

Úloha IV.E . . . už to bublá!

8 bodů; průměr 5,55; řešilo 42 studentů

Změřte účinnost rychlovarné konvice. Údaj o příkonu naleznete obvykle na samolepce zesponu konvice. Výkon určíte tak, že zjistíte, o kolik stupňů Celsia se zahřál daný objem vody za jednotku času. Pokuste se minimalizovat chybu měření a popište, jak jste se toho snažili dosáhnout.

Varování Rozhodně sami nepoužívejte voltmetr a ampérmetr u tak vysokého napětí a proudu.

Karel si vzpomněl na středoškolská léta.

Teorie

Účinnost je definována jako podíl výkonu a příkonu. Po rozšíření časem můžeme účinnost spočítat také jako podíl práce vykonané a energie, kterou stroj na vykonání této práce spotřeboval.

V našem případě rychlovarná konvice ohřívá vodu, musí tedy vykonat práci na její ohřátí z teploty T_0 na teplotu varu $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ (budeme předpokládat, že právě při dosažení této teploty se konvice vypne). Práce potřebná k ohřátí k hmotnosti m (předpokládáme, že je během ohřevu konstantní, tj. žádná se nevypaří) o teplotu $T - T_0$ je rovna $W = cm(T - T_0)$, kde $c = 4180\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ je měrná tepelná kapacita vody.

Budeme dále uvažovat, že je příkon P konvice konstantní. To ve skutečnosti není pravda, jelikož příkon bude záviset např. na teplotě topného tělesa (respektive na jeho odporu, který je na teplotě závislý). Jelikož však podle zadání nemáme k dispozici ampérmetr, který by nám tento průběh ukázal, musí nám tento předpoklad stačit.

Trvá-li konvici ohřátí vody čas t , pak je za uvedených předpokladů její účinnost

$$\eta = \frac{cm(T - T_0)}{Pt}.$$

Pro zjištění účinnosti konvice tedy musíme znát příkon konvice P a změřit hmotnost vody m , její počáteční teplotu T_0 a čas t , za který se voda ohřeje na teplotu varu. Budeme tedy potřebovat váhy (případně odměrku pro změření objemu, z kterého je možné hmotnost za znalosti hustoty spočítat), teploměr a stopky.

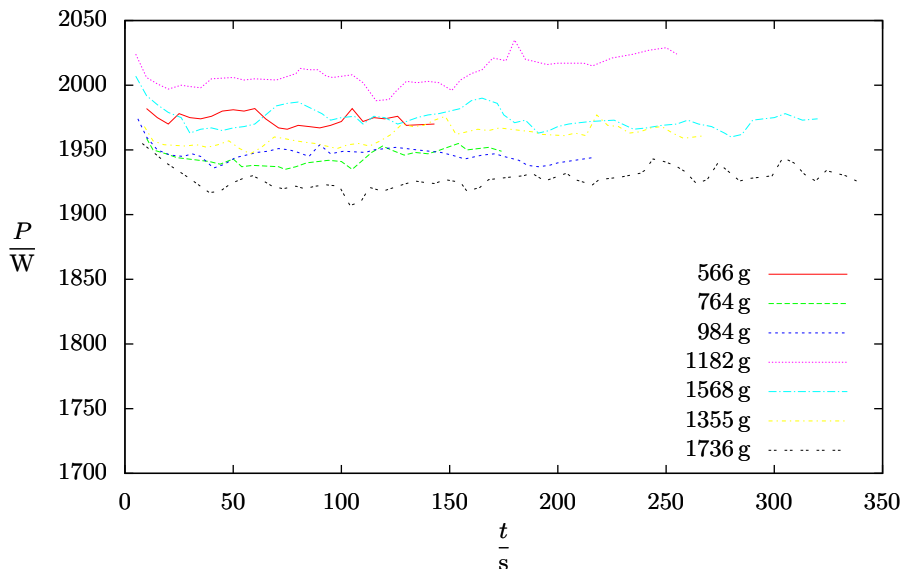
Zamysleme se nyní nad tím, jaké počáteční podmínky mohou účinnost konvice ovlivnit. Teplotu varu vody, výkon konvice, měrnou tepelnou kapacitu vody a čas potřebný k ohřevu ovlivnit nemůžeme. Můžeme však ovlivnit počáteční teplotu vody, její hmotnost a počáteční teplotu konvice. Řekněme, že experiment budeme provádět za stálé pokojové teploty a konvici necháme před každým měřením vytemperovat. Počáteční teplotu vody ovlivnit můžeme, nicméně rychlovarné konvice se většinou používají pro ohřev pitné vody z vodovodu, jejíž teplota je při dané venkovní teplotě přibližně stálá. Nyní musíme zjistit, zda účinnost může záviset na hmotnosti vody, kterou konvice ohřívá. Je zřejmé, že tomu tak je. Při ohřevu vody se totiž spotřebovává energie i na ohřev samotné konvice. Teplo, které je potřebné k jejímu ohřevu, není zřejmě závislé na hmotnosti vody, z toho důvodu by měla účinnost konvice růst se zvyšující se hmotností vody v ní.

Měření

Pro měření hmotnosti vody byla použita digitální kuchyňská váha. Na ni byla prázdná konvice postavena a váha byla vynulována. Po nalití vody se tedy zobrazila přímo její hmotnost. Teplota byla měřena digitálním teploměrem připojeným k počítači. Snímač teploty byl upevněn tak,

aby snímal teplotu přibližně ve středu vodou zaplněné části konvice během celého ohřevu, a tak bylo možné určit přibližně i závislost výkonu v čase. Teplota se měřila automaticky každou sekundu a byla zapsána do souboru. Příkon konvice byl měřen digitálním měřičem spotřeby. Ten zobrazuje průměrný příkon vždy za časový interval 5 s. Tato hodnota byla vždy po změně přepsána do počítače včetně aktuálního času od zapnutí konvice.

Jak je vidět z grafu 1, příkon konvice je po celou dobu ohřevu přibližně konstantní, při výpočtu účinnosti se tedy pro každou hmotnost vody počítalo vždy s jeho průměrnou hodnotou. Z grafu 2 vidíme, že i výkon je během ohřevu přibližně konstantní, tedy i účinnost bude během ohřevu přibližně konstantní.



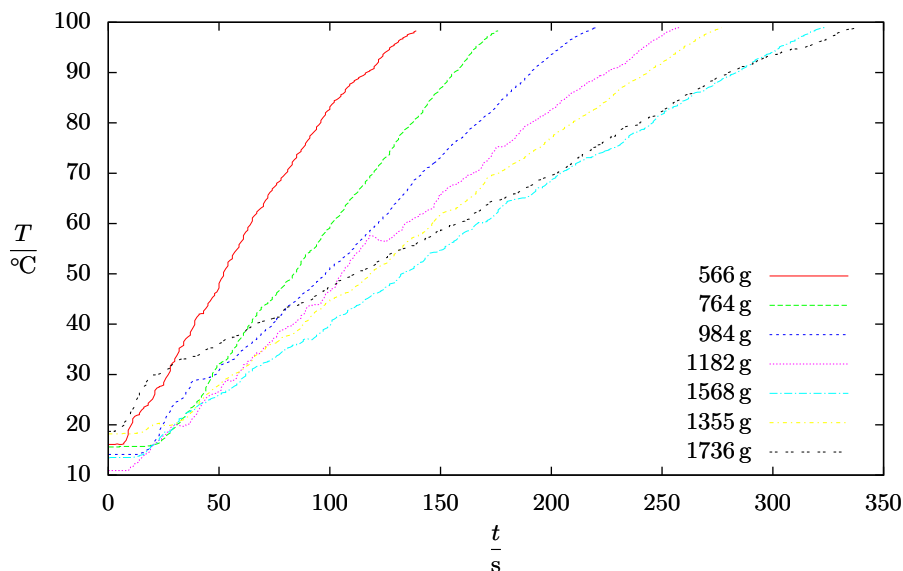
Obr. 1: Graf příkonu konvice v závislosti na čase pro různé hmotnosti vody

Naměřené hodnoty a z nich spočítané hodnoty účinnosti konvice uvádíme v tabulce 1 a grafu 3. Je vidět, že účinnost konvice opravdu roste se zvyšující se teplotou vody v ní, jak jsme předpověděli v teoretické části.

Nejistoty měření a diskuse výsledků

Jako u každého měření, i zde musíme určit, s jakou přesností jsme měření provedli, a diskutovat zjištěné výsledky.

Nejprve k měření teploty. V našem případě měříme pouze počáteční teplotu vody a předpokládáme, že konvice se vypne právě v okamžiku dosažení teploty varu vody v celém jejím objemu. Teploměr je před odečtením teploty již nějakou dobu ponořen ve vodě, je digitální a poměrně přesný (odchylky byly určeny podle informací výrobce), měření počáteční teploty by tedy mělo být poměrně přesné. Uvažujme nyní, jak by se změnil výsledek, kdyby se konvice



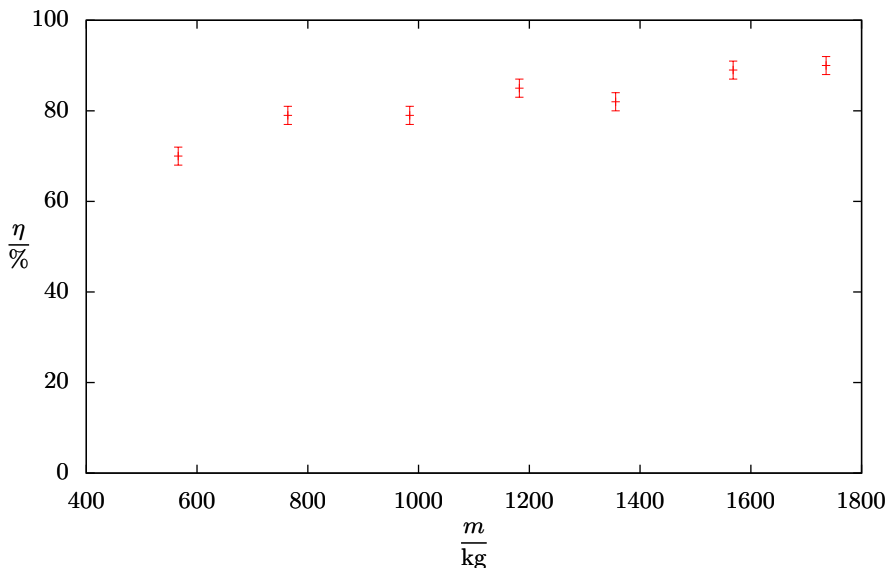
Obr. 2: Graf teploty vody v závislosti na čase pro různé hmotnosti vody

Tabulka 1: Naměřené hodnoty a spočítané účinnosti konvice

$\frac{m}{\text{g}}$	$\frac{T_0}{\text{°C}}$	$\frac{P}{\text{W}}$	$\frac{t}{\text{s}}$	$\frac{\eta}{\%}$
1736 ± 2	$18,7 \pm 0,5$	1928 ± 16	340 ± 1	90 ± 2
1568 ± 2	$13,4 \pm 0,5$	1974 ± 13	323 ± 1	89 ± 2
1355 ± 2	$18,2 \pm 0,5$	1960 ± 14	280 ± 1	82 ± 2
1182 ± 2	$10,9 \pm 0,5$	2009 ± 18	258 ± 1	85 ± 2
984 ± 2	$14,1 \pm 0,5$	1947 ± 14	221 ± 1	79 ± 2
764 ± 2	$15,6 \pm 0,5$	1945 ± 11	176 ± 1	79 ± 2
566 ± 2	$16,1 \pm 0,5$	1974 ± 10	143 ± 1	70 ± 2

nevypnula právě v okamžiku dosažení teploty varu v celém objemu. Vypnula-li by při nižší teplotě, voda v konvici by nevěřela, což se ovšem děje, takže tuto možnost můžeme vyloučit. Pokud by vypnula později, odpařilo by se více vody. To však není účel konvice, tedy teplo potřebné pro odpaření části vody nemůžeme přičíst k užitečnému výkonu. Odpařením části vody se však změní hmotnost kapalné vody v konvici a pouze voda o této hmotnosti nám bude užitečná. Do výpočtu účinnosti bychom tedy měli dosazovat konečnou hmotnost vody v konvici. Bylo zjištěno, že se během ohřevu odpaří maximálně jednotky gramů vody, což výsledek ovlivní minimálně.

V zadání tohoto příkladu bylo řečeno, že údaj o příkonu se nachází zespodu konvice. Bohužel na všech konvicích, které jsem měl k dispozici, byl údaj o příkonu uveden jako interval o šířce



Obr. 3: Graf účinnosti konvice v závislosti na hmotnosti vody

několika set wattů. Konkrétně u použité konvice to bylo $(1850 \div 2200)$ W. Pokud bychom počítali s takto velkou nejistotou určení příkonu, dostali bychom nejistotu účinnosti asi 0,14, tedy relativní nejistotu asi 18 %, šlo by tedy o mnohem méně přesné měření (u námi provedeného měření je relativní nejistota asi 3 %). Z toho důvodu byl zvolen již uvedený měřič spotřeby elektrické energie. Výrobce tohoto zařízení bohužel v dokumentech neuvádí jeho přesnost (byla tedy spočítána a odhadnuta podle naměřených dat). Nicméně i tak je měření jistě mnohem přesnější, než kdybychom uvažovali zmiňovaný interval.

Závěr

Účinnost rychlovarné konvice roste se zvyšující se hmotností vody v ní a pohybuje se od asi 70 % do asi 90 %.

Poznámky k došlým řešením

Většina řešitelů došla přibližně ke stejnému výsledku, jako uvádíme ve vzorovém řešení. Někteří však zapomněli zohlednit vliv hmotnosti, tedy nejjednodušeji ovlivnitelné počáteční podmínky, a měřili (i když několikrát) stále se stejnou hmotností vody.

Několik z vás měřilo účinnost jen za omezených podmínek, např. pouze v krátkém časovém intervalu, někteří se dokonce snažili konvici tepelně izolovat od okolí nebo předeřhřívát. Výsledek, který se tímto postupem dostane, však není vypovídající o funkci konvice. Vhodnější je provést měření tak, jak je popsáno výše. Z účinnosti, kterou takto naměříme, poté můžeme určit, kolik elektrické energie za normálních podmínek spotřebujeme (a tedy kolik zaplatíme) na ohřátí

daného množství vody na teplotu varu, budeme-li konvici používat v souladu s návodem, což běžně děláme.

Tomáš Pikálek
pikos@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.