

# 11. Sviečková elektrárň

Richard Hlubina

UK Bratislava

Úvodné sústreďenie TMF, Bratislava 8.11. 2013

# Zadanie

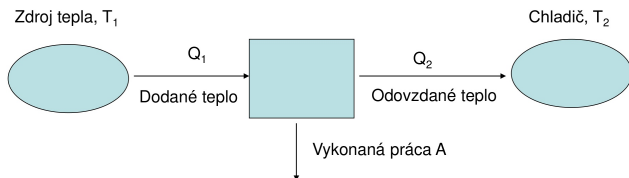


Navrhните zariadenie, ktoré bude konvertovať teplo z plameňa sviečky na elektrickú energiu. Preskúmajte, ako jednotlivé časti tohto zariadenia ovplyvňujú jeho účinnosť.

- **Ilja Marčenko:** <http://kit.ilyam.org/>
- **Stirlingov stroj:** <http://www.youtube.com/watch?v=UvrBzwBIFhM>
- **Stirlingov stroj - teória:**  
<http://www.robertstirlingengine.com/theory.php>  
<http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/stirling.php3>  
[http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/english/still\\_c.htm](http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/english/still_c.htm)
- **termoelektrický generátor:**  
<http://www.youtube.com/watch?v=6LmDAFBBPK8>
- **termoelektrický článok:**  
[http://www.dep.fmph.uniba.sk/~hлубina/STUD\\_MATER/BAKALAR/bakalar.pdf](http://www.dep.fmph.uniba.sk/~hлубina/STUD_MATER/BAKALAR/bakalar.pdf)

# Tepelné stroje

- 2. veta termodynamická (ekvivalentné formulácie)
  - Lord Kelvin: proces, ktorého jediným výsledkom je premena tepla na prácu, ak zdroj tepla má konštantnú teplotu, je nemožný
  - Clausius: proces, ktorého jediným výsledkom je prenos tepla zo studenšieho telesa na teplejšie teleso, je nemožný
- preto tepelné stroje musia pracovať aspoň s dvomi teplotami  $T_1$  a  $T_2$ :



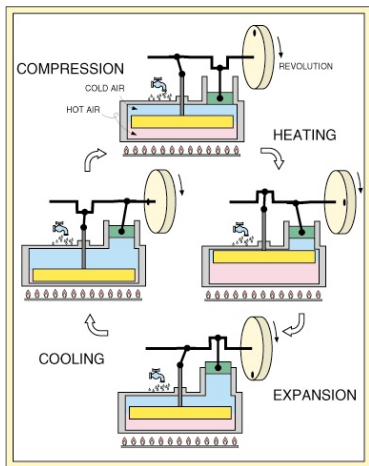
- ideálna účinnosť:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

# Elektrárň: dve riešenia

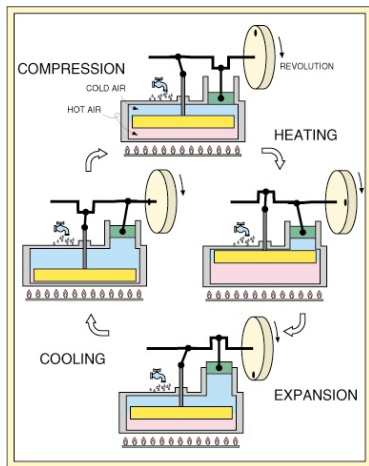
- konverzia tepelnej energie na mechanickú, napr. [Stirlingov stroj](#) a následná konverzia mechanickej energie na elektrickú (dynamo)
- priama konverzia tepelnej energie na elektrickú ([termoelektrický jav](#))

# Stirlingov stroj

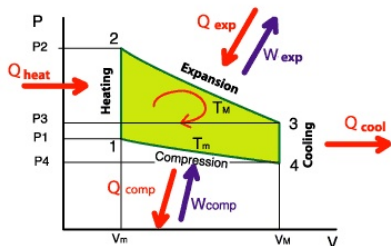


- pracovný plyn uzavretý vo valci
- konce valca udržiavané pri rôznych teplotách
- žltý piest: modulácia teploty pracovného plynu, môže byť obtekaný plynom, preto nekoná prácu
- zelený piest: koná prácu
- obidva piesty na spoločnom hriadeľi (synchronizácia)

# Stirlingov stroj ako tepelný stroj

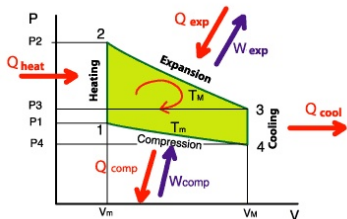


zjednodušený Stirlingov cyklus:



# Stirlingov stroj: účinnosť

- zjednodušený Stirlingov cyklus:



- 12: izochorické ohrevanie  
prijaté teplo  $Q_{12} = C_V(T_M - T_m)$

- 23: izotermické rozpínanie  
vykonaná práca

$$A_{23} = \int_{V_m}^{V_M} p dV = NkT_M \ln \frac{V_M}{V_m}$$

prijaté teplo  $Q_{23} = A_{23}$

- 34: izochorické chladenie  
odovzdané teplo

$$Q_{34} = C_V(T_M - T_m)$$

- 41: izotermické stlačenie  
prijatá práca

$$A_{41} = \int_{V_M}^{V_m} p dV = NkT_m \ln \frac{V_M}{V_m}$$

odovzdané teplo  $Q_{41} = A_{41}$

- účinnosť:

$$\eta = \frac{A_{23} - A_{41}}{Q_{12} + Q_{23}}$$

- porovnanie s Carnotovým cyklom:

$$\eta = \frac{T_M - T_m}{T_M} \frac{1}{1 + \frac{C_V}{Nk \ln \frac{V_M}{V_m}} \frac{T_M - T_m}{T_M}}$$



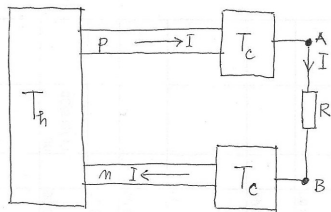
- skúmame kovový drôt spájajúci body 1 a 2
- potenciály v bodoch 1,2:  $U_1$  a  $U_2$
- teploty v bodoch 1,2:  $T_1$  a  $T_2$
- cez drôt tečie prúd  $I$  z 1 do 2
- potom platí:

$$U_1 - U_2 = IR + S(T_2 - T_1)$$

kde  $R$  je odpor drôtu a  $S$  je Seebeckov koeficient

- $S$  je charakteristika materiálu, podobne ako merný odpor  $\rho$
- existujú materiály s  $S > 0$  aj materiály s  $S < 0$
- $S > 0$ : nosiče náboja majú kladný náboj (index  $p$ )
- $S < 0$ : nosiče náboja majú záporný náboj (index  $n$ )

# Termočlánok



- zvonka udržiavame teploty kontaktov  $T_h > T_c$
- termočlánok generuje spád napätia medzi bodmi A a B
- $R$  je záťaž pripojená na termočlánok
- potenciál teplej elektródy je  $U_0$

- rovnice pre vodiče  $p$  a  $n$ :

$$U_0 - U_A = IR_p + S_p(T_c - T_h)$$

$$U_0 - U_B = -IR_n + S_n(T_c - T_h)$$

- napätie  $U = U_A - U_B$  medzi A,B:

$$U = (S_p - S_n)(T_h - T_c) - I(R_p + R_n)$$

- na záťaži platí  $U = IR$ , preto

$$I = \frac{U_i}{R + R_i}$$

- napätie na článku bez záťaže:

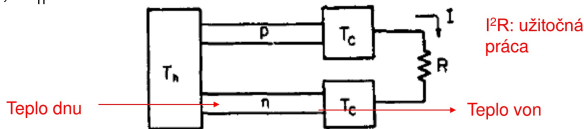
$$U_i = (S_p - S_n)(T_h - T_c)$$

- vnútorný odpor termočlánku:

$$R_i = R_p + R_n$$

# Termočlánok ako tepelný stroj

$$S_p > 0, S_n < 0$$



- účinnosť:  $\eta = \frac{RI^2}{I_Q}$ , kde  $I_Q$  je prítok tepla; dá sa ukázať (skriptá str. 75-76):
- optimálna záťaž:

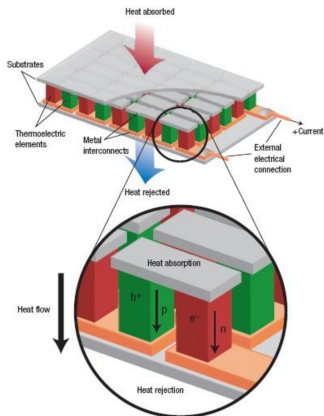
$$R = \alpha(R_p + R_n)$$

- účinnosť pri optimálnej záťaži

$$\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\alpha - 1}{\alpha + \frac{T_c}{T_h}}$$

- parameter  $\alpha$  je obvykle iba o málo väčší než 1,  $1 < \alpha < 1.5$

# Komerčné termočlánky



- typické parametre termočlánkov (napr. G2-30-0313 firmy Tellurex)
- rozmery  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 3.3\text{ mm}$
- prevádzkové teploty  $T_c < 100^\circ\text{C}$ ,  $T_h < 320^\circ\text{C}$
- parametre pri  $T_c = 50^\circ\text{C}$ ,  $T_h = 150^\circ\text{C}$ :
  - napätie naprázdno  $U_i \approx 5\text{ V}$
  - optimálna záťaž  $R_i \approx 6.3\Omega$
  - napätie v optime  $2.4\text{ V}$
  - prúd v optime  $0.4\text{ A}$
  - optimálny užitočný výkon  $0.9\text{ W}$

sériové zapojenie termočlánkov  
v komerčných zariadeniach  
(Snyder 2008)

# Analýza účinnosti

- určiť idealizovaný tepelný príkon  $I_{Q0}$  (výhrevnosť parafínu, rýchlosť horenia)
- určiť užitočný výkon  $P = \frac{U^2}{R}$  na známom odpore
- účinnosť  $\eta = \frac{P}{I_{Q0}}$  porovnať s ideálnou účinnosťou  $\eta_0 = \frac{T_h - T_c}{T_h}$  (zmerať teploty  $T_h$  a  $T_c$ )
- preskúmať, ako účinnosť  $\eta$  závisí od:
  - veľkosti príkonu  $I_{Q0}$  (jedna, dve, tri sviečky)
  - pomeru medzi skutočným príkonom  $I_Q$  a príkonom  $I_{Q0}$
  - hodnoty  $\eta_0$  (ako optimalizovať?)
  - záťažového odporu  $R$
  - ...
- možno identifikovať zdroje strát vnútri zariadenia? (napr. určiť parameter  $\alpha$  pre termočlánok?)