

Áramlástechnikai gépek fajlagos munkája

(2. fejezet)

1. Gázt 1 bar abszolút nyomásról 4 bar túlnyomásra sűrítünk, a gázállandó 288 J/kgK, az állandó nyomáson mért fajhő $c_p = 1000$ J/kgK. A sűrítési folyamatot leíró politropa kitevője $n = 1,5$. Határozza meg az izotermikus hasznos munkát és az izotermikus hatásfokot. A beszívott gáz sűrűsége $1,16$ kg/m³. A $h_0 \approx h$ közelítés elfogadható.

Megoldás:

$$p_2 = 4 + 1 = 5 \text{ bar}$$

Az izotermikus hasznos munka:

$$Y_{h,izot} = \frac{p_1}{\rho_1} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) = \frac{10^5}{1.16} \ln \left(\frac{5}{1} \right) = 138.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Mivel az állapotváltozás politropikus, így

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \frac{p_1}{R \rho_1} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \frac{10^5}{288 \times 1.16} \left(\frac{5}{1} \right)^{\frac{1.5-1}{1.5}} = 511.8 \text{ K},$$

ahol felhasználtuk az ideális gáztörvényt: $T_1 = \frac{p_1}{R \rho_1}$. Végül a bevezetett munka és az

izotermikus hatásfok:

$$Y_{bev} = c_p (T_2 - T_1) = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (511.8 \text{ K} - 299.3 \text{ K}) = 212.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{izot} = \frac{Y_{h,izot}}{Y_{bev}} = \frac{138.7}{212.5} = 65.3 \%$$

2. Gázt 1 bar abszolút nyomásról 4 bar túlnyomásra sűrítünk, a gázállandó 288 J/kgK, az állandó nyomáson mért fajhő $c_p = 1000$ J/kgK. A sűrítési folyamatot leíró politropa kitevője $n = 1,5$. Mekkora a κ kitevő? (1,404) Határozza meg az izentrópikus hasznos munkát (176,3 kJ/kg), a bevezetett munkát (212,5 kJ/kg) és az izentrópikus hatásfokot (83%). A beszívott gáz sűrűsége $1,16$ kg/m³. A $h_0 \approx h$ közelítés elfogadható.

3. Ideális gáz izentrópikus állapotváltozását feltételezve számítsa ki egy $\dot{m} = 2$ kg/s tömegáramot szállító kompresszor szívócsonkjának keresztmetszetét (0,0099 m²),

ha a beszívott levegőt a szívócsonkban $c = 200 \text{ m/s}$ sebességre kell felgyorsítani. A kompresszor nyugvó, $T_0 = 290 \text{ K}$ hőmérsékletű, $p_0 = 1 \text{ bar}$ abszolút nyomású térből szívja be a levegőt. A fajhő $c_p = 1000 \text{ J/kgK}$, a fajhőviszony $\kappa = 1,4$. (Abszolút rendszerről lévén szó, az összentalpia állandó!)

Határozza meg – izentrópiikus hasznos munkavégzést feltételezve – az adiabatikus állapotváltozás T_2 véghőmérsékletét (490 K), és h_2 entalpiáját ($218,1 \text{ kJ/kg}$), ha $R = 0,288 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$; $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; $p_1 = 1 \text{ bar}$; $p_2 = 4 \text{ bar}$ (abszolút nyomás), $\kappa = 1,4$; az adiabatikus kompresszió vesztesége $Y' = 70 \text{ kJ/kg}$. Számítsa ki a c_p fajhőt! ($1,008 \text{ kJ/kg K}$) Mekkora a veszteség miatti entrópia növekedés? ($.154 \text{ kJ/kg}$) A $h(s, p=\text{áll})$

diagram közelítőleg leírható a $h = 273 \cdot c_p \cdot (e^{\frac{s+R \ln p}{c_p}} - 1)$ képlettel, amelyben h , s , R c_p mértékegysége $[\text{kJ/kg}]$, illetve $[\text{kJ/kg}\cdot\text{K}]$ és p $[\text{bar}]$ -ban helyettesítendő.

4. $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű, 1 bar nyomású (ideális gáznak tekinthető, $R=288 \text{ J/kgK}$) levegőt 3 bar nyomású térbe juttatunk be kompresszor segítségével. A valódi állapotváltozást közelítő politrópa kitevője $n = 1,5$. Számítsa ki a kompresszorból kilépő levegő abszolút hőmérsékletét ($432,7 \text{ K}$) és sűrűségét ($2,407 \text{ kg/m}^3$). Számítsa ki az izentrópiikus véghőmérsékletet ($410,6 \text{ K}$), az izentrópiikus hatásfokot ($83,3 \%$), az izentrópiikus hasznos munkát ($111,48 \text{ kJ/kg}$). Számítsa ki a veszteségek legyőzésére fordítandó teljesítményt ($66,8 \text{ kW}$), ha a szállítandó gáz tömegárama 3 kg/s .
5. A légszállító gépeket aszerint szokták osztályozni, hogy a levegő összenyomódását figyelembe kell-e venni, vagy nem, illetve a gépet hűteni kell-e, vagy nem. Eszerint a gép ventilátor, ha $1 \leq p_2/p_1 < 1,3$; fúvó, ha $1,3 \leq p_2/p_1 < 3$; kompresszor, ha $3 \leq p_2/p_1$. Tegyük fel, hogy a légszállító gép $p_1 = 1 \text{ bar}$ nyomású $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű levegőt szív be. Izentrópiikus állapotváltozást ($\kappa = 1,4$) feltételezve mekkora a $(\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$ relatív sűrűségváltozás a ventilátor-fúvó határon ($0,206 = 20,6 \%$) és mekkora a t_2 véghőmérséklet a fúvó - kompresszor határon? ($128 \text{ }^\circ\text{C}$)
6. Egy $D = 600 \text{ mm}$ belső átmérőjű csővezetéken földgázt szállítanak. Nyomásfokozó kompresszorok $L = 75 \text{ km}$ -enként vannak telepítve a csővezeték mentén. A kompresszor telep nyomócsonkján a $p_1 = 80 \text{ bar}$ abszolút nyomású $\rho_1 = 85 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű földgáz $v_1 = 6.4 \text{ m/s}$ sebességgel lép be a csővezetékbe. A csősúrlódási tényező $\lambda = 0.018$. A csővezetékben az állapotváltozás izotermikus, a nyomásváltozásra érvényes az Áramlástanban tanult $\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = p_1 \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho_1}{2} v_1^2$ összefüggés (Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai). A nyomás így a csővezeték végén számítható, a kompresszortelep ezt a nyomásesést fedezi. Mekkora a nyomás, sűrűség és a sebesség a csővezeték szakasz végén? Mekkora a szállított földgáz tömegárama? Mekkora a szükséges politropikus kompresszor

teljesítmény $n = 1.45$ politropikus kitevő esetén és ez hány ezreléke a $H = 43$ MJ/kg fűtőértékű földgázban továbbított teljesítménynek?

Megoldás:

A nyomás és sűrűség a következő kompresszortelep szívócsonkján:

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - 2 p_1 \lambda \frac{L}{D} \frac{p_1}{2} v_1^2} = \sqrt{(80 * 10^5)^2 - 2 * 80 * 10^5 * 0.018 * \frac{75000}{0.6} * \frac{85}{2} * 6.4^2} = 11.54 \text{ bar}$$

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2} \quad \rho_2 = \rho_1 \frac{p_2}{p_1} = 85 * \frac{11.54}{80} = 12.26 \text{ kg / m}^3$$

A szállított tömegáram:

$$\dot{m} = A \rho_1 v_1 = \frac{D^2 \pi}{4} \rho_1 v_1 = \frac{0.6^2 * \pi}{4} * 85 * 6.4 = 153.8 \text{ kg / s} = 553.7 \text{ t / h}$$

A sebesség a csővezeték végén:

$$A \rho_1 v_1 = A \rho_2 v_2 \quad p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad v_2 = \frac{p_1}{p_2} v_1 = 6.93 * 6.4 = 44.4 \text{ m / s}$$

Fajlagos munka, teljesítmény, veszteség:

$$Y_{pol} = \frac{n}{n-1} \frac{p_2}{\rho_2} \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1.45}{1.45-1} * \frac{11.54 * 10^5}{12.26} * \left[\left(\frac{80}{11.54} \right)^{\frac{1.45-1}{1.45}} - 1 \right] = 0.25 \frac{MJ}{kg}$$

$$P_{pol} = \dot{m} Y_{pol} = 153.8 * 0.25 = 38.42 \text{ MW}$$

$$Q_{belső} = \dot{m} H = 153.8 \text{ kg / s} * 43 \text{ MJ / kg} = 6613 \text{ MW}$$

$$\frac{P_{pol}}{Q_{belső}} = \frac{38.42 \text{ MW}}{6613 \text{ MW}} = 0.0058 = 0.58\% \quad \text{energiavesztés állomásonként}$$

(Összehasonlításképpen: a Paksi atomerőmű 4 blokkja egyenként 440 MW teljesítményű.)