

**Materiály pro elektrotechniku**

Laboratorní cvičení č. 3

**PELTIERŮV ČLÁNEK**

**Jméno(a):** Jiří Paar, Zdeněk Nepraš

**Stanoviště:** 6

**Datum:** 21. 5. 2008

# Úvod

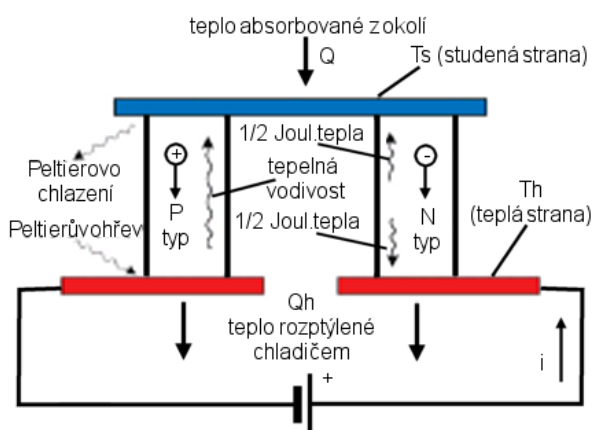
## Peltierův efekt

V r. 1834 objevil francouzský fyzik Peltier efekt, který je inverzní k Seebeckovu efektu. *Seebeckův efekt* - jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů do uzavřeného obvodu a mají-li spoje různou teplotu  $T_1$  a  $T_2$ , protéká obvodem elektrický proud.

*Peltierův efekt* - protéká-li stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, pak vzniká teplotní rozdíl mezi oběma spoji. Teče-li proud z vnějšího zdroje daným spojením stejným směrem, jaký má proud při ohřátí tohoto spoje v Seebeckově jevu, pak se daný spoj ochlazuje. Prochází-li proud směrem opačným, pak se spoj ohřívá. Peltierův efekt závisí na druhu kovů a na jejich teplotě.

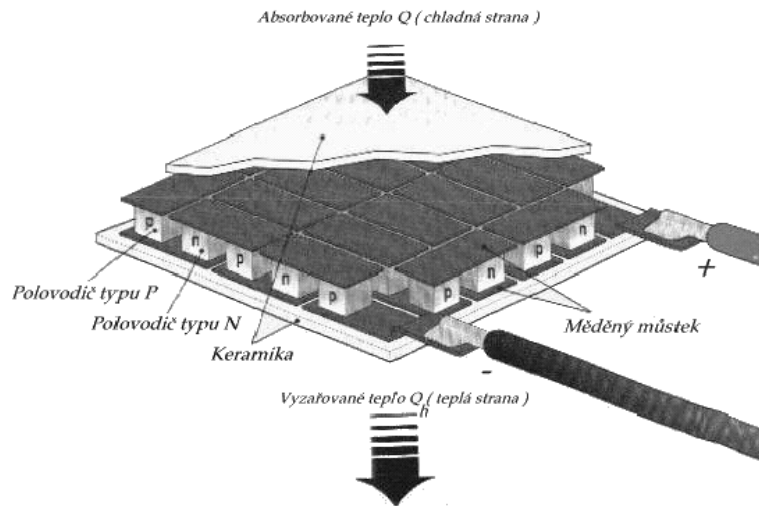
## Peltierův článek

Peltierův článek se skládá ze dvou větví (sloupků) hranolovitého tvaru (obr. č. 1). Sloupky, tvořené polovodiči typu P a N, jsou na jedné straně vodivě spojeny spojovacím můstkem. Spodní kontaktní plošky na druhé straně jsou určeny pro přívod elektrické energie. Spojovací můstek a kontaktní plošky absorbují nebo vyzařují teplo. V místě styku polovodiče se spojovacím můstkem vzniká nežádoucí přechodový odpor, který značně ovlivňuje dosažitelnou chladicí kapacitu  $Q$  článku (J) a maximální rozdíl teplot mezi teplou a studenou stranou  $\Delta T_{\max}$  (K). Ideálně je množství absorbovaného tepla na studené straně a vyzářeného tepla na teplé straně závislé na součinu Peltierova koeficientu a proudu procházejícího polovodičem. V praxi je množství tepla  $Q$  absorbovaného na studené straně, udávající skutečnou chladicí kapacitu článku, sníženo o Jouleovo teplo a teplo přivedené sem vedením z teplé strany článku. Rozdíl teplot mezi teplou a studenou stranou polovodičového materiálu totiž způsobuje přechod tepla v polovodiči z chladné strany na teplou. Zvýší-li se proud tekoucí obvodem, zvětší se rozdíl teplot mezi oběma stranami, ale také množství tepla vedeného polovodičem. Proud, při kterém už nedochází k dalšímu ochlazování, je označován  $I_{\max}$ .



Obrázek 1

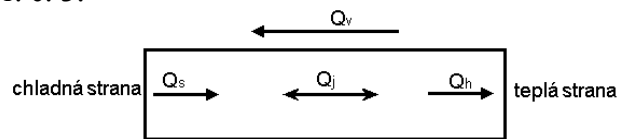
Jednotlivé Peltierovy články se obvykle zapojují do série do větších celků, tzv. Peltierových modulů (termobaterií) – obr. č. 2. Každý polovodič v modulu se nazývá element, pár elementů tvoří termočlánek. Pro dosažení větších rozdílů teploty se spojují jednotlivé termoelementy do kaskády (vícestupňové moduly).



Obrázek 2 – Peltierova termobaterie (modul)

### Parametry určující chladicí a topný výkon Peltierova článku

Aby bylo možno formulovat vztahy mezi vlastnostmi materiálu, rozměry článků, jejich počtem, chladicím účinkem, napájecím proudem atd., je třeba vycházet z energetické bilance jednoho článku viz. obr. č. 3.



Obrázek 3

Na studené straně o teplotě  $T_s$  [K] se odnímá tepelný výkon  $Q_s$  [W] tzv. **Peltierův chladicí výkon**, které je úměrný termoelektrickému napětí Peltierova článku a velikosti procházejícího proudu  $I$  [A] dle vztahu:

$$Q_s = \alpha \cdot T_s \cdot I \quad [W] \quad (1.1)$$

Na teplé straně o teplotě  $T_h$  [K] se uvolňuje **Peltierův tepelný výkon**  $Q_h$  [W] do okolí dle vztahu:

$$Q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I \quad [W] \quad (1.2)$$

Účinkem procházejícího proudu vzniká uvnitř článku Jouleovo teplo:

$$Q_j = R_i \cdot I^2 \quad [W] \quad (1.3)$$

kde  $R_i$  [ $\Omega$ ] je vnitřní odpor Peltierova článku. Vlivem teplotního rozdílu mezi teplou a studenou stranou článku a tepelnou vodivostí článku  $K$  se šíří teplo  $Q_v$  [W] dle vztahu:

$$Q_v = K \cdot \Delta T \quad [W] \quad (1.4)$$

kde  $K$  je dáno vztahem:

$$K = \frac{S}{l} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) \quad [W / K] \quad (1.5)$$

kde  $S$  ..... průřez polovodičových sloupků [ $m^2$ ]  
 $l$  ..... délka sloupků [ $m$ ]  
 $\lambda_1 \lambda_2$  ..... tepelné vodivosti obou polov. sloupků [ $W/m.K$ ]

Budeme-li předpokládat průběh teploty mezi teplými a studenými stranami za lineární, zanedbáme-li vliv přívodů a přechodových odporů a jiné jevy se nám výrazně neuplatní, můžeme vyjádřit **chladicí výkon  $Q$  [W] n-násobného článku** podle vztahu:

$$Q = n \cdot \left( Q_s - \frac{1}{2} Q_J - Q_v \right) = n \cdot \left( \alpha \cdot T_s \cdot I - \frac{1}{2} R_i \cdot I^2 - K \cdot \Delta T \right) \quad [W] \quad (1.6)$$

kde

$$\Delta T = T_h - T_s \quad [K] \quad (1.7)$$

Při předchozím předpokladu můžeme vyjádřit **příkon n-násobného článku  $P$  [W]**, který se skládá ze dvou částí, a to Jouleova tepla  $Q_J$  a z výkonu potřebného na překonání termoelektrické síly, platí tedy:

$$P = n \cdot \left( R_i \cdot I^2 + \alpha \cdot \Delta T \cdot I \right) \quad [W] \quad (1.8)$$

Na teplé straně Peltierova článku se vyzařuje jednak teplo  $Q$  absorbované na chladné straně, a jednak příkon  $P$  článku. Tedy pro **vyzařovaný výkon n-násobného článku** platí:

$$Q_h = Q + P \quad [W] \quad (1.9)$$

Po dosazení (6) a (8) do (9) dostaneme:

$$Q_h = n \cdot \left( \alpha \cdot T_h \cdot I + \frac{1}{2} R_i \cdot I^2 - K \cdot \Delta T \right) \quad [W] \quad (1.10)$$

Maximum topného výkonu je zde neomezené a závisí pouze na velikosti napájecího proudu. Podíl odvodu tepla vlivem tepelné vodivosti polovodičového materiálu je poměrně malý a z rovnice (10) plyne, že efektivnost topení termoelektrickým článkem je vyšší než u ohřevu pouhým Jouleovým teplem. **Efektivnost topení** je dána vztahem:

$$\varepsilon_h = \frac{Q_h}{P} \quad [-] \quad (1.11)$$

**Efektivnost chlazení** je vyjádřena chladícím faktorem, tj. poměr chladicího výkonu k příkonu:

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} \quad [-] \quad (1.12)$$

Peltierův článek je z hlediska čerpání tepla reverzním systémem. Obrátíme-li tedy směr napájecího proudu, obrátí se i teploty na obou stranách. Dřívější chladná strana bude nyní teplo vyzařovat a bývalá teplá strana absorbovat.

### Určení konstant pro jednu Peltierovu termobaterii

#### Výpočet tepelné vodivosti

Nejdříve upravíme vztah (6) pomocí (7) a dostaneme:

$$Q = n \cdot \left( \alpha \cdot (T_h - \Delta T) \cdot I - \frac{1}{2} R_i \cdot I^2 - K \cdot \Delta T \right) \quad [W] \quad (1.13)$$

a) určíme Q pro  $\Delta T = 0$

$$Q_0 = n \cdot \left( \alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R_i \cdot I^2 \right) \quad [W] \quad (1.14)$$

b) určíme  $\Delta T$  pro  $Q = 0$

$$\Delta T_0 = \frac{\alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R_i \cdot I^2}{\alpha \cdot I + K} \quad [K] \quad (1.15)$$

Podělením výrazů (14) a (15) a malou úpravou dostaneme vztah pro tepelnou vodivost jednoho Peltierova článku:

$$K = \frac{Q_0}{n \cdot \Delta T_0} - \alpha \cdot I \quad [W / K] \quad (1.16)$$

Pro malé proudy je možno výraz zjednodušit:

$$K = K_0 = \frac{Q_0}{n \cdot \Delta T_0} \quad [W / K] \quad (1.17)$$

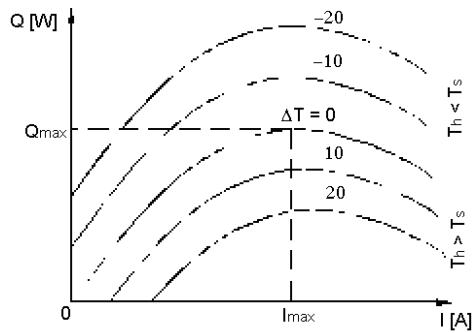
kde  $K_0$  .... je tepelná vodivost při nulovém proudu.

#### Určení konstant $R_i$ a $\alpha$

Pro nulový teplotní rozdíl mezi teplým a studeným koncem baterie  $\Delta T = 0$  viz. vztah (14) platí:

$$Q_{\max} = n \cdot \left( \alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R_i \cdot I^2 \right) \quad [W] \quad (1.18)$$

Ze závislosti (příklad této závislosti viz. obr. č. 4) určíme maximální chladicí výkon  $Q_{\max}$  pro parametr  $\Delta T = 0$  a pro tento výkon odečteme příslušnou hodnotu proudu  $I_{\max}$ .



Obrázek 4

Derivací vztahu (6) podle I dostaneme výraz:

$$\frac{dQ}{dI} = n \cdot (\alpha \cdot T_S - R_i \cdot I_{\max}) = 0 \Rightarrow I_{\max} = \frac{\alpha \cdot T_S}{R_i} \quad [A] \quad (1.19)$$

Úpravou dostaneme:

$$R_i = \frac{2 \cdot Q_{\max}}{n \cdot I_{\max}^2} \quad [\Omega] \quad (1.20)$$

$$\alpha = \frac{R_i \cdot I_{\max}}{T_S} \quad [V/K] \quad (1.21)$$

### Příklad použití výše uvedených vztahů

Pomocí výše uvedených vztahů je možno určit jednotlivé parametry Peltierovy termobaterie, tj. vypočítat její efektivnost, chladicí a tepelný výkon při požadovaném teplotním rozdílu na jednu Peltierovu termobaterii nebo na kaskádu Peltierových termobaterií. Pro názornost uvedu příklad výpočtu jednotlivých parametrů.

**Máme k dispozici Peltierovy termobaterie s následujícími parametry, které udává výrobce:**

$T_h = 27^\circ\text{C}$  (teplota teplé strany Peltierovy termobaterie)

Teplotní rozsah:  $-150^\circ\text{C}$  až  $+70^\circ\text{C}$

$I_{\max}$ [A]	$\Delta T_{\max}$ [°C]	U [V]	$Q_{\max}$ [W]	a [mm]	b [mm]	h [mm]	Počet elementů
3.3	60	1.9	3.9	15	15	4.7	17

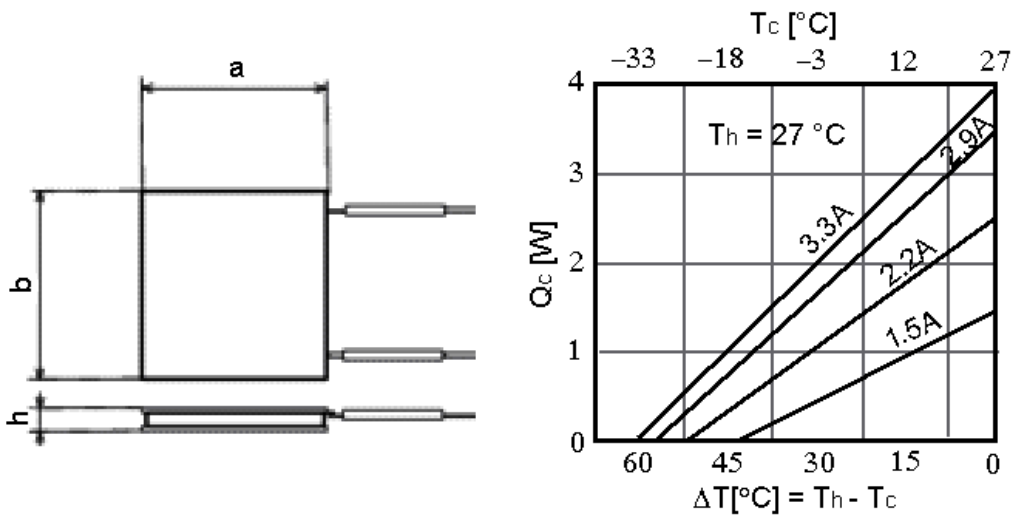
Tabulka č.1

Kde: a, b, h - jsou rozměry Peltierovy termobaterie podle obr. č. 5.

$I_{\max}$  - maximální proud, jakým můžeme Peltierovu termobaterii napájet

U - doporučené napětí na Peltierově termobaterii

$\Delta T_{\max}$  - maximální teplotní rozdíl, jaký je možný na dané termobaterii dosáhnout při proudu  $I_{\max}$   
 $Q_{\max}$  je maximální chladicí výkon Peltierovy termobaterie při proudu  $I_{\max}$



Obrázek 5

Na levé straně obr. č. 5 jsou zobrazeny rozměry Peltierovy termobaterie a na pravé straně je znázorněna závislost chladicího výkonu termobaterie (na obrázku označeno jako  $Q_c$ , ve výše odvozených vzorcích je to  $Q$ ) na teplotním rozdílu obou ploch termobaterie při konstantní teplotě teplé strany tj.  $T_h = 27 \text{ °C}$  a při daném napájecím proudu. Tuto charakteristiku poskytuje výrobce.

**Tepelnou vodivost  $K$**  vypočítáme podle vztahu (17).

$Q_0$  odpovídá chladicímu výkonu při  $\Delta T = 0$ . Z grafu (obr.č.5) určíme pro  $I = 1.5 \text{ A}$   $Q_0 = 1.5 \text{ W}$ .

$\Delta T_0$  odpovídá teplotnímu rozdílu při  $Q = 0$ . Z grafu (obr.č.5) určíme pro  $I = 1.5 \text{ A}$   $\Delta T_0 = 45 \text{ °C}$ .

Počet peltierových elementů  $n$  v baterii je 17 ( $n = 17$ ).

Po dosazení dostaneme:

$$K = K_0 = \frac{1,5}{17 \cdot 45} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ W / K}$$

**Pro výpočet elektrického odporu  $R_i$  jednoho Peltierova článku** použijeme vztah (20). Za hodnoty  $Q_m$  a  $I_m$  dosadíme maximální hodnoty udávané výrobcem, tj. maximální chladicí výkon  $Q_m = 3,9 \text{ W}$  a maximální napájecí proud  $I_m = 3,3 \text{ A}$ .

Odpor  $R_i$  jednoho Peltierova článku (nikoliv celé termobaterie !!) má velikost:

$$R_i = \frac{2 \cdot 3,9}{17 \cdot 3,3^2} = 0,0421 \Omega$$

Celkový odpor termobaterie:  $R = 17 \cdot R_i = 0,7157 \Omega$

**Termoelektrické napětí jednoho** Peltierova článku určíme dle vztahu (21) , kde  $T_s = T_h = 300,15$  K. Po dosazení a výpočtu dostaneme:

$$\alpha = \frac{0,0421 \cdot 3,3}{300,15} = 463,2 \mu V / K$$

## Úkol

1. **Ze známé charakteristiky a známých údajů Peltierovy termobaterie určete teplotní vodivost  $K$  [W/K] a termoelektrickou konstantu jednoho termočlánku  $\alpha$  [V/K]. Ve výpočtech použijte hodnotu odporu  $R$ , kterou uvádí výrobce (pozor na rozdíl mezi  $R$  a  $R_i$  !).**
2. **Měřením zjistěte termoelektrickou konstantu jednoho termočlánku  $\alpha$  [V/K]** a porovnejte ji s vypočtenou hodnotou. V dalších výpočtech používejte naměřenou hodnotu  $\alpha$  , nikoliv teoretickou !
3. **Odměřte závislost chladícího výkonu termobaterie  $Q$  na rozdílu teplot teplé a studené strany  $\Delta T$  při konstantním proudu  $I$  a konstantní teplotě teplé strany  $T_h$ .** Měření bude provedeno pro dvě hodnoty proudu. Jelikož nebudeme moci regulovat teplotu teplé strany, ta se bude mírně měnit, ale pro naše měření ji budeme uvažovat jako konstantní. Obě zjištěné křivky vynesete do jednoho grafu  $Q = f(\Delta T, I)$  a porovnejte s charakteristikou od výrobce. K určení hodnoty  $Q$  využijte odvozeného vztahu (6).
4. **Změřte závislost teploty studené strany  $T_s$  na přivedeném elektrickém příkonu** a vynesete do grafu ( $T_s = f(U, I)$ ). Vypočtete efektivnost chlazení v závislosti na teplotě studené strany  $T_s$  a opět vynesete do grafu ( $\varepsilon = f(T_s)$ ). Pro určení efektivnosti využijte vzorce (6), (8) a (12).

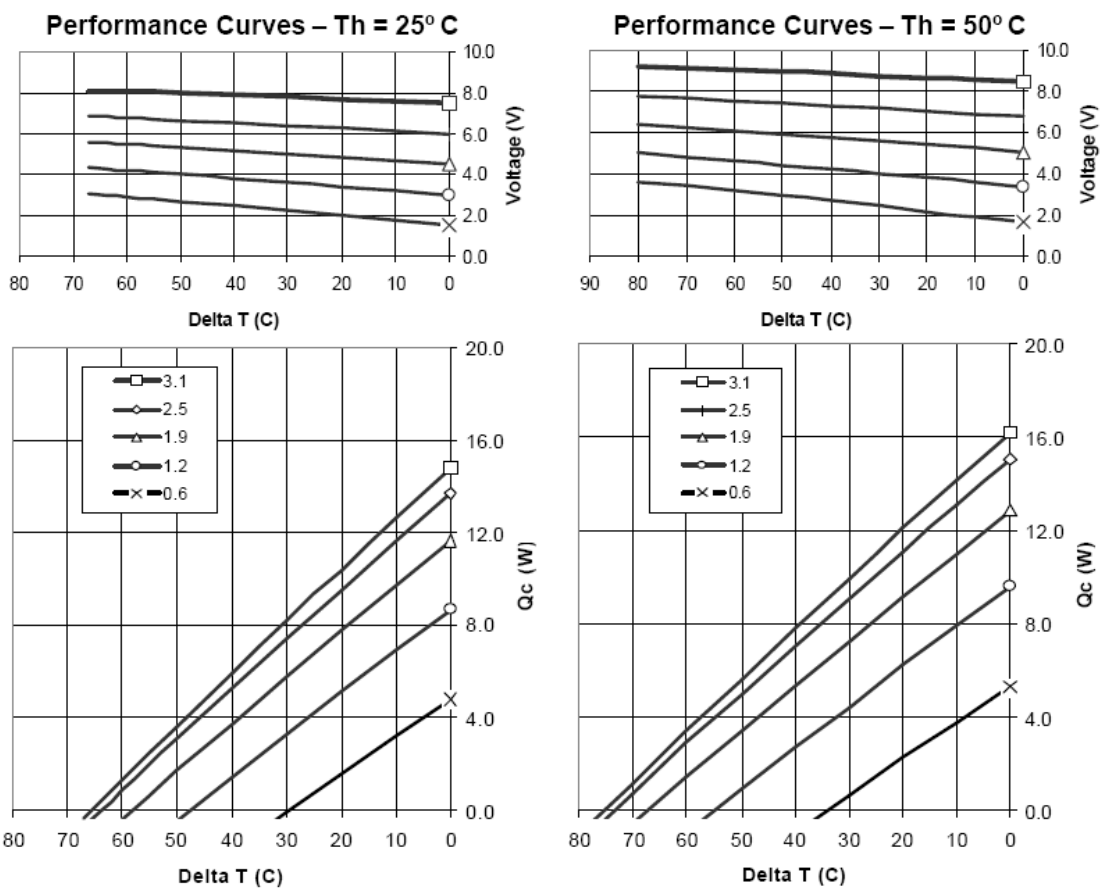


## Údaje použité Peltierovy termobaterie

Počet Peltierových článků v termobaterii:  $n = 71$

### Performance Specifications

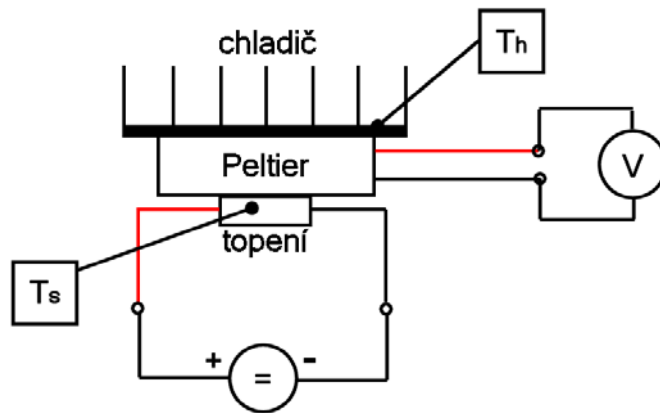
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	14.4	16.3
Delta Tmax (° C)	67	77
I <sub>max</sub> (Amps)	3.0	3.0
V <sub>max</sub> (Volts)	8.6	9.1
Module Resistance (Ohms)	2.4	2.7



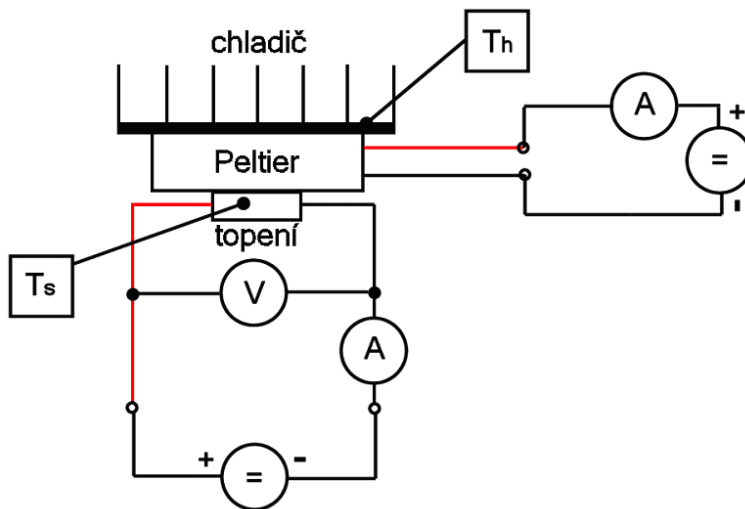
Obrázek 6

## Zapojení pracoviště

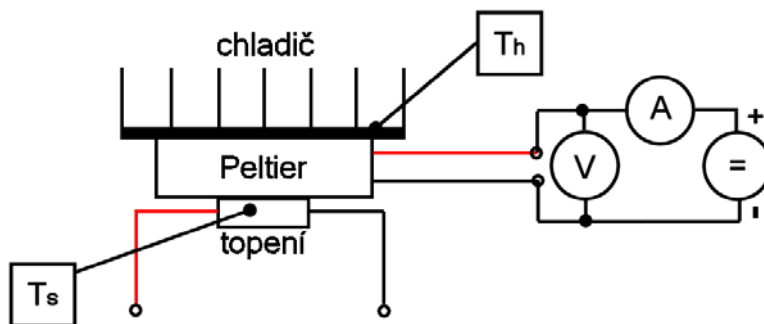
1. Měření termoelektrické konstanty



2. Měření chladicího výkonu



3. Měření závislosti teploty studené strany na příkonu Peltierova článku



## Postup měření

### 1. Zde vypočtete teplotní vodivost $K$ a termoelektrickou konstantu jednoho termočlánku $\alpha$

(Uveďte postup výpočtu, ne jen výsledek.)

$$K = \frac{Q_0}{n \cdot \Delta T_0} = \frac{5}{71.30} = 0,002347 W \cdot K^{-1}$$

$$\alpha = \frac{R_i \cdot I_{\max}}{T_s} = \frac{0,0338 \cdot 3}{300,15} = 0,338 \cdot 10^{-3} V \cdot K^{-1}$$

$$R_i = \frac{2,4}{71} = \frac{2 \cdot 14,4}{71 \cdot 3^2} = 0,0338 \Omega$$

### 2. Měřením zjistíte termoelektrickou konstantu jednoho termočlánku $\alpha$

Pracoviště zapojíme dle schématu 1. Oteplení „studené“ strany Peltierovy baterie docílíme přivedením výkonu přes topný článek (tranzistory na nichž se maří výkon). Na zdroji tedy nastavíme napětí o určité hodnotě a po ustálení odečteme obě teploty  $T_s$  a  $T_h$  (přičemž teplota chladiče  $T_h$  bude přibližně konstantní a rovna teplotě okolí) a dále odečteme hodnotu napětí na výstupu termočlánku – ten se nyní chová jako zdroj. Postupně nastavíme 2 různé hodnoty napětí (a tím tedy 2 různé hodnoty výkonu topení) a odečteme 2 hodnoty výstupního napětí. Pro každé měření vypočteme z napětí a rozdílu teplot  $\alpha_{\text{modul}}$  celé termobaterie, z těchto hodnot uděláme průměr a ze známého počtu termočlánků v termobaterii vypočteme výsledné  $\alpha$ . **Postupujte dostatečně pomalu aby se teplota ustálila!**

č. měření	U [V]	$T_h$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$U_{\text{peltier}}$ [V]	$\alpha_{\text{modul}_i}$ [uV/K]
1	8	27	47	-20	-0,748	0,0374
2	12	32	88	-56	-1,930	0,0345

$$\alpha_{\text{modul}_i} = \frac{U_{\text{peltier}_i}}{T_{h_i} - T_{s_i}} \quad \alpha = \frac{\alpha_{\text{modul}_1} + \alpha_{\text{modul}_2}}{2} = \frac{0,0374 + 0,0345}{2} = \frac{0,0719}{2} = 0,03595 \text{ [uV/K]}$$
$$\alpha = \frac{U_{\text{peltier}_i}}{T_{h_i} - T_{s_i}} = \frac{-0,748}{27 - 47} = \frac{-0,748}{-20} = 0,0374 \text{ [uV/K]}$$
$$\alpha = \frac{-1,930}{32 - 88} = \frac{-1,930}{-56} = 0,0345 \text{ [uV/K]}$$

### 3. Odměřte závislost chladicího výkonu termobaterie $Q$ na rozdílu teplot teplé a studené strany $\Delta T$ při konstantním proudu $I$ a konstantní teplotě teplé strany $T_h$ .

Jde o zjištění charakteristiky  $Q = f(\Delta T, I)$ , ze které lze např. vyčíst jak velký proud potřebuji pro určitý chladicí výkon  $Q$  a rozdíl teplot mezi teplotou a studenou stranou  $\Delta T$  při určité konstantní teplotě teplé strany  $T_h = \text{konst.}$ . Nebo opačně – např. jak hodně jsem schopen ochladit chlazený předmět při určitém proudu a daném chladicím výkonu  $Q$  – viz obr. č. 6.

Pracoviště zapojíme dle schématu č.2. Peltierův článek nyní napájíme ze zdroje (pozor

na polaritu napětí a barevné značení přívodů!), měření bude probíhat při konstantním proudu do Peltierova článku – **ten je nutno stále udržovat konstantní !!!**. Pomocí topení pak postupně ohříváme studenou stranu Peltierova článku a vždy po ustálení odečteme teploty  $T_h$  a  $T_s$  a vypočteme jejich rozdíl  $\Delta T = T_h - T_s$ . Takto postupně změříme několik bodů na charakteristice až do hodnoty kdy se teploty teplé a studené strany vyrovnají  $T_h = T_s$ . Měření proběhne dvakrát, pro proud Peltierovým článkem 1,2 A a 1,9 A.

**$I_{\text{peltier}} = 1,2 \text{ A}$**

$U_{\text{topení}} [\text{V}]$	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
$I_{\text{topení}} [\text{A}]$	0	0,23	0,45	0,80	1,09
$T_h [^\circ\text{C}]$	29	30	31	29	28
$T_s [^\circ\text{C}]$	7	4	8	13	27
$\Delta T [^\circ\text{C}]$	22	26	23	16	1
$Q [\text{W}]$	6,685	5,889	5,561	7,944	11,047

**$I_{\text{peltier}} = 1,9 \text{ A}$**

$U_{\text{topení}} [\text{V}]$	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
$I_{\text{topení}} [\text{A}]$	0	0,41	0,76	1,06	1,40
$T_h [^\circ\text{C}]$	30	36	34	30	31
$T_s [^\circ\text{C}]$	-3	6	10	14	33
$\Delta T [^\circ\text{C}]$	33	30	24	16	-2
$Q [\text{W}]$	8,611	9,726	10,999	12,605	16,903

Výkon topení se nastavuje napětím na zdroji v krocích daných tabulkou. Teplota teplé strany se bude časem mírně měnit (stoupat). Pro naše měření budeme ale uvažovat, že je stálá a rovna nějaké hodnotě (např. průměrné) abychom mohli vynést závislost  $Q = f(\Delta T, I_{\text{peltier}})$  při  $T_h = \text{konst.}$  do grafu. Graf tedy bude obsahovat dvě křivky – každá pro různý proud  $I_{\text{peltier}}$ . **Postupujte dostatečně pomalu, aby se teplota ustálila!**

#### 4. Změřte závislost teploty studené strany $T_s$ na přivedeném elektrickém příkonu

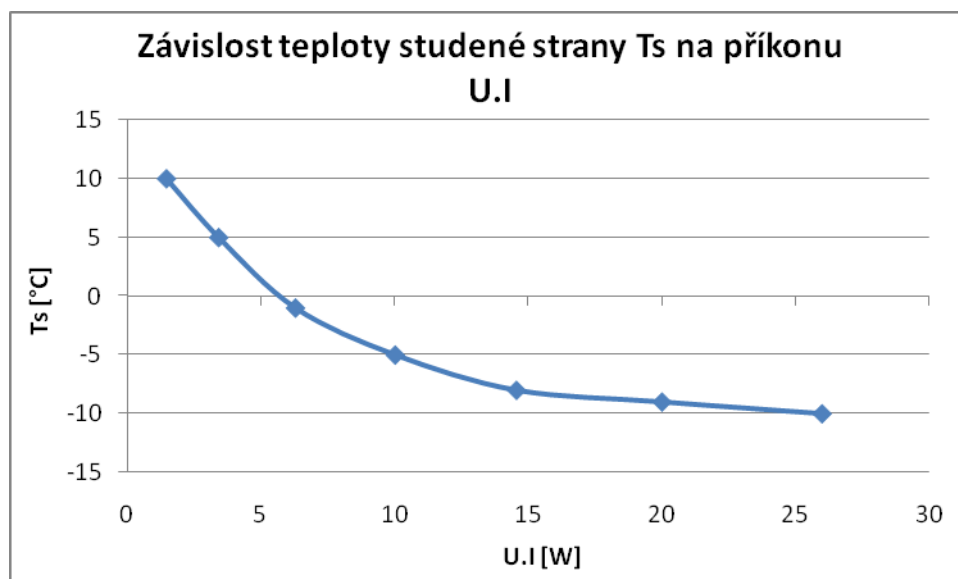
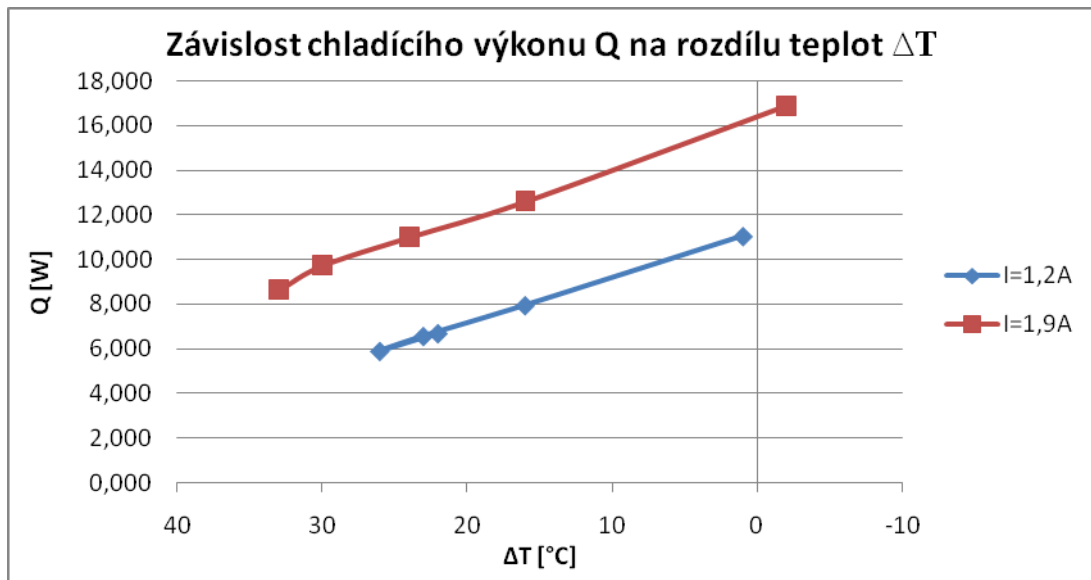
Pracoviště bude zapojeno dle schématu č. 3.

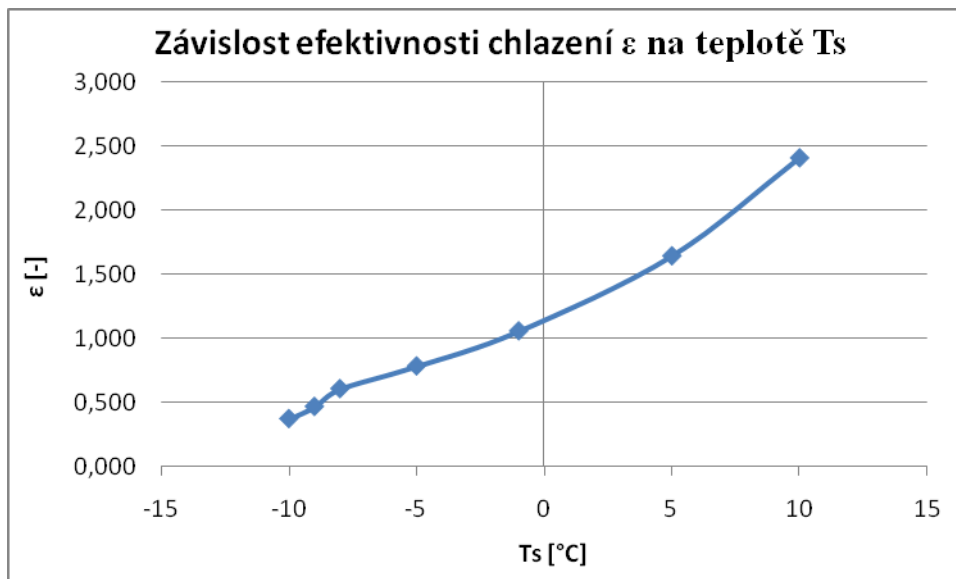
Topení bude odpojeno. Budeme sledovat teplotu teplé a studené strany a jejich rozdíl v závislosti na přiváděném výkonu do Peltierova článku. Při měření bychom neměli překročit hodnoty proudu a napětí udávané výrobcem. **Při měření postupujte dostatečně pomalu aby se teplota stihla ustálit!**

$U_{\text{peltier}} [\text{V}]$	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
$I_{\text{peltier}} [\text{A}]$	0,75	1,15	1,58	2,01	2,43	2,86	3,25
$T_h [^\circ\text{C}]$	26	25	26	26	26	29	31
$T_s [^\circ\text{C}]$	10	5	-1	-5	-8	-9	-10
$\Delta T [^\circ\text{C}]$	16	20	27	31	34	38	41
$P [\text{W}]$	1,781	4,000	7,524	11,935	17,140	23,536	30,138
$Q [\text{W}]$	4,289	6,573	7,995	9,352	10,399	10,997	11,222
$\varepsilon [-]$	2,408	1,643	1,057	0,784	0,607	0,467	0,372

Při všech měřeních se dopouštíme chyby v měření teplot neboť neměříme teploty přímo na teplé a studené straně Peltierovy termobaterie, nýbrž až na chladičích byť v těsné blízkosti styčné plochy. Rozdíl teplot tak bude ve skutečnosti vyšší než naměřený. Velkou roli hraje teplotní součinitel přestupu tepla z ploch termočláňku na chladiče, proto jsou povrchy potřeny teplovodivou pastou, taktéž důlky ve chladičích pro měření teploty.

## Grafy





## **Závěr**

Naměřená a vypočtená hodnota termoelektrické konstanty jednoho termočlánku  $\alpha$  se téměř neliší. Vypočtená hodnota je o něco málo menší nežli naměřená.

Ze sestrojeného grafu závislosti chladícího výkonu  $Q$  na rozdílu teplot  $\Delta T$  je vidět, že se od grafu této závislosti příliš neliší. Přímka pro  $I=1,2A$  je téměř totožná, ale pro  $I=1,9A$  je mírně posunuta směrem nahoru.

Z grafu závislosti teploty studené strany  $T_s$  na příkonu je vidět, že tato závislost je nelineární. Při malém příkonu je pokles teploty studené strany rychlejší než při vyšším příkonu.

Závislost efektivnosti chlazení  $\varepsilon$  na teplotě  $T_s$  také nelineární. Mezi těmito veličinami je přímá závislost, ale jak bylo zmíněno, není lineární.

## **Použité zdroje**

1. <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART652-Peltierovy-termobaterie.html>
2. <http://www.melcor.com/>
3. <http://www.odbornecasopisy.cz/automa/2005/au110510.htm>