

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:	<b>MEC IIIb</b>
Popis sady vzdělávacích materiálů:	Mechanika III – hydrodynamika a termomechanika, 3. ročník.
Sada číslo:	<b>G-21</b>
Pořadové číslo vzdělávacího materiálu:	<b>11</b>
Označení vzdělávacího materiálu: (pro záznam v třídní knize)	VY_32_INOVACE_G-21-11
Název vzdělávacího materiálu:	<b>Základní zákon ideálního plynu</b>
Zhotoveno ve školním roce:	2011/2012
Jméno zhotovitele:	Ing. Iva Procházková

## Základní zákon ideálního plynu

Dva zcela různé stavy ideálního plynu se navzájem liší hodnotami všech svých stavových veličin: tlaku, teploty a měrného objemu. Na základě laboratorních pokusů mezi stavovými veličinami platí vztah:

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{T_2} = \text{konst.} = r$$

$r$  – měrná plynová konstanta, pro vzduch

$$r = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Pro  $m = 1$  kg látky platí:

$$\frac{p \cdot v}{T} = r$$

→

$$p \cdot v = r \cdot T$$

Pro  $m$  kg:

$$p \cdot v \cdot m = p \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

**Př.:** V uzavřené nádrži  $V = 100$  l je vzduch o tlaku  $p = 1$  MPa, teplotě  $27$  °C. Určete hmotnost plynu.

$$r = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T \rightarrow m = \frac{p \cdot V}{r \cdot T} = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 0,1}{287 \cdot (27 + 273)} = 1,16 \text{ kg}$$

**Př.:** Určete hustotu vzduchu  $\rho$  o tlaku  $p = 0,5 \text{ MPa}$  a teplotě  $100^\circ\text{C}$ ;  $r = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$p \cdot v = r \cdot T \rightarrow v = \frac{r \cdot T}{p}$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{p}{r \cdot T} = \frac{0,5 \cdot 10^6}{287 \cdot 373} = 4,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Z rovnice, která vyjadřuje stav mezi stavovými veličinami dvou stavů jednoho a téhož plynu, můžeme odvodit rovnici pro změnu **izochorickou** ( $v_1 = v_2$ ).

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} - \text{Charlesův zákon.}$$

**Pro izobarickou změnu** ( $p_1 = p_2$ ) platí:

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} - \text{Gay – Lussacův zákon.}$$

**Pro izotermickou změnu stavu** ( $T_1 = T_2$ ) platí:

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} - \text{Boyleův – Mariotteův zákon.}$$

Pro ideální plyny předpokládáme, že dvě základní měrná tepla  $c_v$  a  $c_p$  jsou konstantní a závisí jen na druhu plynu. Obecně platí:

$$c_p - c_v = r - \text{měrná plynová konstanta}$$

Poměr obou měrných tepel:

$$\frac{\text{měrné teplo za stálého tlaku}}{\text{měrné teplo za stálého objemu}} = \kappa \quad \kappa - \text{Poissonova konstanta (adiabatický exponent)}$$

$$\frac{c_p}{c_v} = \kappa$$

→ 1,66 pro 1 atomové plyny;

→ 1,4 pro 2 atomové plyny;

→ 1,3 pro 3 atomové plyny.

$$c_p = \kappa \cdot c_v$$

$$c_p - c_v = \kappa \cdot c_v - c_v = r$$

$$c_v \cdot (\kappa - 1) = r$$

$$c_v = \frac{r}{\kappa - 1}$$

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot r$$

**Př.:** Určete velikost  $c_p$  a  $c_v$  pro vzduch  $r = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ,  $\kappa = 1,4$ .

$$c_v = \frac{r}{\kappa - 1} = \frac{287}{1,4 - 1} = 717,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

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

**Př.:** V tlakové nádobě objemu  $V = 2 \text{ m}^3$  je vzduch o tlaku  $p = 0,5 \text{ MPa}$  a teplotě  $t_1 = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$ .

Určete množství tepla potřebného k ohřátí plynu na teplotu  $t_2 = 50^\circ \text{C} = 323 \text{ K}$  a tlak plynu po

ohřátí;  $r = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ,  $c_v = 717,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ .

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1 \rightarrow m = \frac{p_1 \cdot V_1}{r \cdot T_1} = \frac{500000 \cdot 2}{287 \cdot (273 + 20)} = 11,89 \text{ kg}$$

$$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta t = 11,89 \cdot 717,5 \cdot 30 = 255973 \text{ J}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,5 \cdot \frac{323}{293} = 0,551 \text{ MPa}$$

## První zákon termodynamiky

Zákon o zachování energie říká, že energie nemůže vznikat ani se ztrácet, ale může se změnit z jedné formy na druhou. V praxi se soustředujeme na vyšetření přeměn dvou forem energie – tepelné a mechanické.

Zákon o zachování energie v termomechanice nazýváme **1. zákon termodynamiky**.

Množství energie, kterou jsme převedli nebo odvedli plynu při jeho ohřevu nebo ochlazení, nazveme teplem a označíme  $Q$ .

Podle zákona zachování energie se toto množství energie nemůže ztratit. Muselo zvýšit nebo snížit energii plynu. Současně se přitom změnil stav plynu, tj. změnila se jeho teplota popřípadě i tlak.

**Energii plynu** a tím i jeho stav **můžeme měnit** kromě sdílení tepla mezi plynem a okolím **taky jeho stlačením (kompresí) nebo rozpínavostí (expanzí).**

Při kompresi mechanickou energii spotřebujeme, při expanzi získáme.

Tuto energii v termomechanice nazýváme jednorázovou (absolutní) prací a označujeme **A**.

Teplu a mechanická práce jsou rovnocenné formy energie.

**Př.:** Spalovací motor o výkonu  $P = 3,5 \text{ kW}$  spotřebuje za 1 hodinu  $Q_m = 1,5 \text{ kg/h}$  benzínu výhřevnosti  $q = 46\,000 \text{ kJ/kg}$ . Určete účinnost motoru.

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}} = \frac{P}{P_p} = \frac{P \cdot 3600}{Q_m \cdot q} = \frac{3500 \cdot 3600}{1,5 \cdot 46000000} \doteq 0,18 = 18\%$$

**Př.:** Olověná kulička  $m = 20 \text{ g} = 0,02 \text{ kg}$  narazí rychlostí  $w = 200 \text{ m/s}$  do dřeva. Jak se změní teplota kuličky? Měrná tepelná kapacita (měrné teplo)  $c = 0,13 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} = 130 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ . Předpokládejte, že 1/3 energie se spotřebuje na deformaci stěny a kuličky.

$$W_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot w^2 = \frac{0,02}{2} \cdot 200^2 = 400 \text{ J}$$

Teplu  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

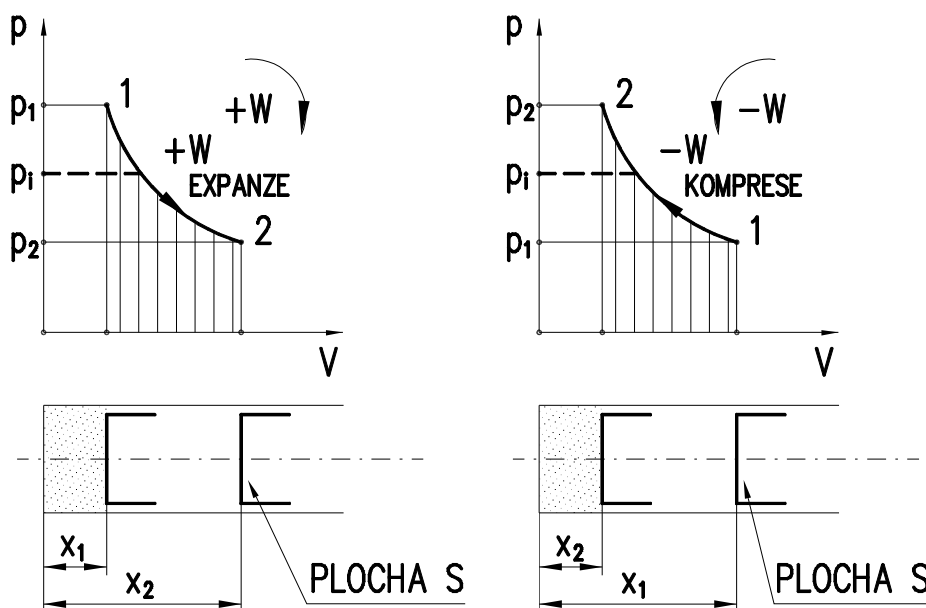
$$\frac{2}{3} E_K = Q = m \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{\frac{2}{3} W_K}{m \cdot c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 400}{0,02 \cdot 130} = 103^\circ \text{C}$$

## Absolutní práce

Je spotřebovaná při kompresi nebo získaná při expanzi plynu. Náznou představu o velikosti práce získáme použitím tlakového **p – V** diagramu. Každý bod tohoto diagramu představuje určitý stav plynu.

Bod 1 – výchozí stav.

Bod 2 – konečný stav.



Čára p – V diagramu zobrazuje průběh změny stavu. **Absolutní práce** v tomto diagramu je vyjádřena plochou pod křivkou změny stavu.

Velikost absolutní práce určíme tak, že plochu pod křivkou změny stavu si nahradíme obdélníkem stejného obsahu. Výšku obdélníka nazýváme **střední (indikovaný) tlak p<sub>i</sub>**.

$$W = p_i \cdot S \cdot (x_2 - x_1) = p_i \cdot (V_2 - V_1)$$

Absolutní práce bývá též nazývána jako práce objemová.

## 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.