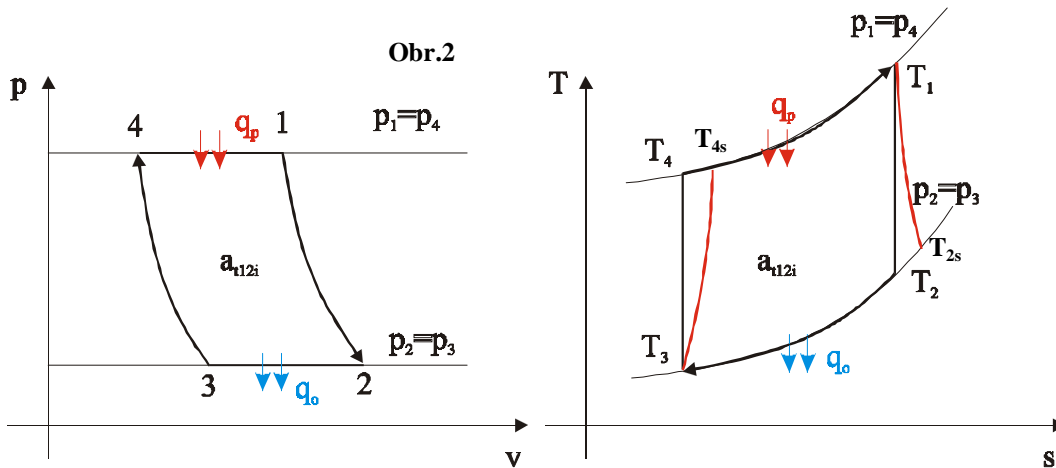
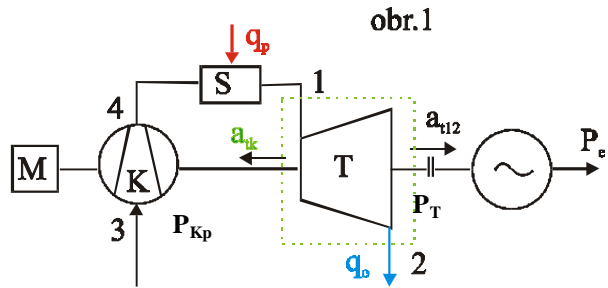


Účinnost plynových turbín

Tepelná účinnost (zisk využitelné technické práce) se stanovuje stejně jako u všech tepelných oběhů. Termodynamické změny pracovní látky, v p-v, a T-s diagramu, jsou na obr.2. a technické provedení na obr 1. Ideální tepelná účinnost:

$$\eta_{to} = \frac{\text{teplo přivedené} - \text{teplo odvedené}}{\text{teplo přivedené}} = \frac{q_p - q_o}{q_p} = \frac{a_{t12}}{q_p}$$

Kromě přívodu q_p , odvodu tepla q_o a zisku technické práce a_{t12} (výkonu P_T) je do oběhu zařazen kompresor (K) na stlačení vzduchu, který spotřebovává práci a_{tk} (výkon P_{Kp}) Kompresor je na společném hřídeli s turbínou a spotřebovává část získané technické práce v tepelném motoru. Při rozběhu se používá pro pohon kompresoru motor (M). Definuje



se tzv. **Ideální zisk technické práce:**

$$a_{t12i} = a_{t12} + a_{tk}$$

Pro zisk technické práce pro tepelné motory bylo odvozeno, že je dán rozdílem entalpií na vstupu a výstupu. Pak se dají definované práce zapsat:

$$a_{t12i} = i_1 - i_2 = c_p(T_1 - T_2)$$

$$a_{tk} = i_4 - i_3 = c_p(T_4 - T_3)$$

$$a_{t12} = c_p(T_1 - T_2) - c_p(T_4 - T_3)$$

$$q_p = c_p(T_1 - T_4)$$

Dosazením vyjde ideální tepelná účinnost:

$$\eta_{to} = \frac{(T_1 - T_4) - (T_2 - T_3)}{T_1 - T_4} = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4}$$

Úprava vztahu:

označíme:

$$\tau = \frac{T_1}{T_3}, \quad \pi = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_4}{p_3} \quad (\pi \geq 1, \tau \geq 1)$$

Podle rovnice adiabaty pak bude:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} = \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$

Pak přivedené a odvedené teplo z okruhu:

$$q_p = c_p (T_1 - T_4) = c_p T_3 \left(\frac{T_1}{T_3} - \frac{T_4}{T_3} \right) = c_p T_3 \left(\tau - \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right)$$

$$q_o = c_p (T_2 - T_3) = c_p T_3 \left(\frac{T_2}{T_3} - 1 \right) = c_p T_3 \left(\frac{T_2}{T_3} \cdot \frac{T_1}{T_1} - 1 \right) = c_p T_3 \left(\frac{1}{\pi^{\frac{\chi-1}{\chi}}} \tau + 1 \right)$$

Zisk technické práce je pak:

$$a_{t12} = q_p - q_o = c_p T_3 \left(\tau - \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} - \frac{1}{\pi^{\frac{\chi-1}{\chi}}} \tau + 1 \right) = c_p T_3 \left(\tau \left(1 - \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right) - \left(\pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} - 1 \right) \right)$$

Ke stejnému výsledku bychom dospěli při použití:

$$a_{t12} = a_{t12i} - a_{tk}$$

$$a_{t12i} = c_p (T_1 - T_2) = c_p T_3 \left(\frac{T_1}{T_3} - \frac{T_2}{T_3} \right) = c_p T_3 \tau \left(1 - \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} \right)$$

$$a_{tk} = c_p T_3 \left(\pi^{\frac{\chi-1}{\chi}} - 1 \right)$$

Další zjednodušení provedeme dosazením:

$$x = \pi^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$

$$a_{t12} = c_p T_3 \left(\tau \left(1 - \frac{1}{x} \right) - (x - 1) \right)$$

Tepelná účinnost je pak:

$$\eta_t = \frac{a_{t12}}{q_p} = \frac{\tau \left(1 - \frac{1}{x} \right) - x + 1}{\tau - x} = 1 - \frac{1}{x}$$

a poměrná (bezrozměrná) práce:

$$\gamma = \frac{a_{t12}}{c_p T_3} = \tau \left(1 - \frac{1}{x} \right) - (x - 1)$$

Diskuse odvozených vztahů:

1. Tepelná účinnost:

- *zvětšuje se hodnotou x*

$$x = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$

- *zvětšuje s rozdílem tlaků p₁ a p₂*

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$

- *nebude nikdy větší než poměr T₂/T₁*
- *maximální účinnost je dána Carnotovou účinností:*

$$\eta_{tmax} = 1 - \frac{1}{\tau} = \eta_c$$

2. Měrná práce:

- *Po dosažení do vztahu pro měrnou práci za hodnotu x = τ je měrná práce 0, dosažení maximální tepelné účinnosti by nemělo smysl*
- *Hledá se kompromis mezi maximální tepelnou účinností a maximálním měrným výkonem:*

$$x = \tau^{\frac{3}{4}}$$

Skutečný oběh se ztrátami (vzrůst entropie) je zobrazen červeně. Jsou zde zahrnuty ztráty, které vznikají turbíně (*termodynamická účinnost η_{td}*) a ztráty v kompresoru - η_{kp}. Ideální teploty, po stlačení a kompresi, přejdou na hodnoty T_{2s} a T_{4s}.

$$\eta_t = \eta_{to} \eta_{td} \eta_{kp} = \frac{a_{t12i} \eta_{td} - \frac{a_{tk}}{\eta_{kp}}}{q_p}$$

$$q_p = c_p (T_1 - T_4) = c_p \left[T_1 - T_3 - (T_4 - T_3) \frac{1}{\eta_{kp}} \right]$$

$$\eta_t = \frac{(T_1 - T_2) \eta_{td} - (T_4 - T_3) \frac{1}{\eta_{kp}}}{T_1 - T_3 - (T_4 - T_3) \frac{1}{\eta_{kp}}}$$

Zisk použitelné technické práce nastává v případě $\eta_t > 0$. Musí platit:

$$(T_1 - T_2) \eta_{td} > (T_4 - T_3) \frac{1}{\eta_{kp}}$$

Dosažením za teploty T_2 a T_4 z rovnic pro adiabaty vyjde potřebná hodnota účinností při Zadaných tlacích p_1 a p_2 a teplotách T_1 a T_3 :

$$\frac{p_1}{p_2} > \left[\eta_{td} \eta_{kp} \left(\frac{T_1}{T_3} \right) \right]^{\frac{\chi}{\chi-1}}$$

Této podmínce se říká jakost turbíny a kompresoru.
V reálných podmínkách musí platit:

$$a_{t120} - a_{tk} > 0, P_T - P_{Kp} > 0$$

Výkon kompresoru je většinou:

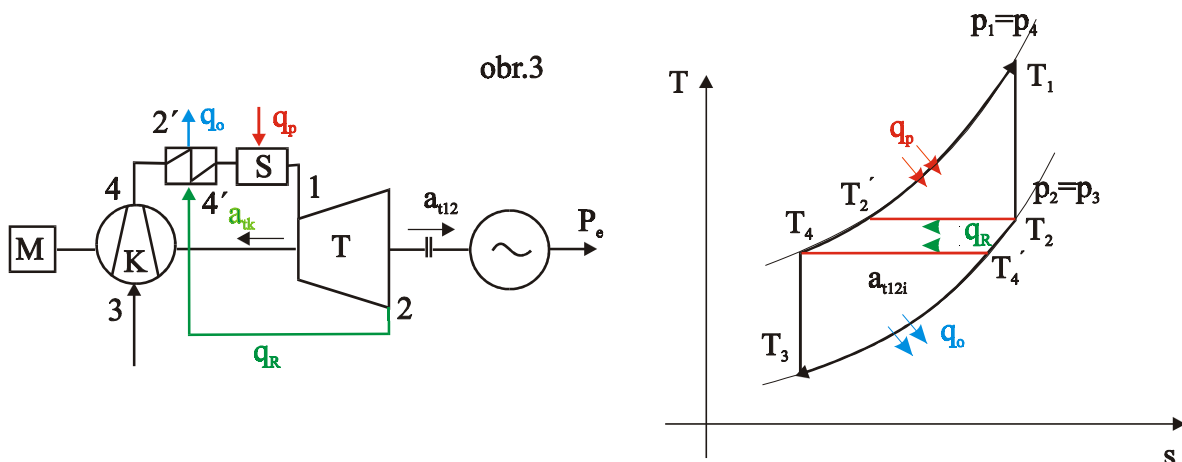
$$P_{Kp} = (0,6 \div 0,7) P_T$$

Zvyšování účinnosti oběhů s plynovými turbínami (Carnotizace cyklu)

Snahou stejně jako u parních oběhů v elektrárnách je dosažení co největší účinnosti přeměny primárního (vstupního) paliva na zisk využitelné technické práce.

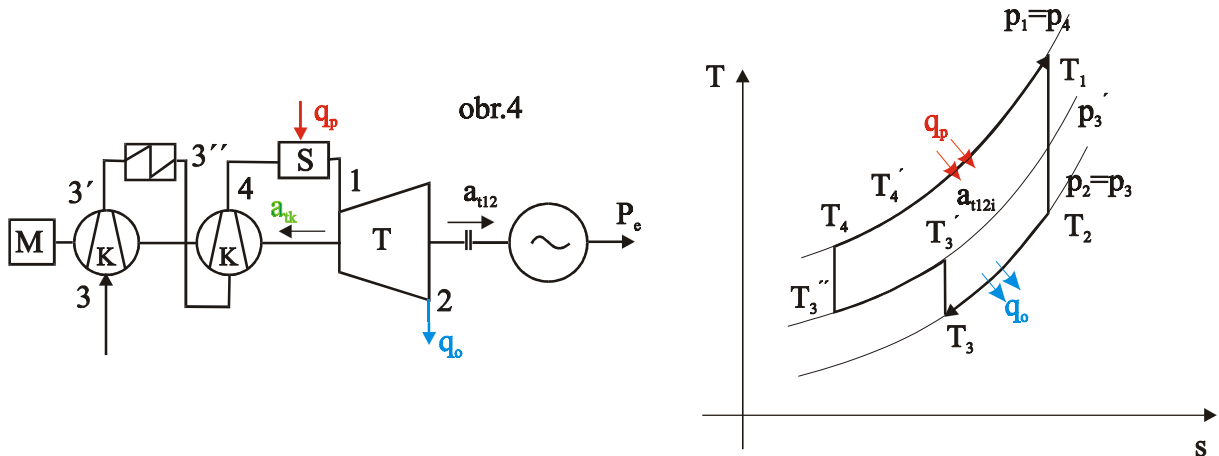
1. Regenerace tepla spalin

Teplo spalin lze využít k ohřevu vzduchu před vstup do spalovací komory. Je to obdoba regeneračního ohřevu napájecí vody vstupující do parogenerátoru u parních oběhů. Snižuje se potřebné odvedené teplo z okruhu o hodnotu q_R o které se snižuje potřebné množství přivedené do okruhu obr.3.



2. Snížení potřebné kompresní práce a_{tk}

Potřebné práce pro kompresor se může snížit rozdělením komprese na několik úseků mezi které se vloží chladiče. Komprese probíhá při nižší teplotě a tím je potřebná práce menší. Technické řešení a termodynamické změny pracovní látky jsou na obr.4.

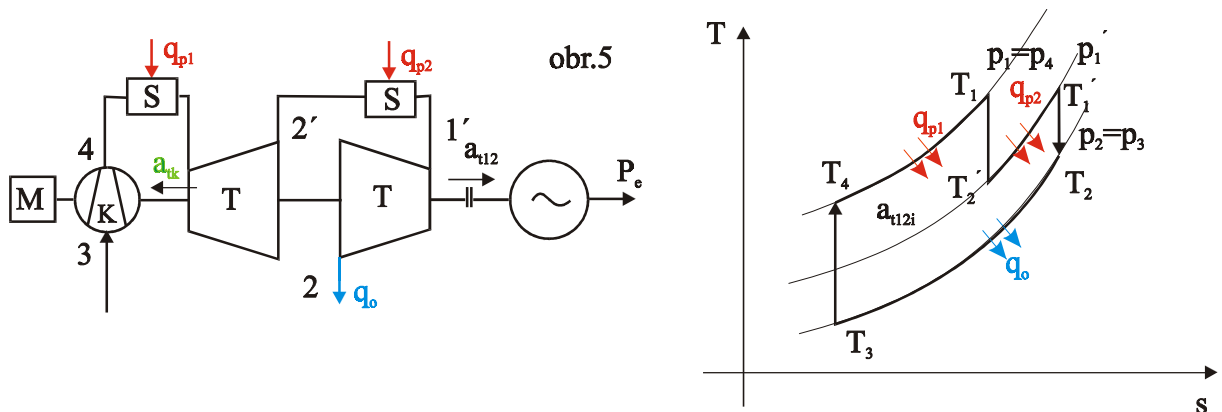


3. Přívod tepla do oběhu po částečné expanzi v turbíně

Tento princip je založen na stejném předpokladu jako přehřívání páry u parních oběhů. Přehřívání může být provedeno pomocí:

- Spalovací komory
- Výměníků tepla

Schéma s pomocí spalovací komory je na obr.č.5.



Carnotizační úpravy se provádí samostatně nebo kombinovaně. Nelze vždy jednoznačně stanovit účinky těchto úprav. Při výpočet je nutno počítat se ztrátami v oběhu i když z hlediska názornosti je ideální oběh názornější.