Příklad č. 3:

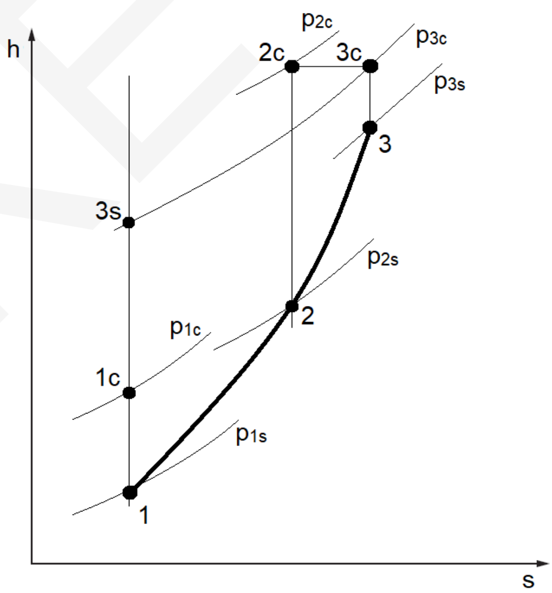
Vzduch o celkové teplotě *22°C* vstupuje do oběžného kola (OK) radiálního kompresoru v axiálním směru. Hmotnostní průtok vzduchu kompresorem je *2 kg/s*. OK tvoří 17 radiálních lopatek ($\beta'_2 = 0$) a otáčí se rychlostí *15 000 ot/min*. Celkový stupeň stlačení kompresoru je *4,2* a celková účinnost *83%*. Hustota vzduchu na výstupu z OK je *2 kg/m³* a axiální šířka na vstupu do difuzoru je *11 mm*. Vlastnosti pracovní látky odpovídají ideálnímu plynu. Pro odhad součinitele skluzu (μ) využijte korelaci dle *Stanitze*.

Vypočítejte:

a) výstupní poloměr z OK (r_2),

b) výstupní absolutní Machovo číslo na výstupu z OK $\left(Ma_{c_2}\right)$.

Vstupní celková teplota	t_{1c}	22 °C
Otáčky oběžného kola	n	15000 min^{-1}
Celkový stupeň stlačení kompresoru	π_c^K	4,2
Celková účinnost kompresoru („*T-T*“)	η_c^K	83%
Hustota na výstupu z oběžného kola	ρ_2	2 kg/m^3
Hmotnostní průtok vzduchu	$\dot{m}$	2 kg/s
Axiální šířka OK před difuzorem	b_2	11 mm
Počet lopatek oběžného kola	z	17



ŘEŠENÍ

a) Pro výpočet výstupního poloměru OK je potřebné znát úhlovou a obvodovou rychlost oběžného kola. Úhlová rychlost je funkcí otáček, které jsou zřejmé ze zadání.

$$u_2 = \omega r_2 \;\rightarrow\; r_2 = \frac{u_2}{\omega}; \;\; \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 15000}{60} = 1570\, rad \cdot s^{-1}$$

Neznámou obvodovou rychlost u_2 odvodíme z definice měrné práce a celkové účinnosti kompresoru. Celková účinnost a měrná práce radiálního kompresoru bude dle označení v *„h-s"* diagramu:

$$\eta_c^K = \frac{h_{3s} - h_{1c}}{h_{3c} - h_{1c}}; \;\; h_{3c} = h_{2c} \;\rightarrow\; \eta_c^K = \frac{h_{3s} - h_{1c}}{h_{2c} - h_{1c}} \tag{3.1}$$

$$a^K = h_{2c} - h_{1c} = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}; \;\; c_{1u} = 0 \;\rightarrow\; a^K = u_2 c_{2u} \tag{3.2}$$

Při výpočtu obvodové složky výstupní absolutní rychlosti z OK (c_{2u}) je potřebné zohlednit vliv skluzu (*„slip factor"*).

$$c_{2u} = u_2 \mu$$

Odhad součinitele skluzu (μ) dle *Stanitze*:

$$\mu^{Stanitz} = 1 - \frac{0{,}63\pi}{z \cdot \left(1 - \varepsilon \cot \beta_2^{'}\right)}; \;\; \beta_2^{'} = 0 \;\rightarrow\; \mu^{Stanitz} = 1 - \frac{0{,}63\pi}{z} = 1 - \frac{0{,}63\pi}{17} = 0{,}8836$$

Rovnice (3.1) se upraví dle následujících kroků a vyjádří se hledaná obvodová rychlost u_2.

$$\eta_c^K = \frac{c_p (T_{3s} - T_{1c})}{u_2^2 \mu} = \frac{c_p T_{1c} \left[(\pi_c^K)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]}{u_2^2 \mu^{Stanitz}} \;\rightarrow\; u_2 = \sqrt{\frac{c_p T_{1c} \left[(\pi_c^K)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]}{\mu^{Stanitz} \eta_c^K}}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{1005 * 295{,}15 * \left(4{,}2^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} - 1\right)}{0{,}8836 * 0{,}83}} = 452{,}76\, ms^{-1}$$

V této chvíli je možné dopočítat hledaný poloměr OK.

$$r_2 = \frac{u_2}{\omega} = \frac{452{,}76}{1570} = \mathbf{0{,}2884\, m}$$

b) Machovo číslo je obecně poměr příslušné rychlosti k místní rychlosti zvuku, kterou pro ideální plyn lze vypočítat pomocí vztahu (3.4).

$$Ma_{c_2} = \frac{c_2}{a_2} \tag{3.3}$$

$$a_2 = \sqrt{\kappa r T_2} \tag{3.4}$$

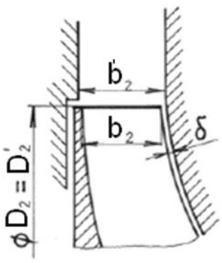
Výstupní absolutní rychlost z OK je dána vektorovým součtem obvodové a radiální složky absolutní rychlosti. Obvodovou složku absolutní rychlosti je možné vypočítat na základě předcházejících vztahů.

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2r}^2}$$

Radiální složku absolutní rychlosti lze spočítat z rovnice kontinuity, ve které je známý jak hmotnostní průtok pracovní látky, tak hustota i geometrické parametry pro určení průtočné plochy.

$$\dot{m} = \rho_2 S_2 c_{2r} \;\; \rightarrow \;\; c_{2r} = \frac{\dot{m}}{\rho_2 S_2}; \;\; S_2 = 2\pi r_2 b_2$$

$$c_{2r} = \frac{2}{2 * 2\pi * 0{,}2884 * 0{,}011} = 50{,}19\, ms^{-1}$$



$$c_2 = \sqrt{(u_2\mu)^2 + c_{2r}^2} = \sqrt{(452{,}76 * 0{,}8836)^2 + 50{,}19^2} = 403{,}19\, ms^{-1}$$

Výstupní statická teplota T_2 z rovnice (3.4) pro výpočet rychlosti zvuku se odvodí z definice měrné práce kompresoru (viz 3.2).

$$h_{2c} = a^K + h_{1c}; \;\; a^K = u_2^2\mu$$

$$h_2 + \frac{1}{2}c_2^2 = u_2^2\mu + h_{1c} \;\; \rightarrow \;\; h_2 = u_2^2\mu + h_{1c} - \frac{1}{2}c_2^2$$

$$c_p T_2 = u_2^2\mu + c_p T_{1c} - \frac{1}{2}c_2^2 \;\; \rightarrow \;\; T_2 = T_{1c} + \frac{1}{c_p}\left(u_2^2\mu - \frac{c_2^2}{2}\right)$$

$$T_2 = 295{,}15 + \frac{1}{1005} * \left(452{,}76^2 * 0{,}8836 - \frac{403{,}19^2}{2}\right) = 394{,}5\, K$$

Výstupní absolutní Machovo číslo z OK bude tedy dle rovnice 3.3:

$$Ma_{c_2} = \frac{c_2}{a_2} = \frac{403{,}19}{\sqrt{1{,}4 * 287{,}04 * 394{,}5}} = \mathbf{1{,}01}$$