

Přílohy

Příloha 1: Řešení úlohy

P1 - §1:

Při výpočtu je zde vycházeno z rovnic pro trysku odvozených pro ideální plyn a proudění beze ztrát. Jedná se o metodickou úlohu kdy lze postupovat při výpočtu požadovaných veličin v pořadí tak, jak jsou uvedeny v zadání tedy nejprve rozhodneme zda nastane kritické proudění, pak provedeme výpočet rychlosti na výtoku a nakonec vypočítáme hmotnostní tok tryskou.

Zadané parametry úlohy jsou:

V_i	p_i	t_i	p_c	A_c	C_p	r	κ
250	1	350	0,25	15	1,01	287	1,4

V [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]; p [MPa]; t [$^{\circ}\text{C}$]; A [cm^2]; C_p [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]; r [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]; κ [1]

P1 - §2:

To jestli proudění v trysce je kritické zjistíme tak, že porovnáme celkový tlakový poměr trysky ε_s s kritickým tlakovým poměrem pro suchý vzduchu ε_s^* . Lze také snadněji vycházet i z tlakového poměru statických tlaků trysky ε , který lze snadno zjistit ze zadání, jestliže tento bude menší než tlakový poměr ε_s^* , tak je jisté, že ke kritickému proudění dojde, protože platí $\varepsilon_s > \varepsilon$.

Kritický tlak pro suchý vzduch lze odečíst z Tabulky 4:

ε_s^*
0,5283
[1]

P1 - §3:

Kritický tlakový poměr ze statických tlaků ε lze vypočítat pomocí Rovnice 5 dosazením do čitatele tlaku p_i místo p_{is} :

ε
0,25
[1]

P1 - §4:

Platí $\varepsilon < \varepsilon_s^*$ to znamená, že nastanou kritické podmínky, proto veličiny na výstupu z trysky opatříme indexem *, aby bylo zřejmé, že se jedná v tomto místě o kritický stav.

P1 - §5:

Při výpočtu výtokové rychlosti V_c lze vycházet z Rovnice 1b. V tomto případě je nutné stanovit celkovou absolutní teplotu T_{is} , tlakový poměr v ústí trysky bude kritický.

Celkovou teplotu t_{is} vypočítáme pomocí definiční rovnice celkové entalpie h_s (viz také Obrázek 1) rovnice pro výpočet entalpie jako funkce teploty tepelné kapacity při stálém tlaku [Škorpík, 2024]:

$$h_{is} = h_i + \frac{V_i^2}{2},$$

$$C_p \cdot t_{is} = C_p \cdot t_i + \frac{V_i^2}{2},$$

$$t_{is} = t_i + \frac{V_i^2}{C_p \cdot 2}.$$

t_{is}	T_{is}	V_c^*
380,94	654,09	467,97

t [$^{\circ}\text{C}$]; T [K]; V [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

P1 - §6:

Jestliže v trysce bude dosaženo kritického stavu, pak lze pro hmotnostní tok tryskou použít Rovnici 7.

Průtokový faktor χ_{\max} lze odečíst opět z Tabulky 4:

χ_{\max} 0,6847 [1]

Celkový tlak na vstupu do trysky p_{is} lze vypočítat z rovnice izoentropie a stavové rovnice ideálních plynů [Škorpík, 2024]:

$$\rho_{is} \cdot v_{is}^{\kappa} = \rho_i \cdot v_i^{\kappa}, v = \frac{r \cdot T}{p} \Rightarrow \rho_{is} = \rho_i \left(\frac{T_{is}}{T_i} \right)^{\frac{\kappa}{1-\kappa}}.$$

Ze stavové rovnice ideálního plynu lze také vypočítat měrný objem v_{is} :

p_{is} v_{is} m^* 1,1848 158,44 2,8086 p [MPa]; v [dm ³ ·kg ⁻¹]; m [kg·s ⁻¹]

Příloha 2: Řešení úlohy

P2 - §1:

Při výpočtu je zde vycházeno z rovnic pro trysku odvozených pro ideální plyn a proudění beze ztrát. Pro výpočet rozměrů K-D trysky jsou použity Rovnice 13.

Zadaný parametr úlohy je:

α 10 α [°]

P2 - §2:

Pro výpočet poloměru trysky, respektive její délky je nutné znát průtočný průřez na vstupu (viz Úloha 1) a na výstupu, který lze vypočítat z hmotnostního průtoku tryskou, parametrů plynu (Úloha 1) a rovnice kontinuity pro trysku (Rovnice 3). Stavové veličiny jsou počítány podle rovnic pro ideální plyn (rovnice izoentropie, stavová rovnice) [Škorpík, 2024], takže pro měrný objem v_e lze psát:

$$\rho_{is} \cdot v_{is}^{\kappa} = \rho_e \cdot v_e^{\kappa} \Rightarrow v_e = v_{is} \left(\frac{\rho_{is}}{\rho_e} \right)^{\frac{1}{\kappa}}.$$

A^*	m^*	κ	p_{is}	v_{is}	p_e	ε_s	r^*	V_e
15	2,8086	1,4	1,1848	158,44	0,25	0,2110	2,1851	686,73
v_e	A_e	r_e	r_r	t	r_t	l		
481,40	19,689	2,5034	0,8347	0,0727	2,1883	3,6747		

A [cm²]; m [kg·s⁻¹]; κ [1]; p [MPa]; v [dm³·kg⁻¹]; ε [1]; r, t, l [cm]; V [m·s⁻¹]

Machovo číslo i rychlost zvuku lze vypočítat podle v rovnic:

P2 - §3:

$$a_e = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_e}; M_e = \frac{V_e}{a_e}.$$

Příčemž za součin $r \cdot T_e$ lze dosadit ze stavové rovnice plynu i $p_e \cdot v_e$:

a_e M_e 410,48 1,6730 a [m·s ⁻¹], M [1]
