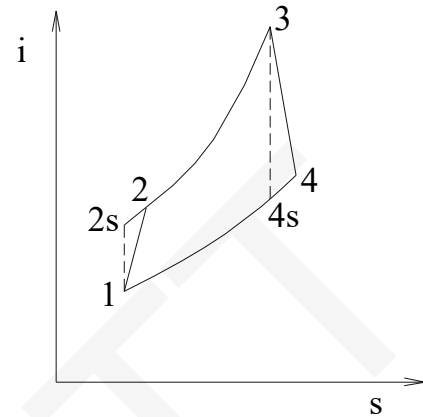


Příklad č. 1: Optimální stupeň stlačení kompresoru TKM

Vypočítejte optimální stupeň stlačení kompresoru pro zadané vstupní parametry TKM bez regenerace a zjistěte potřebné množství vzduchu pro výkon TKM 100 MW.

Vstupní teplota	t_1	20°C
Teplota před turbínou	t_3	1200°C
Izotropická účinnost kompresoru	η_s^K	0,86
Izotropická účinnost turbíny	η_s^T	0,88
Stupeň stlačení kompresoru	π	$\frac{p_2}{p_1}$
Teplotní poměr	τ	$\frac{T_3}{T_1}$



Práce kompresoru a účinnost:

$$\eta_s^K = \frac{i_{2s} - i_1}{i_2 - i_1} = \frac{c_p(T_{2s} - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} \rightarrow \quad (1.1)$$

$$\rightarrow \frac{c_p(T_{2s} - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \rightarrow T_2 - T_1 = (T_{2s} - T_1) \frac{1}{\eta_s^K}$$

$$a^K = i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1) \rightarrow \quad (1.2)$$

$$\rightarrow a^K = c_p(T_{2s} - T_1) \frac{1}{\eta_s^K} = c_p T_1 \left(\frac{T_{2s}}{T_1} - 1 \right) \frac{1}{\eta_s^K} = c_p T_1 \left(\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_s^K}$$

Práce turbíny a účinnost:

$$\eta_s^T = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_{4s}} = \frac{c_p(T_3 - T_4)}{c_p(T_3 - T_{4s})} \rightarrow \quad (1.3)$$

$$\rightarrow \frac{c_p(T_3 - T_4)}{c_p(T_3 - T_{4s})} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \rightarrow T_3 - T_4 = (T_3 - T_{4s}) \eta_s^T$$

$$a^T = i_3 - i_4 = c_p(T_3 - T_4) \rightarrow \quad (1.4)$$

$$\rightarrow a^T = c_p(T_3 - T_{4s}) \frac{1}{\eta_s^T} = c_p T_3 \left(1 - \frac{T_{4s}}{T_3} \right) \eta_s^T = c_p T_3 \left(1 - \pi^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right) \eta_s^T$$

Práce cyklu:

$$a = a^T - a^K \rightarrow \quad (1.5)$$

$$\rightarrow a = c_p T_1 \left[\frac{T_3}{T_1} \left(1 - \pi^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right) \eta_s^T - \left(\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_s^K} \right] = c_p T_1 \left[\tau (1 - \pi^{-m}) \eta_s^T - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right]$$

Stupeň stlačení pro maximální práci cyklu:

$$\frac{\partial a}{\partial \pi} = 0 \rightarrow \quad (1.6)$$

$$\rightarrow \frac{\partial a}{\partial \pi} = c_p T_1 \left[\tau (-m) (-\pi^{-m-1}) \eta_s^T - m \pi^{m-1} \frac{1}{\eta_s^K} \right] = \frac{m c_p T_1}{\pi} \left[\tau (-m) \eta_s^T - \pi^m \frac{1}{\eta_s^K} \right]$$

$$0 = \left(\tau \eta_s^T - \pi^{2m} \frac{1}{\eta_s^K} \right) \rightarrow \pi_{p,max} = (\tau \eta_s^T \eta_s^K)^{\frac{1}{2m}}$$

$$m = \frac{\kappa - 1}{\kappa} = 0.2857; \quad \tau = \frac{T_3}{T_1} = \frac{t_3 + 273.15}{t_1 + 273.15} = 5.02524$$

$$\pi_{p,max} = (\tau \eta_s^T \eta_s^K)^{\frac{1}{2m}} = (5.02524 * 0.88 * 0.86)^{\frac{1}{2 * 0.2857}} = 10.36$$

Přivedené teplo:

$$q_{23} = i_3 - i_2 = c_p (T_3 - T_2) \rightarrow \quad (1.7)$$

$$\rightarrow q_{23} = c_p [T_3 - T_1 - (T_2 - T_1)] = c_p \left[T_3 - T_1 - (T_{2s} - T_1) \frac{1}{\eta_s^K} \right] = c_p T_1 \left[\frac{T_3}{T_1} - 1 - \left(\frac{T_{2s}}{T_1} - 1 \right) \frac{1}{\eta_s^K} \right]$$

$$q_{23} = c_p T_1 \left[(\tau - 1) - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right]$$

Účinnost cyklu:

$$\eta_t = \frac{a}{q_{23}} \quad (1.8)$$

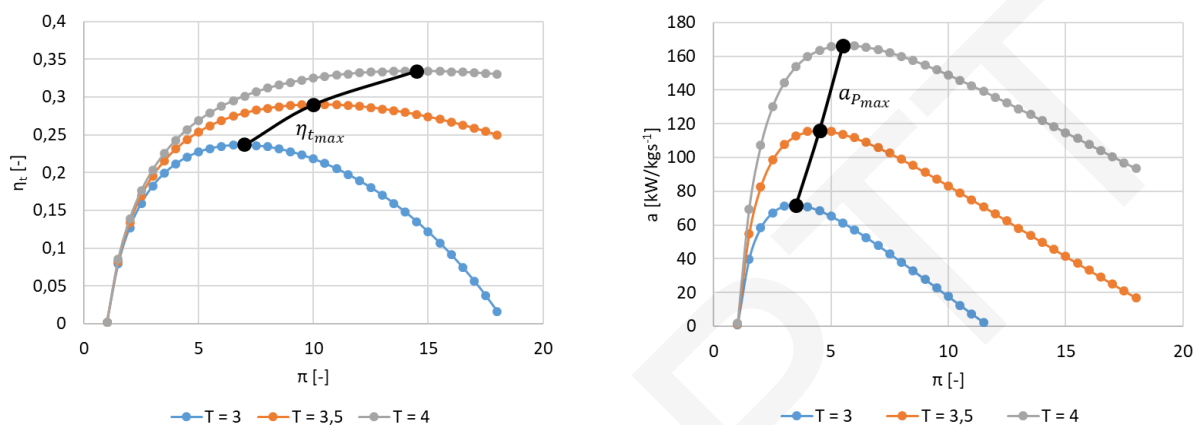
$$\eta_t = \frac{c_p T_1 \left[\tau (1 - \pi^{-m}) \eta_s^T - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right]}{c_p T_1 \left[(\tau - 1) - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right]} = \frac{\tau (1 - \pi^{-m}) \eta_s^T - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K}}{(\tau - 1) - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K}} \quad (1.9)$$

Stupeň stlačení pro maximální tepelnou účinnost:

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial \pi} = 0 \rightarrow \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial \pi} = 0 = \frac{\left(\tau m \pi^{-m-1} \eta_s^T - m \pi^{m-1} \frac{1}{\eta_s^K} \right) \left[\tau - 1 - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right] - \left[\tau (1 - \pi^{-m}) \eta_s^T - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right] \left(-m \pi^{m-1} \frac{1}{\eta_s^K} \right)}{\left[(\tau - 1) - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right]^2}$$

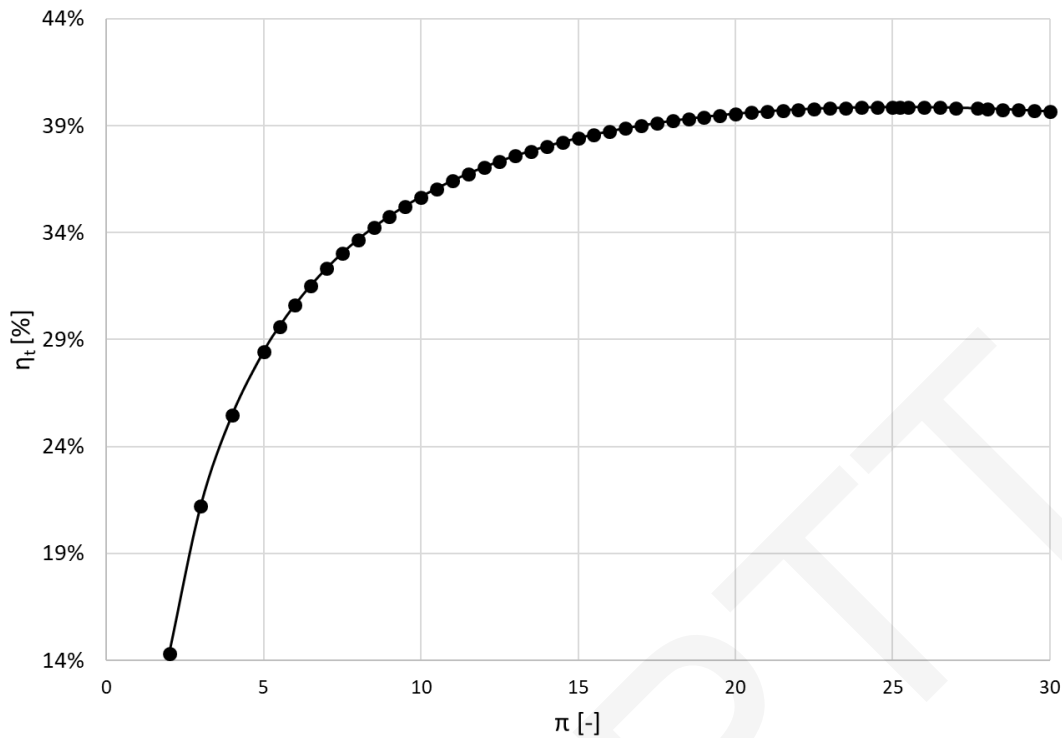
Ze vztahu 1.10 nelze maximální tepelnou účinnost cyklu přímo vyčíslit. Proto je potřebné provést jednoduchý iterativní výpočet, ve kterém se bude do rovnice 1.9 postupně dosazovat hodnota stupně stlačení, dokud nebude dosažena podmínka maximální tepelné účinnosti. Vodítka při volbě vhodných hodnot stupně stlačení poskytují diagramy (Obr. 1), ze kterých je zřejmé, že maximální hodnota tepelné účinnosti bude odpovídat vyššímu stupni stlačení, než maximum z hlediska výkonu ($\pi_{p,max} = 10,36$).



Obr. 1 Závislost tepelné účinnosti (vlevo) a měrného výkonu (vpravo) na stlačení při různých poměrech teplot a konstantních izentropických účinnostech (vpravo)

Startovací hodnotou stupně stlačení v iteračním výpočtu může být tedy $\pi_{\eta_t} = 10$.

π	η_t	π	η_t	π	η_t	π	η_t
10	0,356616	14,5	0,382222	19	0,393968	23,5	0,398281
10,5	0,360542	15	0,384039	19,5	0,394747	24	0,398436
11	0,364133	15,5	0,385706	20	0,395441	24,5	0,398536
11,5	0,367422	16	0,387234	20,5	0,396056	25	0,398584
12	0,37044	16,5	0,388634	21	0,396596	25,22	0,398588
12,5	0,37321	17	0,389913	21,5	0,397063	25,5	0,39858
13	0,375755	17,5	0,39108	22	0,397463	26	0,398528
13,5	0,378095	18	0,39214	22,5	0,397797	26,5	0,398429
14	0,380246	18,5	0,393101	23	0,398069	27	0,398285



Obr. 2 Závislost tepelné účinnosti TKM bez regenerace na stupni stlačení kompresoru

Optimální stupeň stlačení je teď možné spočítat na základě rovnice 1.11.

$$\pi_{opt} = \sqrt{\pi_{p,max} \pi_{\eta_t,max}} = \sqrt{10,36 * 25,22} = 16,16 \quad (1.11)$$

Maximální práce cyklu:

$$a_{max} = \frac{\kappa r}{\kappa - 1} T_1 \left[\tau (1 - \pi^{-m}) \eta_s^T - (\pi^m - 1) \frac{1}{\eta_s^K} \right] \quad (1.12)$$

$$a_{max} = \frac{1,4 * 287}{1,4 - 1} * 293,15 \left[5,02524 * (1 - 16,16^{-0,2587}) 0,88 - (16,16^{0,2587} - 1) \frac{1}{0,86} \right]$$

$$a_{max} = 298\,322 \text{ Jkg}^{-1}$$

Hmotnostní průtok pro zadaný výkon 100 MW:

$$P = \dot{m} \cdot a_{max} \rightarrow \dot{m} = \frac{P}{a_{max}} = \frac{100 * 10^6}{298\,322} = 335,21 \text{ kgs}^{-1} \quad (1.13)$$