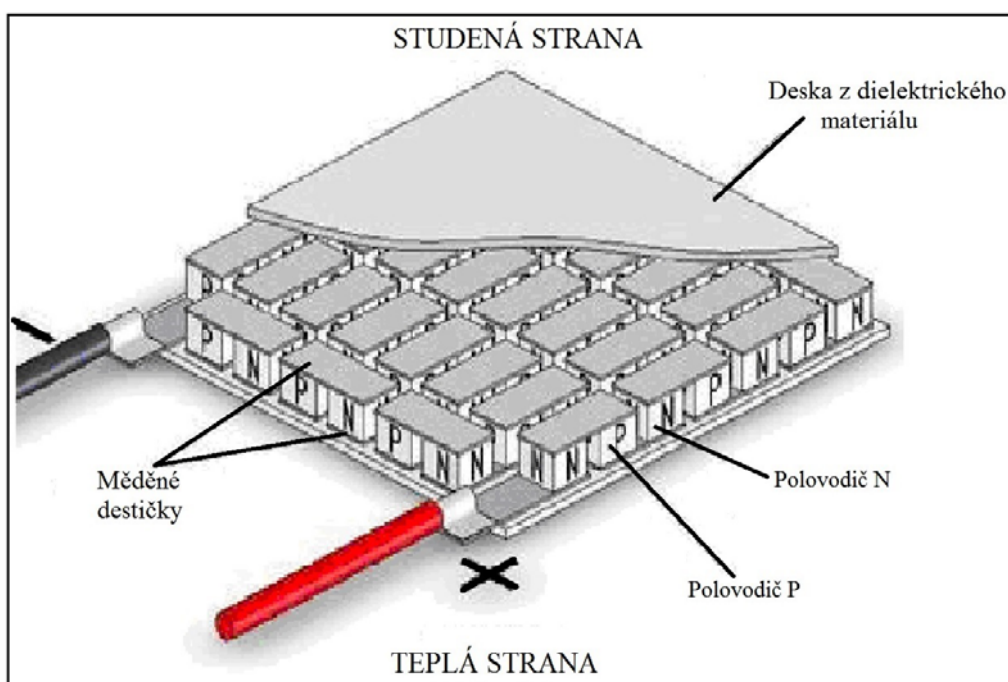


## Peltierův článek jako tepelné čerpadlo

Peltierův článek je založen na *termoelektrickém jevu*. Termoelektrický jev je vyvolán průchodem elektrického proudu přes dva různé materiály zapojené do série, čímž vzniká na obou materiálových spojích rozdílná teplota (termogenerátor) nebo naopak může být vyvolán rozdílem teplot na materiálových spojích, čímž vzniká elektrický proud (generátor proudu, např. termočlánek).

Peltierův článek se vyrábí ve formě jednotlivých polovodičových elementů uspořádaných do baterie, aby se zesílil účinek termoelektrického jevu. Polovodičové elementy jsou typu P a N a mají tvar krátkých sloupečků. Dvojice sloupečků jsou na obou koncích spojeny měděnými destičkami (viz obrázek). Průchodem proudu se protilehlé strany Peltierova článku dostávají na odlišné teploty (teplá a studená strana). Vzhledem k velmi malé výšce polovodičových sloupečků (několik milimetrů) je obtížné obě strany od sebe tepelně oddělit - sloupce polovodičů tak tvoří tepelné mosty, čímž snižují účinnost článku zejména při větších rozdílech teplot. Se vzrůstajícím rozdílem teplot klesá účinnost článku (největší hodnota účinnosti je proto při nulovém rozdílu teplot, podobně jako i u kompresorových tepelných čerpadel. Obrácením směru proudu si obě strany článku vymění teploty (z teplé strany se stane studená a naopak). Peltierův článek lze využít jak ke chlazení, tak k topení. Článek funguje tak, že studená strana odnímá teplo z okolí a předává je teplé straně, která přijímá i energii z elektrického napájení. Dochází tak k přečerpávání tepla ze studené strany na teplou, což je podporováno příkonem elektrické energie  $P_o$ . Změříme-li výkon teplé strany  $P_i$ , můžeme ocenit účinnost topení (*topný faktor*  $\varepsilon$ ) pomocí podílu výkonu ku příkonu:

$$\varepsilon_i = \frac{P_i}{P_o} \quad (1)$$



Peltierův článek má ve srovnání s kompresorovými tepelnými čerpadly menší topný faktor a poměrně velkou spotřebu elektrické energie. Má však také určité přednosti ve srovnání s nimi, a to naprostou bezhlučnost, nulové vibrace a protože nemá žádné mechanické části, je rovněž provozně spolehlivější (bezporuchový). V zařízeních, která vyžadují eliminaci hluku a vibrací je proto upřednostňován i za cenu větší spotřeby elektrické energie.

## Úkol:

Vyšetřete hodnotu topného faktoru Peltierova článku.

## Popis měření:

K dispozici je upravený Peltierův článek: na studené straně je opatřen chladičem s ventilátorem, na teplou stranu je postavena nádobka ze slitiny hliníku, manganu a křemíku ( $m_{Sl} = 0,25 \text{ kg}$ ,  $c_{Sl} = 880 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) izolována kolem obvodového pláště polystyrénem (termoska s odkrytým dnem). Chladič zastupuje funkci venkovního prostoru se stabilní teplotou, odkud se čerpá teplo, termoska zastupuje funkci domácího výměníku, kam se teplo ukládá. Termoska se naplní dvěma sty mililitry destilované vody ( $m_{H_2O} = 0,20 \text{ kg}$ ,  $c_{H_2O} = 4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ). Teplá strana Peltierova článku dodává teplo do vody a současně pokrývá teplo, které uniká přes polystyrénovou izolaci o ploše  $S = 0,032 \text{ m}^2$ , tloušťce  $0,025 \text{ m}$ , tepelné vodivosti  $0,051 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  a tepelné odporu  $R = 0,125 + 0,025 / 0,051 + 0,125 = 0,74 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Tepelné úniky ve Watech jsou dány následovně:

$$S \frac{T_i - t_i}{R} = 0,039 \cdot (T_i - T_o) \quad (\text{Watt}) \quad (2)$$

Po zapnutí proudu se **kontinuálně** po 5 minutách odečítá teplota teplé strany ( $T_i$ ) a studené strany ( $t_i$ ) a hodnota proudu  $I$  a napětí  $U$ . Elektrický příkon  $P_o$  je dán součinem proudu a napětí:

$$P_o = U \cdot I \quad (\text{Watt}) \quad (3)$$

Výkon  $P_i$  Peltierova článku je oceňován teplem akumulovaným v termosce v rámci pětiminutových intervalů ( $\Delta\tau = 5 \times 60 = 300 \text{ s}$ ) pomocí kalorimetrické rovnice:

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{(m_{Sl} \cdot c_{Sl} + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}) \cdot (T_i - T_{i-1})}{\Delta\tau} + 0,039 \cdot (T_i - T_o) = \\ &= 3,534(T_i - T_{i-1}) + 0,039 \cdot (T_i - T_o) \quad (\text{Watt}) \quad (4) \end{aligned}$$

kde  $(T_i - T_{i-1})$  je zvýšení teploty teplé strany v rámci pětiminutového intervalu a  $(T_i - T_o)$  je rozdíl mezi teplotou teplé strany  $T_i$  a okolní teplotou  $T_o$ . Do energetických úvah nezahrnujeme spotřebu ventilátoru u chladiče, neboť v praxi by jeho úlohu plnila nucená konvekce (tj. vítr) venkovního prostoru, do kterého by byl umístěn chladič bez ventilátoru.

Topný faktor  $\varepsilon_i$  pro každý pětiminutový interval získáme z rovnice (1).

## Pomůcky:

- Upravený Peltierův článek
- Voltmetr (Metex na rozsahu 20V ss)
- Ampérmetr (Metex na rozsahu 20A ss)
- Odměrný válec (>250ml)
- Stopky nebo hodinky s vteřinovým odečtem

## Důrazné upozornění:

Pokud přebíráte pracoviště po předchozím měření, je nutné vyměnit zahřátý chladič za náhradní, který je přiložen na základní desce a má pokojovou teplotu. Pokud je termoska zahřátá z předešlého měření, je nutné ji propláchnout několikrát destilovanou vodou pokojové teploty, aby se nádobka co nejvíce přiblížila pokojové teplotě. Měření nezahajujte, pokud nebude zaručena pokojová teplota na obou částech zařízení. Není-li možné dostatečně

rychle zařízení ochladit, je přípustný malý rozdíl teplot nepřesahující 0,5 °C - vyhněte se tak zkraveným výsledkům.

### Postup měření:

- a) Do termo-nádobky nalijte **přesně 200 ml destilované vody o pokojové teplotě**. Na dně z vnější strany termo-nádobky je připevněn Peltierův článek (typ TEC1-12714S). Termo-nádobku opatrně uzavřete polystyrénovým poklopem s vestavěným teploměrem a postavte ji na chladič. Chladič má v sobě zabudovaný teploměr, který přibližně měří teplotu chladné strany Peltierova článku.
- b) Zapněte venkovní ventilátor chladiče.
- c) Nechte ustálit teploty obou stran článku (tj. teploty obou teploměrů) tak, aby byly **co nejlíže pokojové teplotě**. Maximální vzájemná diference obou teploměrů nesmí být větší jak 0,5 °C, jinak nebudou zaručeny korektní startovní podmínky a výsledky budou zkravené (nižší hodnoty topného faktoru). Snažíme se zjistit maximální hodnotu topného faktoru, která nastává při nulovém rozdílu teplot obou stran článku, a z toho důvodu musíme startovat s minimálním teplotním rozdílem.
- e) Po ustálení teplot obou teploměrů zapište jejich počáteční hodnoty (tj. hodnoty teplé a studené strany Peltierova článku). Připojte vývody článku k napájecí krabici.
- f) Zapněte elektrické napájení a ihned nastavte hodnotu napětí **2 Volty** (během měření budou hodnoty napětí a proudu mírně kolísat). **Během celého dalšího měření již napětí neměňte.**
- g) Vyčkejte 5 min. a v poslední půlminutě tohoto intervalu odečtěte teploty  $T_i$ ,  $t_i$  obou teploměrů a také hodnoty napětí  $U$  a proudu  $I$ .
- h) Po uplynutí každých 5 minut operace popsané v bodě g) kontinuálně opakujte, a to alespoň desetkrát. Je nutné, aby všechny pětiminutové intervaly na sebe navazovaly bez přerušování. Hodnoty zapisujte do předem připravené tabulky (viz příklad měření uvedený na konci tohoto textu).

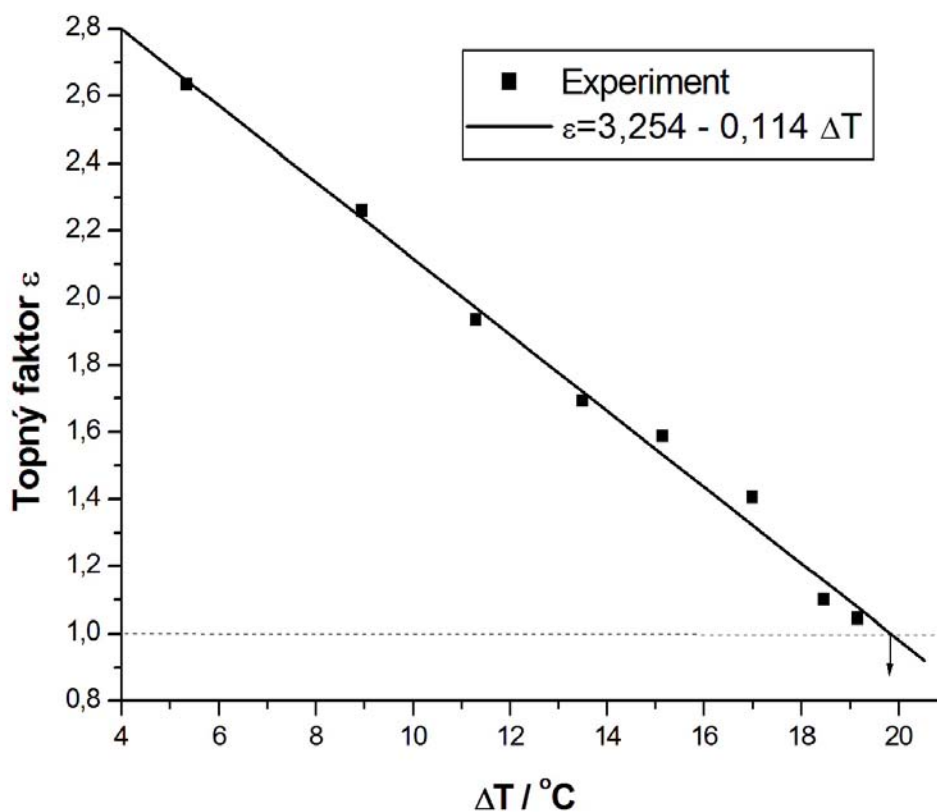
### Zpracování naměřených údajů:

- a) Vypočítejte topné faktory  $\varepsilon_i$  pro všechny pětiminutové intervaly měření.
- b) Sestrojte graf  $\varepsilon_i = f(\Delta T_i)$ , tj. závislost topného faktoru na rozdílu teplot teplé a studené strany Peltierova tepelného čerpadla  $\Delta T_i = (T_i - t_i)$ .
- c) Na grafech vyznačte mez, kdy při daném napětí přestává být Peltierův článek efektivním topidlem a v diskusi vysvětlete, jak jste tuto mez stanovili a jaká hodnota  $\Delta T = (T_i - t_i)$  této mezi přísluší. Je třeba se také zmínit o tom, že není kompenzován vliv parazitních polovodičových tepelných můstků, což ve svém důsledku snižuje hodnotu topného faktoru, která by *v ideálním případě* byla větší než ta, kterou lze daným zařízením naměřit.
- d) Vyjádřete svůj názor, zda by Peltierovy články byly využitelné v praxi jako tepelná čerpadla. V současné době někteří tepelní technici uvažují o jejich využití (viz <http://www.forschung-burgenland.at/en/energy-environment/peltier-heat-pump/>).

**Příklad, jak lze úlohu měřit na další straně.**

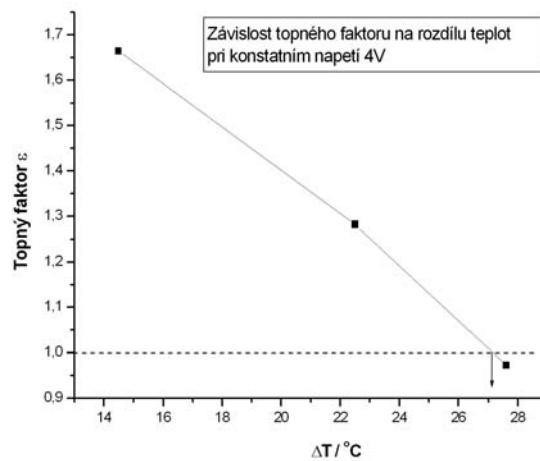
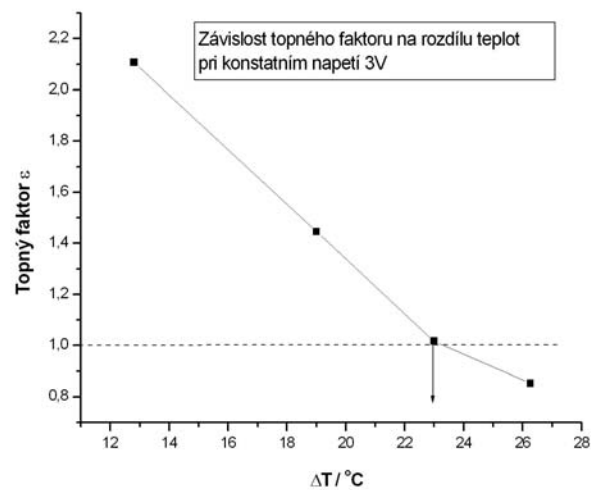
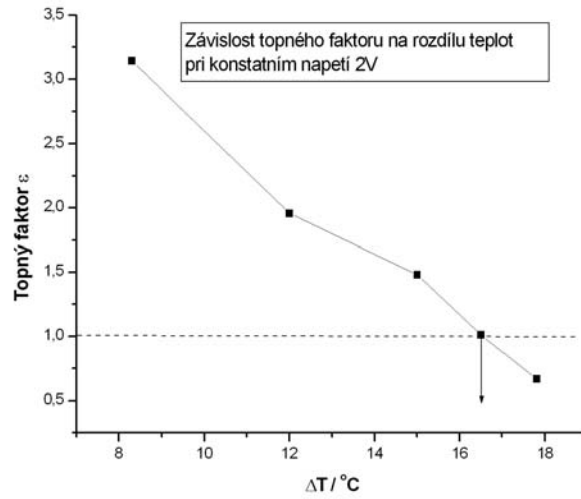
Tab. 1 Peltierovo tepelné čerpadlo - měřeno při konstantím napětí 2V, se započítáním tepelných úniků.

| Čas<br>$\Delta t$<br>min | Tepl.<br>$T_i$ °C | Stud.<br>$t_i$ °C | $\Delta T = T_i - t_i$<br>°C | $P_i = 3,534(T_i - T_{i-1}) +$<br>$+ 0,039 \cdot (T_i - T_o)$<br>W | U<br>V | I<br>A | $P_o$<br>UI<br>W | $\varepsilon_i = \frac{P_i}{P_o}$ |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--|--------|--------|------------------|-----------------------------------|
| 0                        | 22,5              | 22,25             | -                            | -  | -      | -      | -                | -                                 |
| 5                        | 26,5              | 21,15             | 5,35                         | 14,292   | 1,98   | 2,74   | 5,425            | 2,634                             |
| 10                       | 30                | 21,05             | 8,95                         | 12,661   | 1,95   | 2,83   | 5,603            | 2,260                             |
| 15                       | 32,95             | 21,65             | 11,3                         | 10,833   | 1,93   | 2,9    | 5,597            | 1,935                             |
| 20                       | 35,5              | 22,0              | 13,5                         | 9,519  | 1,92   | 2,95   | 5,664            | 1,693                             |
| 25                       | 37,9              | 22,75             | 15,15                        | 9,082  | 1,90   | 3,01   | 5,719            | 1,588                             |
| 30                       | 40                | 23                | 17                           | 8,104  | 1,89   | 3,05   | 5,764            | 1,406                             |
| 35                       | 41,6              | 23,15             | 18,45                        | 6,399  | 1,88   | 3,09   | 5,809            | 1,102                             |
| 40                       | 43,1              | 23,95             | 19,15                        | 6,104  | 1,87   | 3,12   | 5,834            | 1,046                             |
| 45                       | ...               | ...               | ...                          | ...  | ...    | ...    | ...              | ...                               |
| 50                       | ...               | ...               | ...                          | ...  | ...    | ...    | ...              | ...                               |



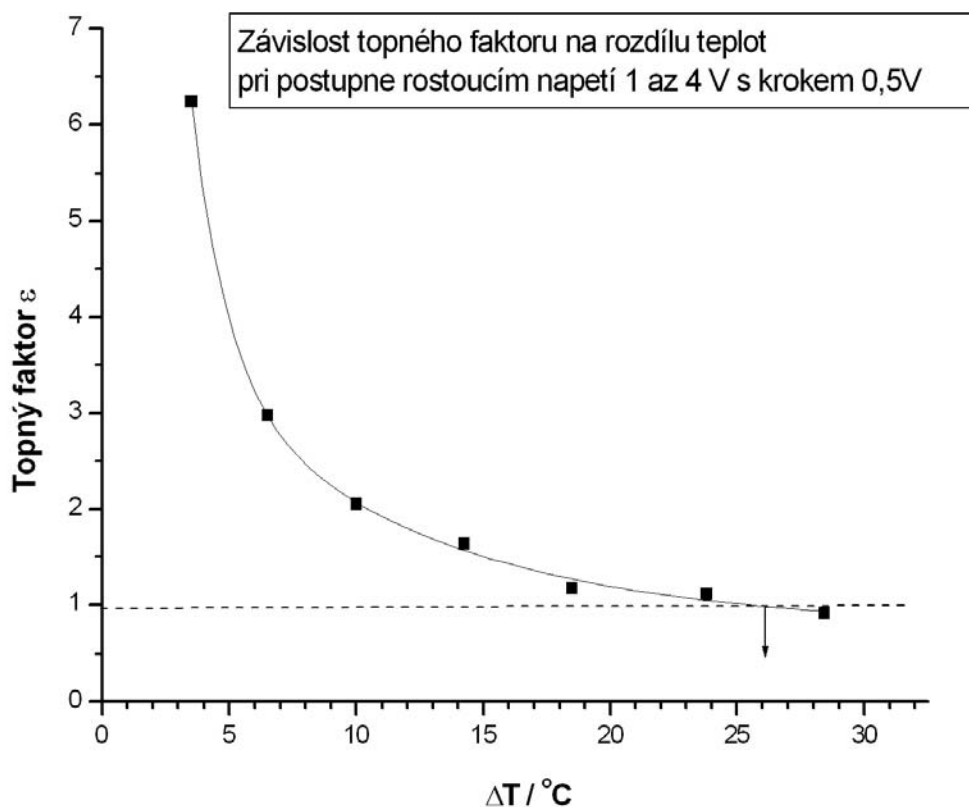
## Nepovinná část

Následující měření byly prováděny bez započítání tepelných ztrát na teplé straně Peltierova tepelného čerpadla.



Z předešlých tří grafů je vidět, že s rostoucím konstantním napájením Peltierova tepelného čerpadla lze dosáhnout širšího teplotního intervalu, ve kterém je tepelné čerpadlo ještě účinné ( $\varepsilon > 1$ ). Při 2 voltech byla šířka intervalu 16 stupňů, při 3 voltech 23 stupňů a při 4 voltech 27 stupňů. Jestliže započteme tepelné úniky na teplé straně, dojde ještě k dalšímu rozšíření těchto intervalů.

Na rozdíl od kompresorového tepelného čerpadla má Peltierovo čerpadlo možnost měnit příkon energie zvyšováním napětí. Lze tedy topné faktory také měřit při postupně rostoucím napětí, jak ukazuje následující graf.



Nutno ovšem poznamenat, že takto určované topné faktory mají poněkud odlišnou interpretaci ve srovnání s faktory měřenými při konstantním příkonu.