 6K0. 1, 6 kg/0,1 g;
- analogové stopky TFA Dostmann 38.1022 30 min/0,2 s.

Porovnávány byly kapaliny:

- voda;
- vodka Hanácká Trendy 30 % (dále již jen jako vodka 30 %);
- vodka Smirnoff Blue 50 % (vodka 50 %);
- líh Severochema technický 93 % [6] (líh technický);
- líh SOLO Ethanol pro biokrby 90 % [7] (bioethanol).

Elektrické konvice

Všechna měření probíhala v elektrických konvicích Xiaomi Mi Smart Kettle a Mi Smart Kettle Pro (Obr. 2). Obě mají příkon 1 800 W; objem 1,5 l; vložku z nerezové oceli a jsou si na první pohled velmi podobné. Rozdílné jsou v termostatu, Smart Kettle má mechanický termostat – bimetalový plíšek, Smart Kettle Pro má elektronický termostat – termistor NTC. [8]



Obr. 2 Vlevo elektrická konvice Xiaomi Mi Smart Kettle, vpravo Xiaomi Mi Smart Kettle Pro

Postup měření

1. Všechny látky a měřidla byly v předstihu umístěny do laboratoře, aby došlo k získání termodynamické rovnováhy mezi všemi tělesy a látkami.
2. V odměrném válci bylo odměřeno 250 ml měřené kapaliny.

3. Na váze byla určena hmotnost odměrného válce s kapalinou.
4. Po vlití kapaliny do konvice byly současně spuštěny stopky, sběr dat v dataloggeru a ohřev.
5. Po skončení ohřevu byla přelita zbývající kapalina (pokud nějaká zůstala) do odměrného válce a opětovně určena hmotnost.
6. Elektrické konvice byly po ohřevu mezi jednotlivými měřeními odstaveny na dostatečně dlouhou dobu, aby došlo opět k vyrovnání jejich teploty s okolím.

Výsledky měření

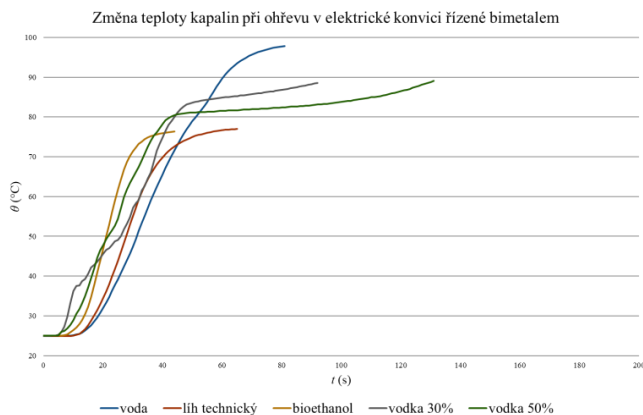
Konvice řízená bimetalem

Naměřené hodnoty času jsou zaznamenány od spuštění ohřevu kapaliny po vypnutí spínače konvice. Při vypnutí ohřevu byla současně odečtena aktuální teplota (Tabulka 2).

Tabulka 2. Doba ohřevu a teplota při vypnutí ohřevu [2]

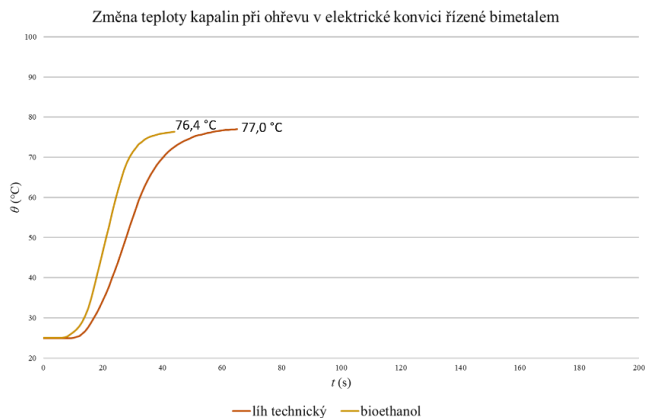
Látka	Čas ohřevu t (s)	Teplota při vypnutí θ (°C)
Voda	81	97,9
Láh technický	65	77,0
Bioethanol	44	76,4
Vodka 30 %	104	88,6
Vodka 50 %	131	89,1

Teplota při vypnutí vody a ethanolů odpovídá tabulkovým hodnotám (Tabulka 1). Ohřev látek s menší měrnou tepelnou kapacitou (ethanolů) skončil dle očekávání dříve než u vody, to je také v souladu s tabulkovými hodnotami (Tabulka 1). Směsi vody a ethanolu (vodky) musely být ohřívány delší dobu, než předaly potřebné teplo bimetalovému spínači pomocí par. Proč tomu tak bylo lze zjistit analýzou průběhu ohřevu kapalin z následujících grafů.



Obr. 3 Graf změny teploty kapalin ohříváných v elektrické konvici řízené bimetalem

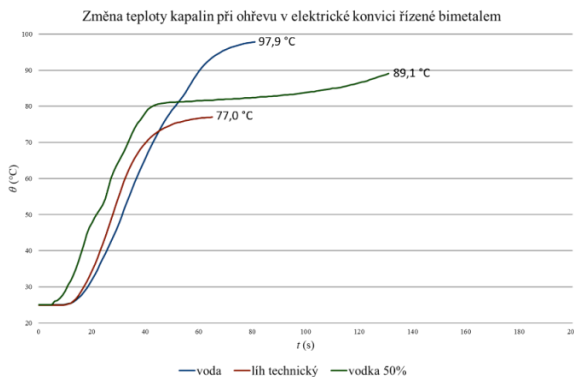
V grafu můžeme pozorovat, že teplota varu a zároveň i teplota při vypnutí u obou ethanolů (technický líh a bioethanol) je téměř totožná (vybrané křivky obr. 4).



Obr. 4 Graf změny teploty technického lihu a bioethanolu

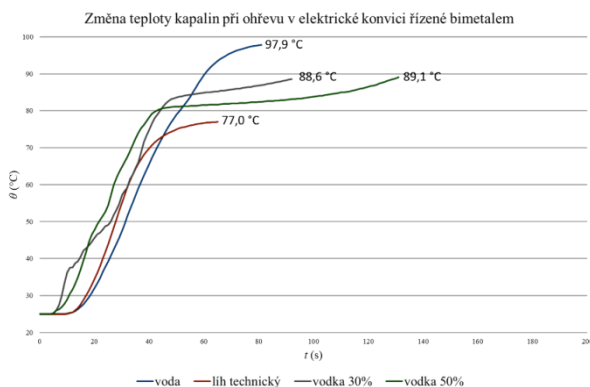
Při pokusech lze tedy jeden zaměnit druhým. Aroma par bioethanolu je subjektivně příjemnější.

Směs ethanolu a vody (vodka 50 %) se ohřívá nejdélší dobu. Z křivky změny teploty je možné usuzovat, že teplota varu směsi se posunula k $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poté se pomalu zvyšovala s úbytkem množství ethanolu, který se již vyvařil (obr. 5).



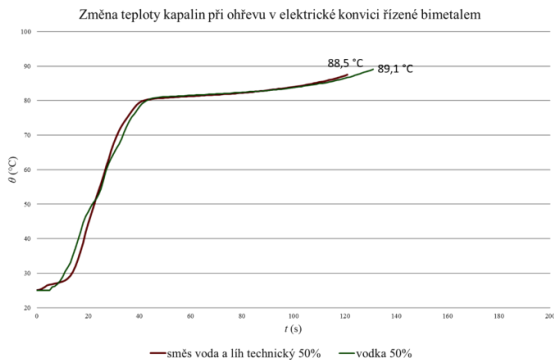
Obr. 5 Graf změny teploty vody, technického lihu a 50 % vodky

Tvrzení je možné podpořit pozorováním směsi s větším obsahem vody (30 % vodka) (obr. 6), kde je na začátku teplota varu okolo $82\text{ }^{\circ}\text{C}$ a opět lze pozorovat její postupné zvyšování.



Obr. 6 Graf změny teploty vody, technického lihu, 30 % a 50 % vodky

50 % vodka je velmi drahá látka (cena za 0,7 l byla 499 Kč 24. 08. 2022) k znehodnocení v rámci pokusu. Proto se nabízí řešení v náhradě směsi vody a technické lihu ve stejném poměru. Výsledky měření s takto namíchanou směsí jsou velmi podobné 50 % vodce (obr. 7) a jde o náklady v hodnotě desítek korun, nikoliv stovek.



Obr. 7 Graf změny teploty 50 % směsi vody a technického lihu a 50 % vodky

Teplota při vypnutí θ se liší o pár jednotek stupňů, její hodnota nabývá 88,5 °C (50 % vodka 89,1 °C) a stejně tak i čas ohřevu t , který byl 125 s (50 % vodka 131 s).

Konvice řízená termistorem

Zajímavé chování je možné pozorovat u konvice, která spíná ohřev na základě termistoru. Chování termostatu je samozřejmě naprogramováno podle chování ohřevu vody. Stejně jako v předchozím odstavci i nyní jsou naměřené hodnoty zaznamenány (Tabulka 3) od spuštění ohřevu kapaliny po vypnutí ohřevu, nejde však vždy o vypnutí hlavního spínače.

Tabulka 3. Teplota a uběhlá doba při vypnutí ohřevu. [2]

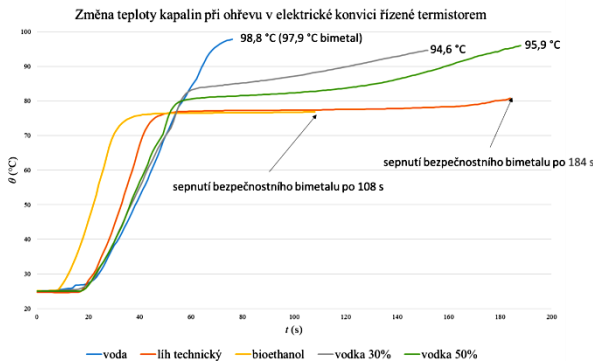
Látka	Čas ohřevu t (s)	Teplota při vypnutí θ (°C)
Voda	81	98,8 ^a
Lih technický	184	80,7 ^{bc}
Bioethanol	108	76,7 ^b
Vodka 30 %	152	94,6
Vodka 50 %	188	95,9

a Kapalina dosáhla vyšší teploty než při ohřevu v konvici řízené bimetalem (Tabulka 2).

b Došlo k rozpojení bezpečnostního bimetalu.

c V 171. s od spuštění ohřevu se vyvařil všechny objem kapaliny.

Průběh ohřevu kapalin v konvici s termostatem na principu termistoru shrnuje následující graf (obr. 8).



Obr. 8 Graf změny teploty kapalin ohříváných v elektrické konvici řízené termistorem

Všechny kapaliny se chovají stejně (mají totožný průběh), jako při ohřevu v konvici řízené bimetalem, pouze dochází k jejich ohřevu delší dobu, někdy až za hranu bezpečnosti. Zajímavý je především průběh obou směsí (50 % a 30 % vodky). Dochází ke zvyšování jejich teploty delší dobu až skoro k teplotě varu vody. Lze tedy tvrdit, že jde o potvrzení závěru z předchozí části.

Náklady

Pro provedení pokusu je nezbytné počítat s náklady, které shrnuje tabulka 4.

Tabulka 4. Finanční rozvaha pokusu

Položka	Cena (Kč)
Elektrická konvice Rohson R-7630	399
Vodka Hanácká Trendy 30 %	99
Vodka Smirnoff Blue 50 %	499
Lih Severochema technický 93 %	69
Lih SOLO Ethanol pro biokrby 90 %	129

50 % vodku lze nahradit směsí bioethanolu a vody v poměru 1,25 : 1 (například cca 139 ml bioethanolu a 111 ml vody). Bioethanol i technický líh mají velmi podobné vlastnosti, a proto lze doporučit práci například pouze s bioethanolem, pro jeho subjektivně méně intenzivní aroma. Pokud lze předpokládat, že učebna je již vybavena elektrickou konvicí, jde pouze o nákup kapalin v hodnotě 228 Kč.

Závěr

Hlavním přínosem popsaného pokusu je aplikace učiva fyziky základní školy (vypařování/var, měrná tepelná kapacita, teplo) na příkladu s jednoduchými pomůckami z domácnosti, který může představovat problémovou úlohu s experimentálním ověřením.

Pokus demonstrující, pro některé žáky překvapivý, průběh ohřevu směsi ethanolu a vody je finančně nenáročný.

Chování kapalin v konvici řízené termistorem lze považovat za rozšiřující a zajímavé spíše pro oblast automatizace.

Příspěvek vznikl v rámci projektu GAJU 041/2022/S „Klíčová místa kurikula pro integraci vzdělávacích obsahů v oblasti STEM“.

Literatura

- [1] SVOBODA, E., BARTUŠKA, K.: *Fyzika pro gymnázia*. 7. vydání. Praha: Prometheus, 2020. ISBN 978-80-7196-484-1.
- [2] MIKULČÁK, J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 6. vyd. Praha: Prometheus, 2022. ISBN 978-80-7196-507-7.
- [3] MURRAY, D. M., J. LIAO, L. STANKOVIC a V. STANKOVIC.: Understanding usage patterns of electric kettle and energy saving potential. *Applied Energy*. 2016, 171, 231-242. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2016.03.038
- [4] TAYLOR, J.: *Electricwater-Boiling Container Having Switch-On Orp and Stream Sensitive Thermally Responsive Control Unit*. United States. US4357520A. Přihlášeno Mar. 18,1980. Uděleno Nov. 2, 1982. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ea/83/a2/9346018652b07f/US4357520.pdf>

- [5] JINJUAN, Fan, Zhao XU a Tao CHUNHU. Failure evaluation of coffee maker. *Engineering Failure Analysis* [online]. 2009, 16(6), 1948-1954 [cit. 2022-08-23]. ISSN 13506307. Dostupné z: doi:10.1016/j.engfailanal.2008.10.
- [6] SEVEROCHEMA. *Lih technický: Bezpečnostní list* [online]. 6.0. Liberec, česká republika: Severochema družstvo pro chemickou výrobu, 2021 [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: https://www.severochema.cz/storage/Download_DownloadTranslation/1-2000/70-file-lih-technicky-11.pdf
- [7] SOLO MATCHES & FLAMES, A.S. *Ethanol pro krby: Bezpečnostní list* [online]. 2019. 3. Cejl, Česká republika: SOLO MATCHES & FLAMES, 2019 [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: <https://pemi.cz/uploads/0/SafetyDatasheets/bl-solo-ethanol-pro-krby.pdf>
- [8] XIAOMI GLOBAL COMMUNITY. *MiJia Smart Kettle: Technical specifications* [online]. 1. [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: https://files.xiaomi-mi.com/files/mijia_smart_kettle/Kettle-EN.pdf