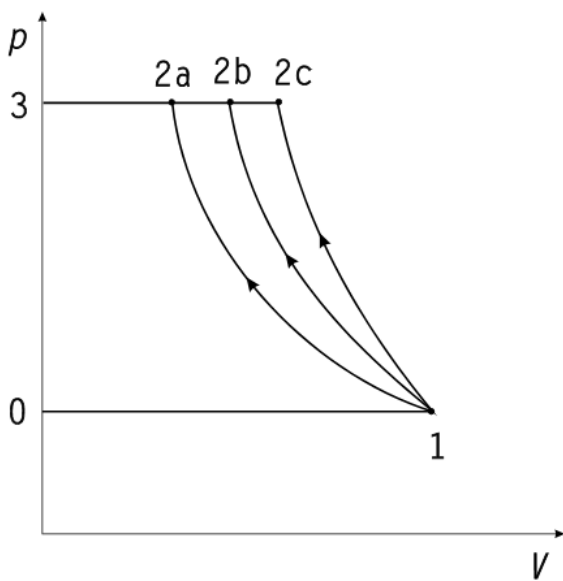


W idealnej sprężarce tłokowej sprężane jest $\dot{V}_u = 5000 \text{ um}^3/\text{h}$ powietrza od stanu $t_1 = 15 \text{ °C}$, $p_1 = 0,98 \text{ bar}$ do ciśnienia $p_2 = 7,5 \text{ bar}$. Ile wynosi teoretyczna moc napędowa sprężarki N_t , gdy proces kompresji jest: a) izotermiczny, b) politropowy przy $z = 1,22$, c) izentropowy? Jaka wysokość osiąga temperatura czynnika na końcu sprężania t_2 i jakie jest zapotrzebowanie na wodę chłodzącą \dot{m}_w dla tych trzech przypadków. Do obliczeń przyjąć wykładnik izentropy dla powietrza $\kappa = 1,4$, ciepło właściwe wody $c_w = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ oraz przyrost temperatury wody chłodzącej $\Delta T_w = 8 \text{ K}$.



Moc napędowa sprężarki podczas kompresji:

- izotermicznej

$$N_{ta} = \dot{n}(MR)T_1 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

- politropowej

$$N_{tb} = \dot{n}(MR)T_1 \frac{z}{z-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{z-1}{z}} \right] \quad (2)$$

- izentropowej

$$N_{ic} = \dot{n}(MR)T_1 \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right] \quad (3)$$

Temperatura bezwzględna powietrza na początku kompresji

$$T_1 = t_1 + 273 = 15 + 273 = 288 \text{ K}$$

Strumień substancji sprężanego gazu w kmol/s

$$\dot{n} = \frac{\dot{V}_u}{(Mv_u)} = \frac{5000}{3600 \cdot 22,71} = 0,06116 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

gdzie $(Mv_u) = 22,71 \text{ um}^3/\text{kmol}$ jest objętością 1 kmol dowolnego gazu doskonałego lub półdoskonałego w warunkach umownych 1 bar, 0°C. Po podstawieniu wartości liczbowych do wzorów (1) - (3) otrzymujemy

$$N_{ia} = 0,06116 \cdot 8314 \cdot 288 \cdot \ln \frac{0,98}{7,5} = - 298,0 \cdot 10^3 \text{ W} = - 298,0 \text{ kW}$$

$$N_{ib} = 0,06116 \cdot 8314 \cdot 288 \cdot \frac{1,22}{1,22 - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{7,5}{0,98} \right)^{\frac{1,22 - 1}{1,22}} \right] = - 360,1 \cdot 10^3 \text{ W} = - 360,1 \text{ kW}$$

$$N_{ic} = 0,06116 \cdot 8314 \cdot 288 \cdot \frac{1,4}{1,4 - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{7,5}{0,98} \right)^{\frac{1,4 - 1}{1,4}} \right] = - 404,2 \cdot 10^3 \text{ W} = - 404,2 \text{ kW}$$

Znak minus oznacza, że praca jest dostarczana do gazu. Praca napędowa sprężarki jest w interpretacji geometrycznej polem ograniczonym krzywą kompresji, odciętymi przechodzącymi przez końce tej krzywej i osią rzędną. Na rysunku powyżej widać, że zgodnie z wynikami obliczeń najmniejsze pole 012a3 odpowiada kompresji izotermicznej, a największe pole 012c3 odpowiada kompresji izentropowej. Temperatura końca kompresji dla przemiany

- izotermicznej

$$T_{2a} = T_1 = 288 \text{ K}$$

- politropowej

$$T_{2b} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{z-1}{z}} = 288 \cdot \left(\frac{7,5}{0,98} \right)^{\frac{1,22-1}{1,22}} = 415,7 \text{ K}$$

- izentropowej

$$T_{2c} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 288 \cdot \left(\frac{7,5}{0,98} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 515,1 \text{ K}$$

Strumień ciepła odprowadzanego podczas kompresji

- izotermicznej

$$\dot{Q}_{1-2a} = N_{ta} = -298,0 \cdot 10^3 \text{ W} = -298,0 \text{ kW}$$

- politropowej

$$\dot{Q}_{1-2b} = \dot{n}(Mc)(T_2 - T_1) \quad (4)$$

- izentropowej

$$\dot{Q}_{1-2c} = 0$$

Molowe ciepło właściwe politropy

$$(Mc) = (Mc_v) \frac{z - \kappa}{z - 1} \quad (5)$$

gdzie zgodnie z prawem ekwipartycji energii, dla powietrza traktowanego jak dwuatomowy gaz doskonały, molowe ciepło właściwe przy stałej objętości jest równe

$$(Mc_v) = \frac{5}{2}(MR) = \frac{5}{2} \cdot 8314 = 20,78 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \quad (6)$$

Po podstawieniu (6) do (5) otrzymujemy

$$(Mc) = 20,78 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,22 - 1,4}{1,22 - 1} = -17,00 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

Znak minus przy ciepłe właściwym politropy oznacza, że mimo odprowadzania ciepła temperatura gazu wzrasta. Teraz już możemy obliczyć strumień ciepła chłodzenia podczas kompresji politropowej z zależności (4)

$$\dot{Q}_{1-2b} = 0,06116 \cdot (-17,00 \cdot 10^3) \cdot (415,7 - 288) = -132,8 \cdot 10^3 \text{ W} = -132,8 \text{ kW}$$

Zapotrzebowanie na wodę chłodzącą podczas kompresji

- izotermicznej

$$\dot{m}_{wa} = \frac{|\dot{Q}_{1-2a}|}{c_w \Delta T_w} = \frac{298,0}{4,19 \cdot 8} = 8,89 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- politropowej

$$\dot{m}_{wb} = \frac{|\dot{Q}_{1-2b}|}{c_w \Delta T_w} = \frac{132,8}{4,19 \cdot 8} = 3,96 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- izentropowej

$$\dot{m}_{wc} = 0$$

Wnioski:

1. Najmniejsze zapotrzebowanie na moc napędową jest podczas kompresji izotermicznej.
2. Największy przyrost temperatury gazu jest podczas kompresji izentropowej.
3. Największe zapotrzebowanie na wodę chłodzącą jest podczas przemiany izotermicznej.