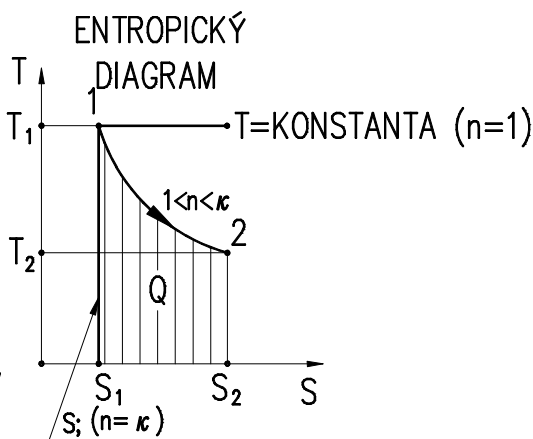
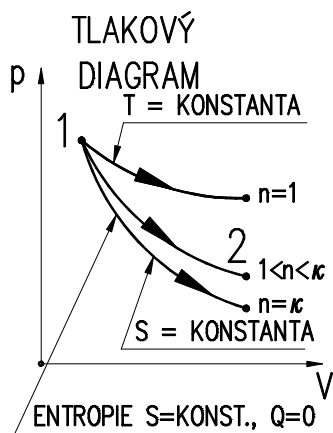


Název a adresa školy:	Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, příspěvková organizace, Praskova 399/8, Opava, 746 01
Název operačního programu:	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, oblast podpory 1.5
Registrační číslo projektu:	CZ.1.07/1.5.00/34.0129
Název projektu	SŠPU Opava – učebna IT
Typ šablony klíčové aktivity:	III/2 Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT (20 vzdělávacích materiálů)
Název sady vzdělávacích materiálů:	MEC IIIb
Popis sady vzdělávacích materiálů:	Mechanika III – hydrodynamika a termomechanika, 3. ročník.
Sada číslo:	G-21
Pořadové číslo vzdělávacího materiálu:	14
Označení vzdělávacího materiálu: (pro záznam v třídní knize)	VY_32_INOVACE_G-21-14
Název vzdělávacího materiálu:	Polytropická změna stavu
Zhotoveno ve školním roce:	2011/2012
Jméno zhotovitele:	Ing. Iva Procházková

Polytropická změna stavu

Jedná se o obecnou vratnou změnu stavu. V $p - V$ diagramu je znázorněna hyperbolou vyššího řádu, která je vyjádřena rovnicí:



$$p \cdot V^n = konst$$

n – polytropický exponent

$$1 < n < \kappa$$

Izoterma $n = 1$

Adiabata $n = \kappa$

κ – polytropický exponent

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n$$

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^n = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1}$$

Absolutní práce:

$$W = \frac{1}{n-1} \cdot p_1 \cdot V_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

Technická práce:

$$W_t = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot V_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

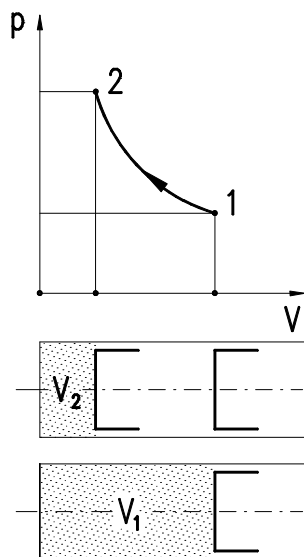
Př.: Pístový kompresor nasává objem $V_1 = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ a polytropicky ($1 < n < \kappa$) ho stlačuje z tlaku $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ na tlak $p_2 = 0,6 \text{ MPa}$. Teplota nasávaného plynu $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Určete teplotu a objem na konci komprese. Dále určete teoretický výkon hnacího motoru. $n = 1,35$.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \overbrace{290}^{273+17} \cdot \left(\frac{0,6}{0,1} \right)^{\frac{1,35-1}{1,35}} = 461,5 \text{ K}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}} \rightarrow V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}} = 10 \cdot \left(\frac{290}{461,5} \right)^{\frac{1}{0,35}} = 2,65 \text{ m}^3$$

$$P = \frac{W_t}{t} = \frac{\overbrace{1}^{1 \text{ hod.} = 3600 \text{ s}}}{3600} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot V_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] =$$

$$= \frac{1}{3600} \cdot \frac{1,35}{0,35} \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,6}{0,1} \right)^{\frac{0,35}{1,35}} \right] = -633,6 \text{ W}$$



Př.: Kompresní poměr spalovacího motoru $\varepsilon = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 8$. Jaká

je teplota vzduchu na konci adiabatické komprese?

($\Delta Q = 0$ – bez výměny tepla s okolím).

$$T_1 = 27^\circ\text{C}, T_2 = ?, \kappa = 1,4$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1} = \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

$$T_2 = \underbrace{300}_{273+27} \cdot 8^{0,4} = 689\text{K} = 416^\circ\text{C}$$

Př.: Ve spalovacím prostoru zážehového motoru se spaluje směs benzínových par a vzduchu přibližně za konstantního objemu. Jak stoupnou tlak a teplota plynů ve válci po spálení směsi? Stlačená směs má tlak $p_1 = 0,5\text{ MPa}$ a teplotu $t_1 = 207^\circ\text{C}$. Spálením 1 kg směsi se vyvine $Q = 1600\text{ kJ}$ tepla. Měrné

teplo za konstantního objemu $c_v = 960 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$Q = m \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1) \rightarrow t_2 = \frac{Q}{m \cdot c_v} + t_1 = \frac{1600000}{1 \cdot 960} + 207 = 1874^\circ\text{C} = 2147\text{K}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 500000 \cdot \frac{2147}{\underbrace{480}_{273+207}} = 2236458\text{Pa} = 2,236\text{MPa}$$

Př.: Izotermický kompresor má při teplotě $t = 17^\circ\text{C}$ stlačovat za každou sekundu $V_1 = 50\text{ l}$ vzduchu z tlaku $p_1 = 0,1\text{ MPa}$ na tlak $p_2 = 0,5\text{ MPa}$. Jaký je konečný objem po stlačení a potřebný příkon ideálního kompresoru?

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{0,1 \cdot 0,05}{0,5} = 0,01\text{ m}^3 = 10\text{ l}$$

$$P = \frac{W_t}{t} = \frac{m \cdot r \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}}{t} = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}}{t} = \frac{10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot \ln \frac{0,1}{0,5}}{1} = -8047\text{ W}$$

Poznámka: Při izotermické kompresi je práce záporná, při expanzi kladná.

Př.: Ohřívač vzduchu pro vysokou pec spotřebuje za 2 hodiny $Q_m = 45000\text{ m}^3$ vysokopecního plynu o výhřevnosti $q = 3150\text{ kJ/m}^3$. V ohřívači se ohřeje za tuto dobu $133\,000\text{ kg}$ vzduchu z teploty 30°C na teplotu 800°C při konstantním tlaku. Kolik tepla Q spotřebuje vzduch na své ohřátí a jaká je termická účinnost ohřívače? $\kappa = 1,4$; $r = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Měrné teplo za konstantního tlaku:

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot r = \frac{1,4}{0,4} \cdot 287 = 1004,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t = 133000 \cdot 1004,5 \cdot (800 - 30) = 1,03 \cdot 10^{11}\text{ J}$$

Přivedené teplo:

$$Q_p = Q_m \cdot q = 45000 \cdot 3150000 = 1,42 \cdot 10^{11}\text{ J}$$

$$\eta_t = \frac{Q}{Q_p} = \frac{1,03 \cdot 10^{11}}{1,42 \cdot 10^{11}} = 0,726 = 72,6\%$$

Př.: Pět kg vzduchu o tlaku $p = 0,8 \text{ MPa}$ a teplotě $t_1 = 47^\circ\text{C}$ se přivede $Q = 120 \text{ kJ}$ tepla a současně se přivede $W = 110 \text{ kJ}$ objemové práce. Jaká bude konečná teplota vzduchu?

$$c_v = 714 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

První zákon termodynamiky:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - \overbrace{W}^{\text{Odebraná práce}} = c_v \cdot (T_2 - T_1) \cdot m; \quad U = m \cdot u; \quad u = c_v \cdot \Delta T$$

$$T_2 = \frac{Q - W}{c_v \cdot m} + T_1 = \frac{120000 - (-110000)}{714 \cdot 5} + \underbrace{320}_{273+47} = 384 \text{ K}$$

Seznam použité literatury:

- MRŇÁK L. – DRDLA A.: *MECHANIKA – Pružnost a pevnost pro střední průmyslové školy strojnické*. Praha: SNTL, 1977.
- JULINA M., KOVÁŘ J., VENCLÍK V., *MECHANIKA II – Kinematika pro střední průmyslové školy strojnické*, Praha: SNTL, 1977.
- JULINA M., KOVÁŘ J., VENCLÍK V., *MECHANIKA III – Dynamika pro střední průmyslové školy strojnické*, Praha: SNTL, 1977.
- JULINA M., KOVÁŘ J., VENCLÍK V., *MECHANIKA IV – Mechanika tekutin a termomechanika pro střední průmyslové školy strojnické*, Praha: SNTL, 1977.
- TUREK, I., SKALA, O., HALUŠKA J.: *MECHANIKA – Sbírka úloh*. Praha: SNTL, 1982.
- LEINVEBER, J. – VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 5. doplněné vydání. Praha: Albra, 2011. ISBN 80-7361-033-7.