

## Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze

### Účinnost tepelného stroje

Číslo úlohy:	12
Jméno:	Vojtěch HORNÝ
Spolupracoval:	Jaroslav Zeman
Datum měření:	12. 10. 2009
Číslo kroužku:	pondělí 13:30
Číslo skupiny:	6
Klasifikace:	

### Zadání

1. Změřte hodnotu vnitřního odporu Peltierovy součástky.
2. Změřte účinnost podle vztahu

$$\varepsilon = \frac{P_W}{P_h}, \quad P_W = \frac{U_W^2}{R_W}, \quad P_h = U_h I_h \quad (1)$$

a srovnajte s účinností Carnotova cyklu pro lázně stejných teplot (teplotní lázně změřte pomocí ohmmetru). Opakujte několik měření pro různé teploty horké lázně. Vyneste hodnoty  $\varepsilon$  a  $\varepsilon_{\text{Carnot}}$  společně do grafu, kde na ose x bude teplota horké lázně. Nezapomeňte určit i  $\overline{P_h}$ , ať nemusíte v dalším úkolu všechna měření opakovat.

3. Započítejte k účinnosti vnitřní odpor a výkon obcházející součástku. K energii rozptýlené na zátěžovém odporu je třeba přidat energii rozptýlenou na vnitřním odporu:

$$P'_W = P_W + I_W^2 R_S = \frac{U_W^2}{R_W} + I_W^2 R_S = \frac{U_W^2}{R_W} \left(1 + \frac{R_S}{R_W}\right) \quad (2)$$

Dále je od výkonu, který stroj odebírá z teplé lázně, nutné odečíst výkon neprocházející zařízením:

$$P'_h = P_h - \overline{P_h} \quad (3)$$

Spočítejte znovu účinnost:

$$\varepsilon' = \frac{P'_W}{P'_h} = \frac{U_W^2}{R_W} \frac{1 + R_S/R_W}{P_h - \overline{P_h}} \quad (4)$$

Načrtněte obdobný graf jako v předchozím úkolu. Srovnajte  $\varepsilon$  a  $\varepsilon'$ .

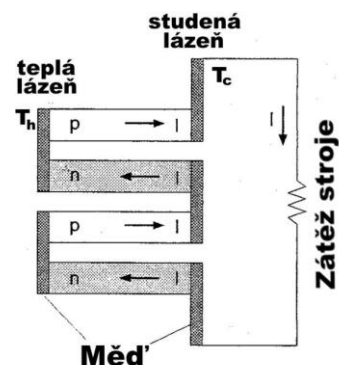
### Základní pojmy a vztahy

Tepelný stroj využívá teplotního rozdílu dvou lázní o nekonečné tepelné kapacitě k převodu tepelné energie na užitečnou práci. Peltierův aparát (obr. 1) vytváří motorické napětí na pn přechodu dvou různých polovodičů. Na teplejší straně se tvoří páry elektron-díra mnohem snadněji, než na straně chladnější. Výsledkem je tedy pohyb nabitých částic – elektrický proud.

Účinnost tepelného stroje je definována jako

$$\varepsilon = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = \frac{W}{Q_h} \quad (5)$$

kde  $Q_h$  představuje teplo odebírané teplé lázni,  $Q_c$  teplo dodávané chladné lázni,  $W$  je užitečná práce. Při měření s Peltierovým aparátem



Obr. 1 – Schéma Peltierova aparátu

ovšem využijeme vztah:

$$\varepsilon = \frac{dW/dt}{dQ_h/dt} = \frac{P_W}{P_h} \quad (6)$$

$P_W$  a  $P_h$  jsou postupně výkon dodávaný strojem a výkon odebíraný z teplé lázně. Výkony měříme přímým měřením proudu a napětí ampérmetrem a voltmetrem připojenými k aparátu a počítáme podle vztahu (1).

Vnitřní odpor Peltierovy součástky je

$$R_S = \left( \frac{U_S - U_W}{U_W} \right) R_W \quad (7)$$

Ponecháme-li aparát v chodu i bez zátěže a až se ustaví rovnováha, můžeme tvrdit, že všechna energie, kterou dodává zdroj napětí, se rozptýluje v chladné lázni nebo v okolí. Předpokládáme, že stejný výkon  $\overline{P}_h$  se ztrácí i při zapojení zátěže.

Carnotův cyklus je nejúčinnější cyklus při daném rozdílu teplot. Jeho účinnost je  $\varepsilon_{Carnot} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$ .

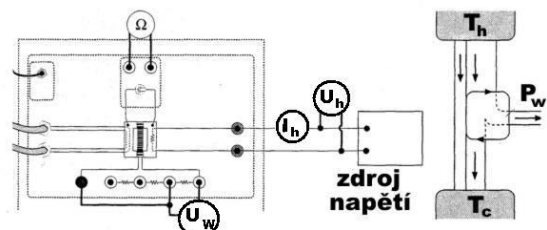
## Pomůcky

Peltierův aparát, 2 voltmetry, ampérmetr, ohmmetr, zdroj napětí, nádobka na studenou

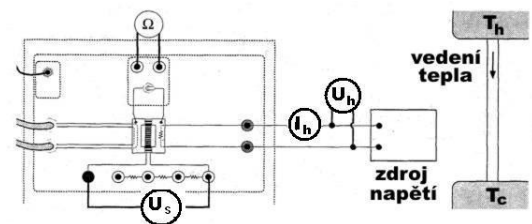
## Postup měření

Nejprve jsme připravili chladnou lázeň přidáním ledových kostek. Zapojili jsme Peltierovu součástku a měřiče do obvodu, který naleznete na obr. 6 v [1] a na obrázcích 2 a 3. Celé měření probíhalo následujícím způsobem:

1. Nastavili jsme napětí, zapojili stroj podle obrázku 2 a nechali jsme systém ustálit.
2. Postupně jsme odečítali  $U_h$ ,  $I_h$ ,  $U_w$  a odpory na obou lázních, které jsme rovnou lineární extrapolací přepočítávali na teploty.
3. Zapojili jsme obvod podle obrázku 3. Opatrně jsme nastavovali napětí tak, aby teplota horké lázně byla stejná, jako byla při zapojeném stroji.
4. Změřili jsme  $U_s$  – napětí na vnitřním odporu.
5. Znovu jsme změřili proud a napětí na výstupu, tentokrát se jedná o ztrátové hodnoty  $\overline{U}_h$  a  $\overline{I}_h$ .
6. Z těchto hodnot jsme vypočítali vnitřní odpor i obě účinnosti.



Obr. 2 – Zapojení tepelného stroje



Obr. 3 – Zapojení bez tepelného stroje (nekonečná zátěž)

## Experimentální data a výsledky měření

Na této stránce naleznete veškeré experimentální a také následně vypočtené hodnoty získané při měření všech úkolů této úlohy. Celkově jsme provedli osm měření. Tabulka 1 nabízí přehled všech požadovaných účinností v závislosti na teplotách teplé a chladné lázně. Tabulka 2 ukazuje přehled naměřených veličin. Grafy 1 a 2 ukazují závislosti účinností s korekcí, bez korekce a účinnosti Carnotova cyklu na teplotě horké lázně.

číslo měření	$T_h$ [K]	$T_c$ [K]	$\Delta T$ [K]	$\epsilon_{\text{Carnot}}$	$\epsilon$	$\epsilon/\epsilon_{\text{Carnot}}$	$\epsilon'$	$\epsilon'/\epsilon_{\text{Carnot}}$
1	294,8	277,7	17,0	0,0060	0,0060	0,1039	0,046	0,797
2	302,8	278,4	24,4	0,0076	0,0076	0,0939	0,059	0,736
3	311,7	279,5	32,2	0,0098	0,0098	0,0947	0,079	0,766
4	322,7	280,3	42,3	0,0131	0,0131	0,0998	0,128	0,976
5	335,2	282,4	52,8	0,0156	0,0156	0,0988	0,153	0,972
6	350,9	285,7	65,2	0,0190	0,0190	0,1021	0,183	0,984
7	367,5	287,7	79,8	0,0213	0,0213	0,0982	0,213	0,979
8	349,5	290,2	59,4	0,0169	0,0169	0,0992	0,167	0,986

Tab. 1 – Přehled účinností pro různé teploty lázní

Legenda	Index	význam
T – teplota	h	horká lázeň
U – napětí	c	studená lázeň
P - výkon	W	dodáno strojem
I – proud	s	na vnitřním odporu
R - odpor		

$\epsilon$  – účinnost bez korekce

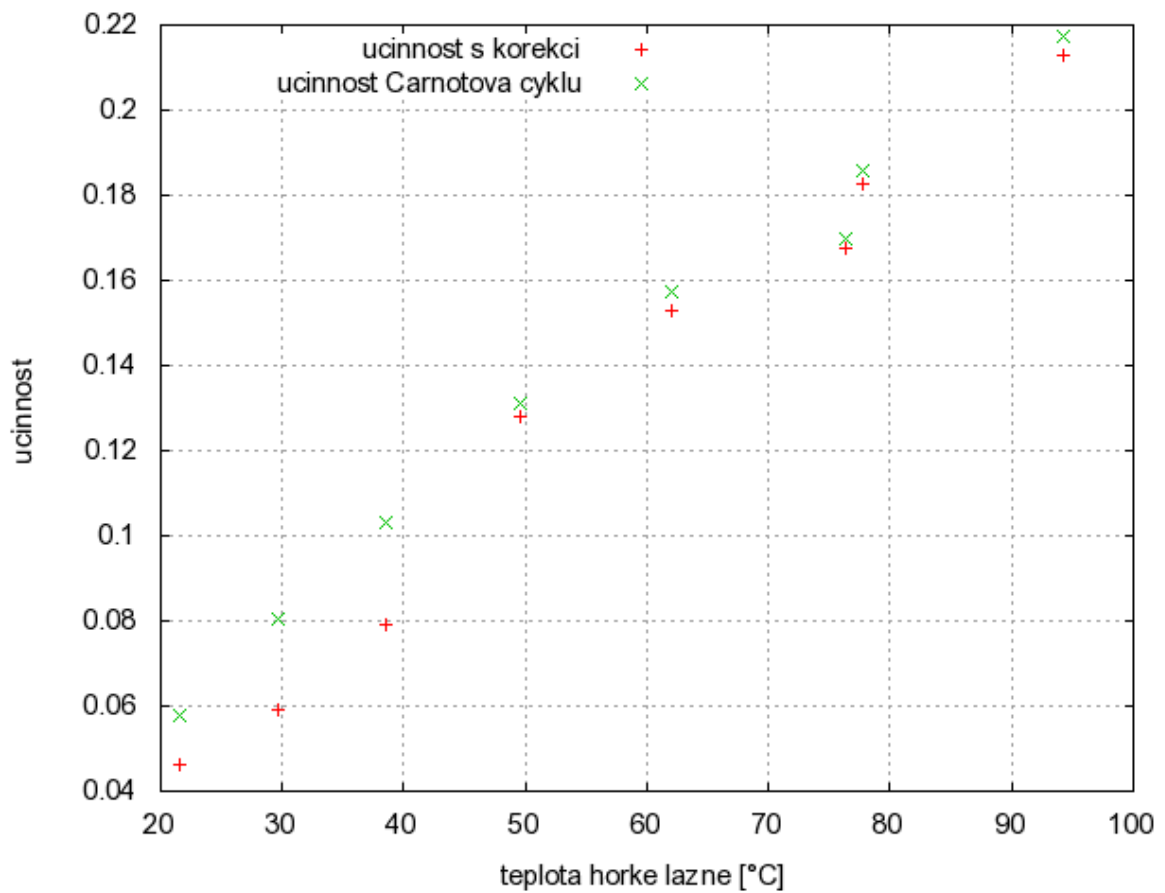
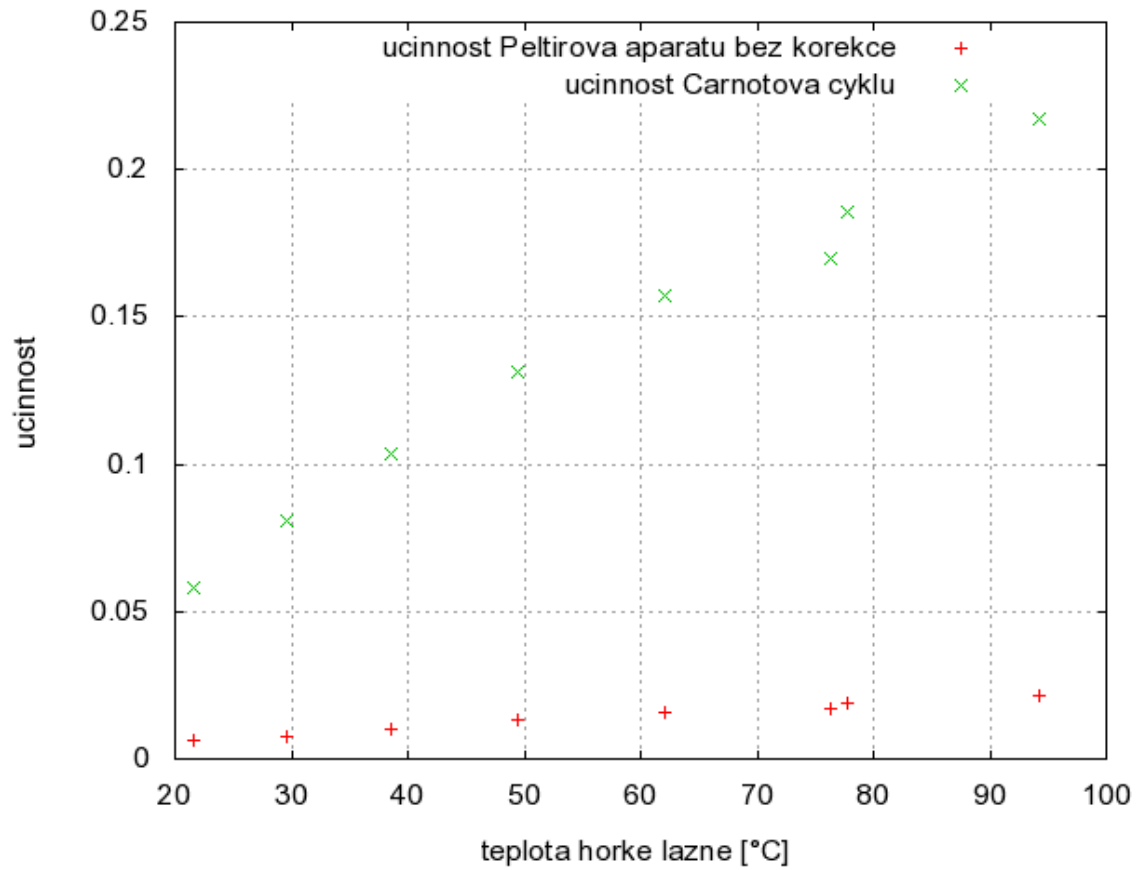
$\epsilon'$  - účinnost s korekcí

$\epsilon_{\text{Carnot}}$  – účinnost Carnotova cyklu při daném rozdílu teplot

číslo měření	$U_h$ [V]	$I_h$ [A]	$P_h$ [W]	$U_w$ [V]	$P_w$ [W]	$\epsilon$	$\epsilon/\epsilon_{\text{Carnot}}$	$\bar{U}_h$ [V]	$\bar{I}_h$ [A]	$\bar{P}_h$ [W]	$U_s$ [V]	$R_s$ [ $\Omega$ ]	$\epsilon'$	$\epsilon'/\epsilon_{\text{Carnot}}$
1	5,00	0,96	4,80	0,24	0,0288	0,0060	0,1039	4,40	0,86	3,78	0,39	1,25	0,0461	0,7973
2	6,00	1,20	7,20	0,33	0,0545	0,0076	0,0939	5,40	1,05	5,67	0,55	1,33	0,0593	0,7364
3	7,00	1,35	9,45	0,43	0,0925	0,0098	0,0947	6,20	1,20	7,44	0,74	1,44	0,0792	0,7663
4	8,00	1,55	12,40	0,57	0,1625	0,0131	0,0998	7,30	1,40	10,22	0,98	1,44	0,1281	0,9765
5	9,00	1,75	15,75	0,70	0,2450	0,0156	0,0988	8,10	1,60	12,96	1,22	1,49	0,1530	0,9718
6	10,00	1,95	19,50	0,86	0,3698	0,0190	0,1021	9,10	1,75	15,93	1,52	1,53	0,1828	0,9840
7	10,90	2,15	23,44	1,00	0,5000	0,0213	0,0982	9,80	1,95	19,11	1,84	1,68	0,2127	0,9793
8	9,50	1,90	18,05	0,78	0,3042	0,0169	0,0992	8,70	1,70	14,79	1,40	1,59	0,1675	0,9859

Tab. 2 – Měření účinností a vnitřního odporu Peltierovy součástky

Hodnota vnitřního odporu Peltierovy součástky vychází na  $R_s = (1,47 \pm 0,05)\Omega$ .



Grafy 1 a 2 – Účinnosti v závislosti na teplotě horké lázně.

## Poznámka

Součástí této úlohy mělo být i měření práce tepelného stroje. Bohužel tepelný stroj nebyl funkční, měření tedy nebylo provedeno.

## Diskuse

Během měření jsme se setkali s několika problémy, které výrazně ovlivnily jeho výsledky. V průběhu měření jsme měli nastavovat napětí tak, aby byl odpor na termistoru na horké lázni stejný při zapojeném stroji jako při vypojeném. Bohužel toto napětí nešlo příliš přesně nastavovat, chtělo by to jemnější ladění. Často byl rozdíl mezi požadovanou teplotou a teplotou, se kterou se skutečně měřilo, až půl stupně Celsia.

Zároveň se nám nepodařilo uchovávat konstantní teplotu chladné lázně po celou dobu měření. A už vůbec, pokud má být teplota chladné lázně 0°C. Teplota této lázně se postupně zvyšovala i navzdory tomu, že jsme opakovaně dodávali do nádrže ledové kostky. Celý trend můžete sledovat v tabulce 1. Proto jsou závislosti v grafech 1 a 2 nerelevantní, o málo lepší by bylo vynést do těchto grafů závislosti účinností na teplotním rozdílu.

Patrně nejvíce ovlivnil měření velmi nepřesný voltmetr, kterým jsme měřili  $U_w$ . Hodnoty  $U_w$  byly v řádu desetiný voltu, což znamená, že i při nastavení nejmenšího rozsahu se ručička pohybuje pouze v první třetině stupnice. Patrně i kvůli tomuto jsme naměřili nesmyslné hodnoty účinnosti s korekcí, kdy se tato účinnost velmi blíží k účinnosti Carnotova cyklu při stejném rozdílu teplot. Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

## Závěr

Naměřili jsme vnitřní odpor Peltierovy součástky  $R_S = (1,47 \pm 0,05)\Omega$ .

Změřili jsme účinnosti a vynesli jsme je do grafů 1 a 2. Účinnost Peltierovy součástky se pohybovala od 6‰ při teplotním rozdílu lázní 17°C až po 1,7‰ při teplotním rozdílu 80°C. Oproti Carnotovu cyklu byla účinnost našeho stroje průměrně 9,9%. Při započítání korekce ale účinnost stoupla až na průměrně 90%, v některých případech dokonce až i na více než 98%. Tomuto výsledku ale nepřikládám valnou hodnotu. Měření totiž bylo výrazně ovlivněno chybami měřících přístrojů.

## Použitá literatura

[1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz> ...úloha 12

[2] Feynmann, R.P., Leighton, R.B., Sands, M., *Feynmannovy přednášky z fyziky 2*, Havlíčkův Brod: Fragment, 2001