102

Řešení Úlohy 102

Zadané parametry úlohy jsou:

$c_0=250\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $p_i=1\ \mathrm{MPa}$; $T_i=623{,}15\ \mathrm{K}$; $p_e=0{,}25\ \mathrm{MPa}$; $A_e=0{,}0015\ \mathrm{m^2}$; $c_p=1{,}01\ \mathrm{kJ\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$; $r=287\ \mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$; $\kappa=1{,}4$.

Nejdříve stanovení zda dojde ke kritickému proudění, pro které musí platit podmínka [40.115]:

$$\varepsilon_c\leq\varepsilon^*.$$

$$\varepsilon_c=\frac{p}{p_{ic}}.$$

Celkový tlak na vstupu do trysky p_{ic} se vypočítá pomocí rovnice izoentropy [43.945] a stavové rovnice plynu. Protože platí $p_{ic}>p_i$ musí platit pro tlakové poměry $p/p_{ic}<p/p_i$, jestliže poměr $p/p_i\leq p^*$ potom, lze říci, že na výtoku z trysky nastane kritické proudění aniž by byl znám tlakový poměr z celkového stavu. V tomto případě je tlakový poměr ze statických tlaků roven *0,25* z čehož plyne, že nastane kritické proudění. Pro úplnost, je zde proveden celkového tlaku:

$$p_{ic}\cdot v_{ic}^{\kappa}=p_i\cdot v_i^{\kappa}.$$

Rovnice pro měrné objemy vychází ze stavové rovnice [43.955]:

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

$$p_{ic}\left(\frac{r\cdot T_{ic}}{p_{ic}}\right)^{\kappa}=p_i\cdot\left(\frac{r\cdot T_i}{p_i}\right)^{\kappa},$$

$$p_{ic}^{(1-\kappa)}T_{ic}^{\kappa}=p_i^{(1-\kappa)}\cdot T_i^{\kappa},$$

$$p_{ic}=p_i\left(\frac{T_i}{T_{ic}}\right)^{\frac{\kappa}{1-\kappa}}.$$

Celková teplota T_{ic} se určí z i-s diagramu respektive z entalpie, kdy měrná kinetická energie vzduchu odpovídá rozdílu entalpie, tak jak je znázorněno na obrázku [40.101]:

$$i_{ic}-i_i=\frac{c_i^2}{2}\Rightarrow i_{ic}=i_i+\frac{c_i^2}{2}.$$

Entalpii lze zapsat jako součin měrné tepelné kapacity plynu při konstantním tlaku a teploty podle vzorce [43.966]:

$$c_p\cdot t_{ic}=c_p\cdot t_i+\frac{c_i^2}{2},$$

$$t_{ic}=t_i+\frac{c_i^2}{c_p\cdot 2}=380{,}9406\ \mathrm{^\circ C}.$$

$$p_{ic}=1{,}1848\ \mathrm{MPa}.$$

$$\varepsilon_c=0{,}211.$$

Kritický tlakový poměr podle vzorce [40.515]:

$$\varepsilon_c^*=\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}=0{,}5283.$$

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

Kritická rychlost podle vzorce [40.516]:

$$c^*=\sqrt{\frac{2\cdot\kappa}{\kappa+1}r\cdot T_{ic}}=467{,}9865\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}.$$

Kritický hmotnostní tok tryskou podle

vzorce [40.516]:

$$\dot{m}^* = A_e \sqrt{\frac{p_{ic}}{v_{ic}}} \chi_{max},$$

$$\chi_{max} = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1}} = 0{,}6847$$

Celkový měrný objem plynu na vstupu ze stavové rovnice:

$$v_{ic} = \frac{r \cdot T_{ic}}{p_{ic}} = 0{,}1584 \ \ m^3 \cdot kg^{-1}.$$

$$\dot{m}^* = 2{,}8087 \ \ kg \cdot s^{-1}.$$