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 vypočtu požadovaných veličin v pořadí tak, jak jsou uvedeny v zadání, tedy nejprve rozhodneme zda nastane kritické prouděním, pak provedeme výpočet rychlosti na výtoku a nakonec vypočítáme hmotnostní tok tryskou.

Zadané parametry úlohy jsou:

V_i	p_i	t_i	p_e	A_e	c_p	r	κ
250	1	350	0,25	15	1,01	287	1,4

V [m·s^{-1}]; p [MPa]; t [°C]; A [cm²]; c_p [kJ·kg^{-1}·K^{-1}]; r [J·kg^{-1}·K^{-1}]; κ [1]

P1-§2: Zda je proudění v trysce kritické zjistíme tak, že porovnáme celkový tlakový poměr trysky ε_s s kritickým tlakovým poměrem pro suchý vzduchu ε^*_s. Lze také vycházet i z tlakového poměru statických tlaků trysky ε. Jestliže je statický tlakový poměr ε menší než tlakový poměr ε^*_s, tak je jisté, že ke kritickému proudění dojde.

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_e 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^*_e
380,94	654,09	467,97

t [°C]; T [K]; V [m·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 z Tabulky 4:

χ_{max}
0,6847

[1]

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

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

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 Lavalovy 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 toku tryskou, parametrů plynu (Úloha 1) a rovnice kontinuity pro trysku (Rovnice 3). Stavové veličiny jsou počítány podle rovnic pro ideální plyn (rovnice izoentropy, stavová rovnice) [Škorpík, 2024], takže pro měrný objem v_e lze psát:

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

A^*	$\dot{m}$	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 [dm^3·kg^{-1}]; ε [1]; r, t, l [cm]; V [m·s^{-1}]

P2-§3: Machovo číslo i rychlost zvuku lze vypočítat podle v rovnic:

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

Přičemž 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]