

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>12</b>
Označení vzdělávacího materiálu: (pro záznam v třídní knize)	VY_32_INOVACE_G–21–12
Název vzdělávacího materiálu:	<b>Vnitřní energie</b>
Zhotoveno ve školním roce:	2011/2012
Jméno zhotovitele:	Ing. Iva Procházková

## Vnitřní energie

Abychom mohli 1. zákon termodynamiky matematicky zapsat, musíme zavést název pro energii plynu, jehož změna se dá rovnicí popsat. Energii plynu závislou na termodynamickém stavu nazýváme vnitřní energií a používáme značku  $U$  [J].

Vnitřní energie není tíhová ( $g \cdot H$ ), tlaková  $\left(\frac{p}{\rho}\right)$  ani kinetická  $\left(\frac{w^2}{2}\right)$ . Závisí jen a pouze na termodynamickém stavu plynu, který je určen tlakem a teplotou.

Dodáme-li určitému množství plynu teplo z okolí ( $Q > 0$ ) a současně odebereme absolutní práci  $W$  ( $W < 0$ ), změní se energie plynu.

Vnitřní energie:  $U_2 - U_1 = Q - W$

Pro 1 kg plynu označujeme stavové veličiny malými písmeny.

Vnitřní energie pro 1 kg plynu:  $u = \frac{U}{m} \left[ \frac{J}{kg} \right]$

První zákon termodynamiky pro 1 kg plynu:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = q - w$$

Množství tepla:  $q = \frac{Q}{m} \left[ \frac{J}{kg} \right]$

Práce:  $w = \frac{W}{m} \left[ \frac{J}{kg} \right]$

### 1. zákon termodynamiky pro $m \text{ [kg]}$ plynu:

$$U_2 - U_1 = Q - W$$

Pro 1 kg plynu:  $\Delta u = u_2 - u_1 = q - w \left[ \frac{J}{kg} \right]$

Vnitřní energie je stavovou veličinou záviselící na termodynamickém stavu. U ideálního plynu závisí jen na jeho teplotě.

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v \cdot (T_2 - T_1) = c_v \cdot (t_2 - t_1)$$

V technických výpočtech nepotřebujeme znát absolutní hodnotu vnitřní energie, počítáme vždy s přírůstkem vnitřní energie.

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

**Př.:** Jaký měrný objem  $v$  a hustotu  $\rho$  má oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  při tlaku  $p = 0,15 \text{ MPa}$  a teplotě  $t = 257^\circ\text{C} = 530 \text{ K}$ , měrná plynová konstanta  $r = 189 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ .

Základní zákon ideálního plynu:

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

$$v = \frac{r \cdot T}{p} = \frac{189 \cdot 530}{150000} = 0,668 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,668} = 1,497 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Př.:** Dvě tlakové nádoby jsou spojeny trubicí s uzavřeným kohoutem. V první nádobě objemu  $V_1 = 50 \text{ l}$  je plyn o tlaku  $p_1 = 15 \text{ MPa}$ . Ve druhé nádobě o objemu  $V_2 = 7 \text{ l}$  je tlak  $p_2 = 1 \text{ MPa}$ . Jaký tlak se ustálí v obou nádobách při nezměněné teplotě  $T$ , jestliže otevřeme spojovací kohout?

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

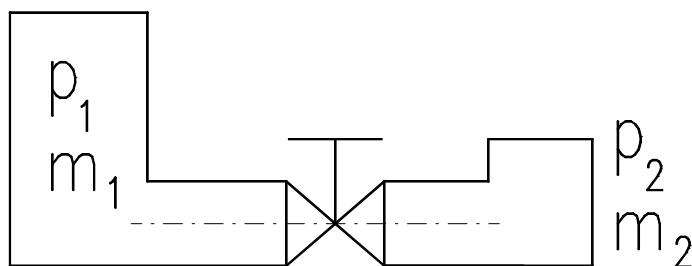
$$m_1 + m_2 = m$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{r \cdot T_1} + \frac{p_2 \cdot V_2}{r \cdot T_2} = \frac{p \cdot (V_1 + V_2)}{r \cdot T}$$

$$T_1 = T_2 = T$$

$$p_1 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_2 = p \cdot (V_1 + V_2)$$

$$p = \frac{p_1 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{15 \cdot 50 + 7 \cdot 1}{50 + 7} = 13,28 \text{ MPa}$$



## Technická práce

Tvar prvního zákona termodynamiky ( $U_2 - U_1 = Q - W$ ) není výhodný pro termodynamické výpočty technických zařízení. Zde používáme 2. tvar prvního zákona termodynamiky, který můžeme odvodit tak, že k levé i pravé straně rovnice připočteme výraz

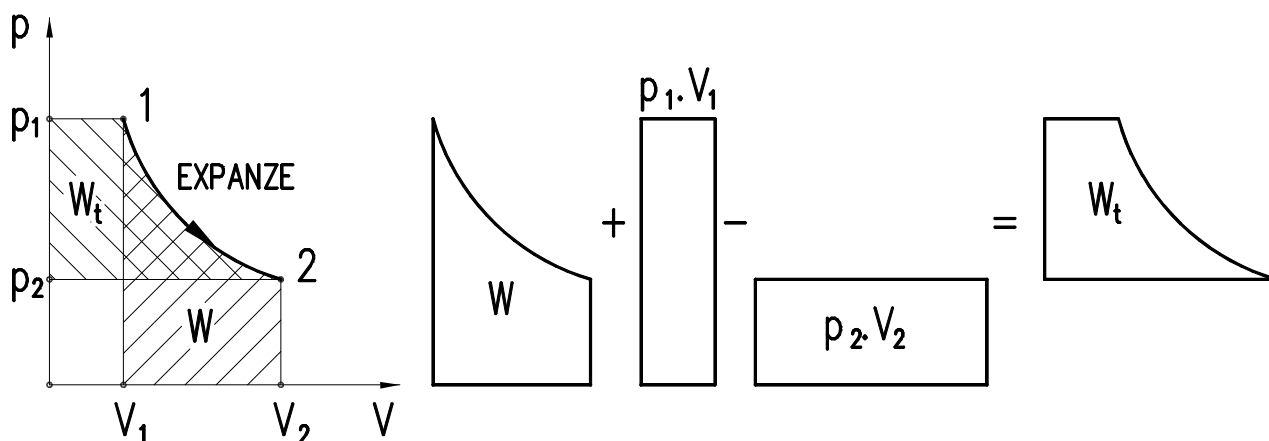
$$p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1$$

$$U_2 + V_2 \cdot p_2 - U_1 - V_1 \cdot p_1 = Q - W + p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1$$

$$U_2 + p_2 \cdot V_2 - (U_1 + p_1 \cdot V_1) = Q - (W - p_2 \cdot V_2 + p_1 \cdot V_1)$$

Přičemž výraz  $W + p_1 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2 = W_t$  = technická práce  $W_t$

Technická práce  $W_t$  je v  $p - V$  diagramu **vyjádřena plochou pod křivkou změny stavu směrem na osu tlaku.**



Výraz  $p \cdot V$  vyjadřuje tlakovou energii  $m$  [kg] plynu.

Součet vnitřní energie  $U$  a tlakové energie  $p \cdot V$  nazýváme **entalpie**, kterou označujeme  $I$ .

Potom 2. tvar prvního zákona termodynamiky zní:

$$I_2 - I_1 = Q - W_t$$

Pro 1 kg platí:  $\Delta i = i_2 - i_1 = q - w_t$

Entalpie  $i$  podobně jako vnitřní energie ideálního plynu  $u$  závisí pouze na teplotě plynu.

$$i = c_p \cdot T$$

Vztah mezi vnitřní energií a entalpií je:

$$\frac{i}{u} = \frac{c_p \cdot \Delta T}{c_v \cdot \Delta T} = \frac{c_p}{c_v} = \kappa$$

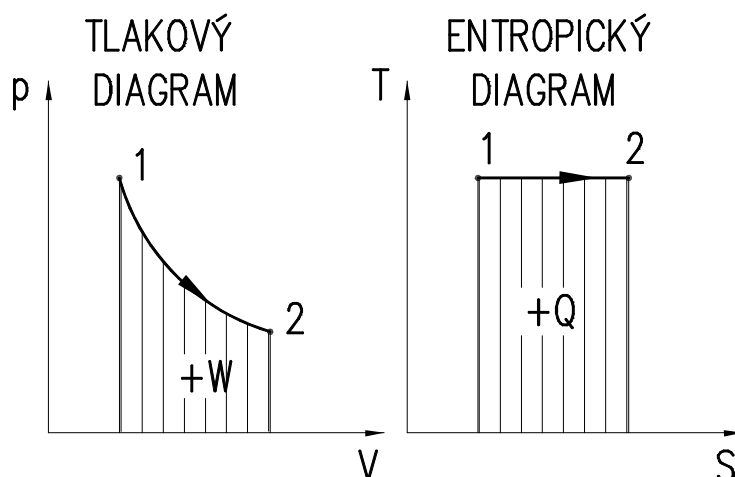
( $\kappa$  – [kapa] Poissonova konstanta nebo-li adiabatický exponent).

## Entropie (S, s)

Entropii označujeme  $S$  a její změnu můžeme vyjádřit jednoduše jen v těch výjimečných případech, kdy se u sdílení tepla teplota nemění. Např. při izotermické kompresi nebo expanzi a při změnách skupenství. Změna entropie je v těchto případech dána podílem tepla a absolutní teploty.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

Entropie nám umožňuje znázornit množství tepla dodaného nebo odvedeného při určité změně stavu. V  $p - V$  diagramu plocha pod křivkou vyjadřuje práci, v entropickém diagramu  $T - S$  plocha vyjadřuje množství sdíleného tepla.



Přivedené teplo  $+Q$  je v  $T - S$  diagramu znázorněno plochou, kterou objíždíme ve směru chodu hodinových ručiček.

Vnitřní energie  $u$ , entalpie  $i$  a entropie  $s$  jsou tzv. odvozené stavové veličiny, které se nedají měřit.

Pracujeme s jejich přírůstky  $\Delta u$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta i$ .

$+W$  – práce získaná, odebraná  $\Delta u = q - w$ ;

$-W$  – práce spotřebovaná, přivedená  $\Delta u = q + w$ ;

$+Q$  – teplo přivedené;

$-Q$  – teplo odvedené.

## 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.