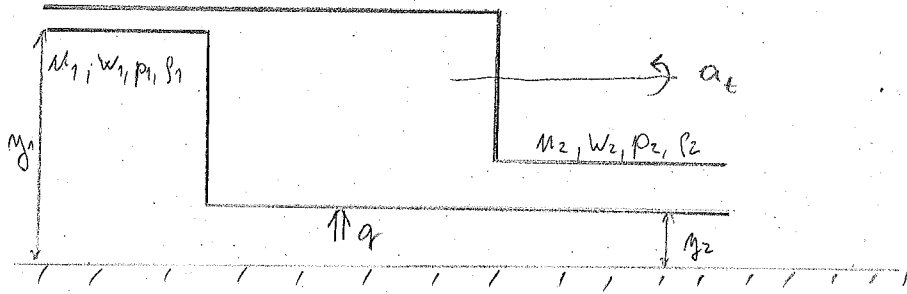


DYNAMIKA PROUDÍCÍCH PLYNŮ

1. ZÁKON TERMODYNAMIKY PRO KONTROLNÍ OBJEM



$$g \cdot y_1 + \frac{w_1^2}{2} + \underbrace{\frac{p_1}{\rho_1} + m_1}_{h_1} + q - a_t = g \cdot y_2 + \frac{w_2^2}{2} + \underbrace{\frac{p_2}{\rho_2} + m_2}_{h_2}$$

$$\frac{p}{\rho} = p \cdot v$$

$$h = m + p \cdot v$$

$$q = g(y_2 - y_1) + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + (h_2 - h_1) + a_t$$

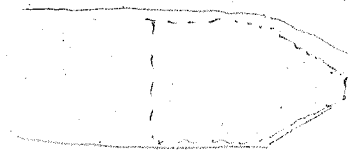
$$dq = g \cdot dy + w \cdot dw + dh + da_t$$

PŘEDPOKLAD : PROUDĚNÍ JE VE VODROZOVINĚ ROVINĚ : $dy = 0$
 BEZ PŘÍVODU TĚPLA : $dq = 0$
 NEJÍ ODVÁDĚNA PRÁCE : $da_t = 0$

$$0 = w \cdot dw + dh$$

$$-dh = w \cdot dw$$

$$h_1 - h_2 = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$



$$w_2 = \sqrt{2 \cdot (h_1 - h_2) + w_1^2}$$

$w_1 = 0$; VÝTOK Z NÁDOBY

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot (h_1 - h_2)}$$

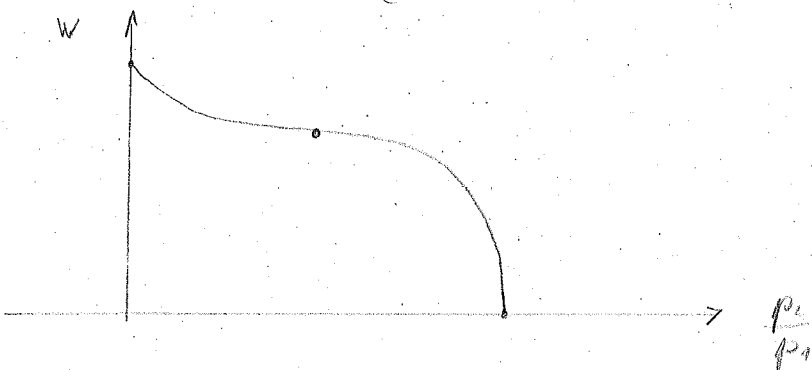
$$h = c_p \cdot T$$

$$h_1 - h_2 = c_p \cdot (T_1 - T_2) = \frac{\kappa \cdot v}{\kappa - 1} (T_1 - T_2)$$

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa \cdot v}{\kappa - 1} (T_1 - T_2)} = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa \cdot v}{\kappa - 1} T_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \text{ PRO } dq = 0$$

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa \cdot v}{\kappa - 1} T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}\right]}$$



KRITICKÁ RYCHLOST \rightarrow w_k JE TAKOVÁ RYCHLOST w_2 , KTERÁ JE ROVNA RYCHLOSTI ZVUKU a_2

RYCHLOST ZVUKU $a = \sqrt{\gamma r T}$

KRITICKÁ RYCHLOST

$$|w_k = w_2 = a_2| = \sqrt{2 \frac{\gamma r}{\gamma-1} T_1 - 2 \frac{\gamma r T_2}{\gamma-1}}$$

$$= \sqrt{2 \frac{\gamma r}{\gamma-1} T_1 - 2 \frac{a_2^2}{\gamma-1}}$$

$$w_k^2 = 2 \frac{\gamma r}{\gamma-1} T_1 - 2 \frac{a_2^2}{\gamma-1} = w_k^2$$

$$w_k^2 + \frac{2w_k^2}{\gamma-1} = 2 \frac{\gamma r}{\gamma-1} T_1$$

$$w_k^2 \left(1 + \frac{2}{\gamma-1}\right) = 2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma-1}$$

$$w_k^2 \left(\frac{\gamma-1+2}{\gamma-1}\right) = 2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma-1}$$

$$w_k^2 \left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right) = 2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma-1}$$

$$w_k^2 = 2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma-1} \cdot \frac{\gamma-1}{\gamma+1}$$

$$w_k = \sqrt{2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma+1}}$$

KRITICKÝ TLAKOVÍ SPAD

$$w_k = w_2$$

$$\sqrt{2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma+1}} = \sqrt{2 \frac{\gamma r T_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]}$$

$$\frac{1}{\gamma+1} = \frac{1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]$$

$$\frac{\gamma-1}{\gamma+1} = 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}$$

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_k^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{\gamma+1 - \gamma + 1}{\gamma+1} = \frac{2}{\gamma+1} \Rightarrow \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_k = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

VEDUCH O TLAKU 1,1 MPa A TEPLOTĚ 27°C VTEKA LAVALOVOU DÝZOU DO PROSTŘEDÍ O TLAKU 0,114 MPa. NEJUŽŠÍ PRŮŘEZ DÝZY MÁ PRŮMĚR 0,04 m. ZA JAKOU DOBU VTEČE 250 kg VEDUCIN A JAKÁ BŮDE VÝTOKOVÁ RYCHLOST? VSTUPNÍ RYCHLOST ZANEEDBEŽTE

$$p_1 = 1,1 \text{ [MPa]}$$

$$t_1 = 27 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p_2 = 0,114 \text{ [MPa]}$$

$$d_n = 0,04 \text{ [m]}$$

$$M_v = 250 \text{ [kg]}$$

TLAKOVÝ POMĚR

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} = 0,104 < \beta^* \text{ - NADKRITICKÉ PŘEVODĚNÍ}$$

$$\beta^* = \left(\frac{2}{\alpha + 1} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha - 1}} = 0,528$$

KRITICKÁ TLAK: $p_k = p_1 \cdot \beta^* = 0,582 \text{ [MPa]}$

KRITICKÁ RYCHLOST: $w_k = \sqrt{2 \frac{\alpha}{\alpha + 1} \cdot R \cdot T_1} = 316,94 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$

VÝTOKOVÁ RYCHLOST: $w_2 = \sqrt{2 \frac{\alpha}{\alpha + 1} \cdot R \cdot T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\alpha - 1}{\alpha}} \right]} = 558,5 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$

KRITICKÝ MĚRNÝ OBJEM $V_k = V_1 \left(\frac{p_1}{p_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = \frac{R \cdot T_1}{p_1} \left(\frac{p_1}{p_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = 0,0906 \text{ [m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$

PŘÍTOČNÉ MNOŽSTVÍ VEDUCIN:

$$\dot{m} = \dot{V}_k \cdot \rho_k = \frac{S_k \cdot w_k}{4} = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot \frac{w_k}{V_k} = 4,397 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

DOBA VÝTOKU

$$\tau = \frac{M_v}{\dot{m}} = 57 \text{ [s]}$$

NAVREHNĚTE DÍZU PRO TUKOVÝ POMĚR $\frac{p_2}{p_1} = 0,8$. DÍZOU BUDOU PROTĚKAT 4 kg VEDUCHU ZA SEKUNDU. POČÁTEČNÍ TLAK JE 3 MPa a TEPLOTA 300°C. URČETE NEJMENŠÍ PRŮŘEZ DÍZY. ZANEDBAVEJTE VYCHLOST NA VSTUPU

$$\beta = 0,8$$

$$\dot{m} = 4 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$p_1 = 3 \text{ [MPa]}$$

$$t_1 = 300 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$\beta^* < \beta$ - PODKRITICKÉ PROUDĚNÍ

$$\dot{m} = \rho_2 \cdot S_2 \cdot w_2 \Rightarrow S_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 \cdot w_2} = \pi \frac{d_2^2}{4}$$

$$p_1 \cdot v_1^{\kappa} = p_2 \cdot v_2^{\kappa}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1^{\kappa}} = \frac{p_2}{\rho_2^{\kappa}} \Rightarrow \rho_2 = \rho_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = \frac{p_1}{R \cdot T_1} \beta^{\frac{1}{\kappa}} = 15,55 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$$w_2 = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa-1} R \cdot T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} = 266,4 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \rho_2 \cdot w_2}} = 0,035 \text{ [m]}$$