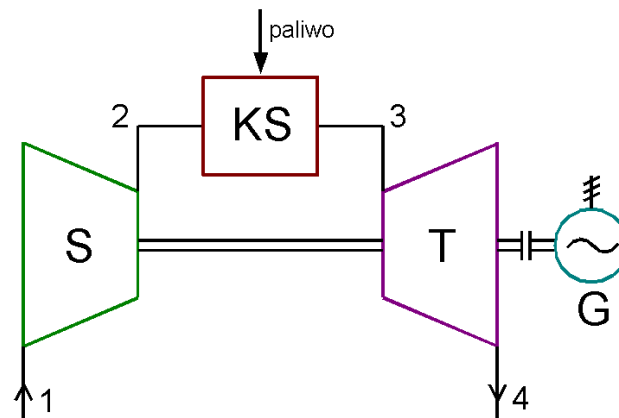
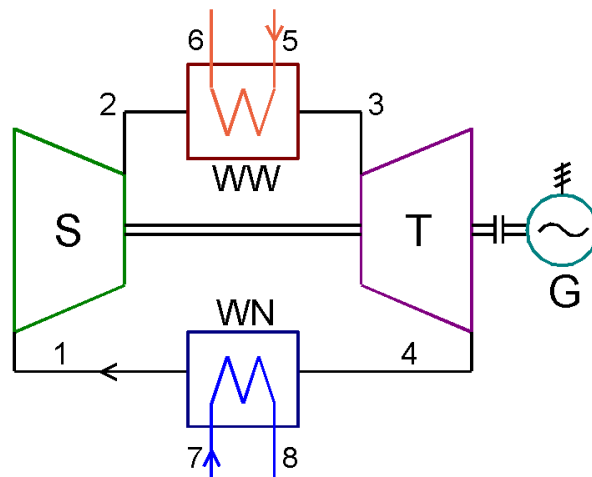


## 1. Obieg porównawczy siłowni turbogazowej – obieg Braytona



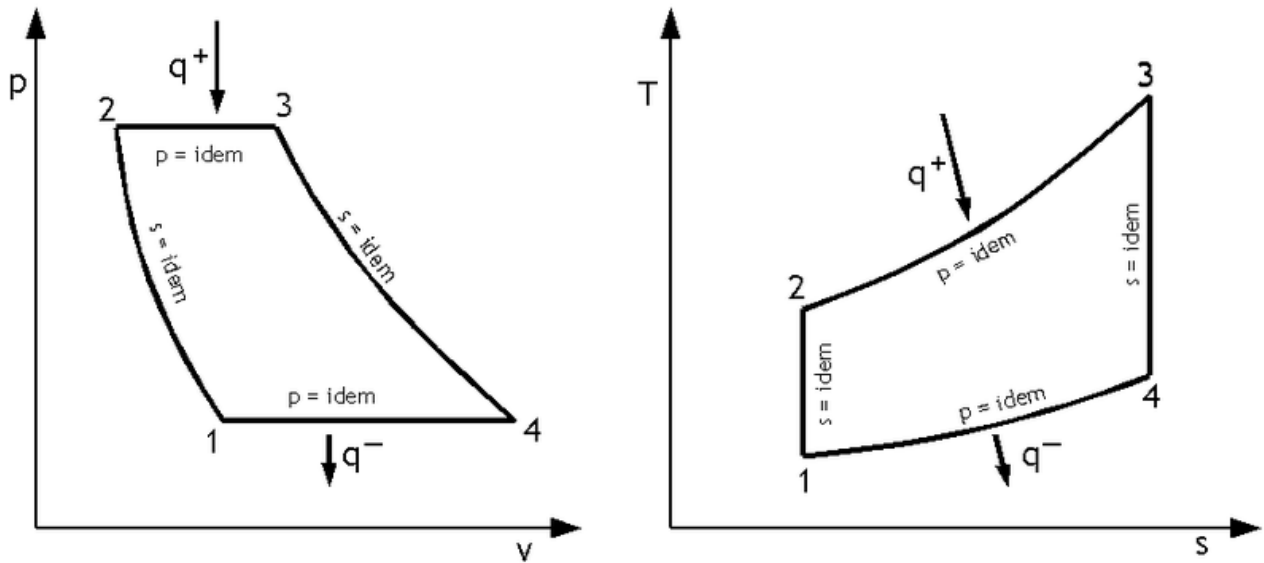
**Rys. 1.1.** Schemat siłowni turbogazowej pracującej w układzie otwartym; S - sprężarka, KS - komora spalania, T - turbina, G - generator elektryczny.

Zaletą siłowni turbogazowej pracującej w układzie otwartym jest prostota układu (niższy koszt w porównaniu z układem zamkniętym). Wadą takiego typu siłowni jest zanieczyszczenie układu spalinami.



**Rys. 1.2.** Schemat siłowni turbogazowej pracującej w układzie zamkniętym; S - sprężarka, WW - wysokotemperaturowy wymiennik ciepła, T - turbina, WN - wymiennik ciepła niskotemperaturowy, G - generator elektryczny.

Zaletami siłowni turbogazowej pracującej w układzie zamkniętym są: czystość układu oraz możliwość zastosowania czynnika o lepszych własnościach termodynamicznych. Wadami takiego typu siłowni są: jej większe skomplikowanie i wyższy koszt, w porównaniu z siłownią pracującą w układzie otwartym.



**Rys. 1.3.** Obieg porównawczy silowni turbogazowej w układzie p-v i T-s

Sprawność termiczna obiegu

$$\eta_{tB} = \frac{l_{ob}}{q_d} = \frac{q_d - |q_w|}{q_d} = 1 - \frac{|q_w|}{q_d} \quad (1.1)$$

Ciepło doprowadzone do obiegu

$$q_d = c_p(T_3 - T_2) \quad (1.2)$$

Ciepło wyprowadzone z obiegu (wartość bezwzględna)

$$|q_w| = c_p(T_4 - T_1) \quad (1.3)$$

Równania (1.2) oraz (1.3) podstawiamy do prawej strony równania (1.1)

$$\eta_{tB} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad (1.4)$$

Dla izentrop 1-2 i 3-4

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (1.5)$$

z (1.5)

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad (1.6)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \pi \quad \text{spręż} \quad (1.7)$$

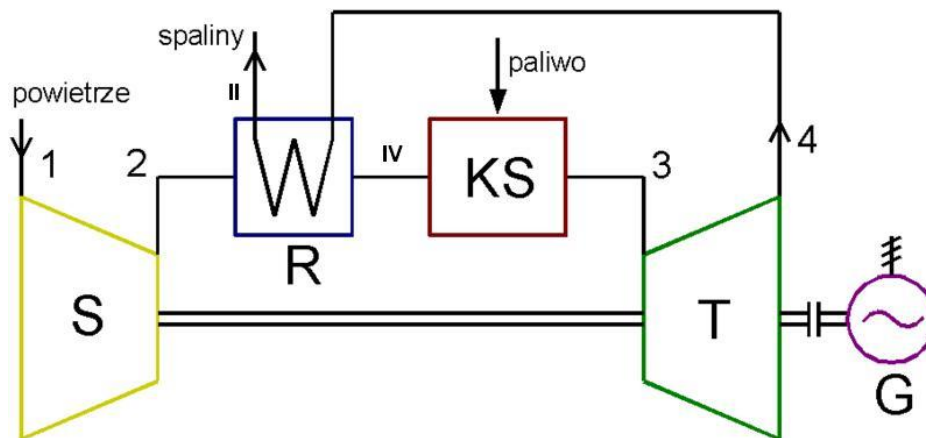
(1.6) i (1.7) do (1.4)

$$\eta_{tB} = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \quad (1.8)$$

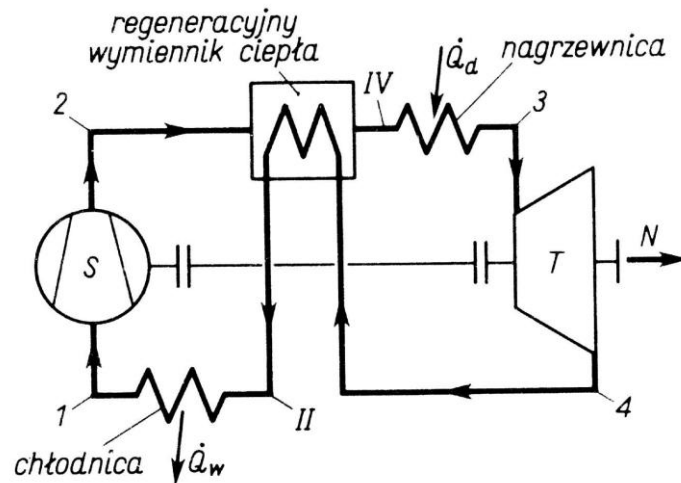
Sprawność siłowni turbogazowej realizującej obieg Braytona wzrasta wraz ze wzrostem sprężu. Sprawność ta także wzrośnie, gdy w siłowni pracującej w układzie zamkniętym, zastąpimy gaz dwuatomowy (np. powietrze,  $\kappa = 1,4$ ) gazem jednoatomowym (np. helem,  $\kappa = 1,67$ ).

## 2. Siłownia turbogazowa z regeneracją ciepła

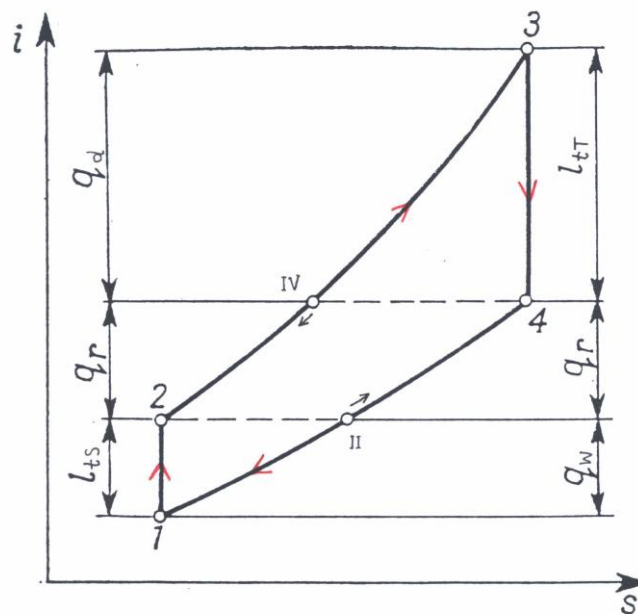
Regenerację można zastosować tylko wtedy, gdy temperatura spalin opuszczających turbinę jest wyższa od temperatury powietrza na wylocie ze sprężarki, czyli gdy  $T_4 > T_2$ .



**Rys. 2.1.** Schemat siłowni turbogazowej z regeneracją ciepła pracującej w układzie otwartym; S - sprężarka, KS - komora spalania, T - turbina, G - generator elektryczny, R – rekuperator.



**Rys. 2.2.** Schemat siłowni turbogazowej z regeneracją ciepła pracującej w układzie zamkniętym; S – sprężarka, T - turbina, G - generator elektryczny.



**Rys. 2.3.** Obieg porównawczy siłowni turbogazowej z regeneracją ciepła;

W obiegu siłowni turbogazowej z regeneracją ciepła tę samą pracę obiegu uzyskujemy kosztem mniejszej ilości ciepła doprowadzonego

$$\eta_{tBr} = \frac{l_{ob}}{q_{dr}} = \frac{l_{ob}}{q_d - q_r} > \frac{l_{ob}}{q_d} = \eta_{tB} \quad (2.1)$$

gdzie:

$l_{ob}$  – praca obiegu Braytona z regeneracją ciepła równa pracy obiegu Braytona z regeneracją ciepła

$q_{dr}$  – ciepło doprowadzone z zewnętrznego źródła ciepła do obiegu Braytona z regeneracją ciepła

$q_d$  - ciepło doprowadzone z zewnętrznego źródła ciepła do obiegu Braytona bez regeneracji ciepła

$q_r$  - ciepło regeneracji

$$\eta_{tBr} = 1 - \frac{|q_w|}{q_{dr}} = 1 - \frac{c_p(T_{II} - T_I)}{c_p(T_3 - T_{IV})} = 1 - \frac{T_4 - T_I - \psi(T_4 - T_2)}{T_3 - T_2 - \psi(T_4 - T_2)} \quad (2.2)$$

gdzie

$$\psi = \frac{T_4 - T_{II}}{T_4 - T_2} = \frac{T_{IV} - T_2}{T_4 - T_2} \quad (2.3)$$

jest współczynnikiem regeneracji. Równość różnic temperatur  $T_4 - T_{II}$  oraz  $T_{IV} - T_2$  wynika z równania bilansu energii regeneracyjnego wymiennika ciepła

$$\dot{m}c_p(T_4 - T_{II}) = \dot{m}c_p(T_{IV} - T_2) \quad (2.4)$$

Dla  $T_{II} = T_2$  oraz  $T_{IV} = T_4$  jest  $\psi = 1$ . Mamy wówczas do czynienia z regeneracją całkowitą (idealną) i prawą stronę równania (2.2) można przedstawić dla tego przypadku jako

$$\eta_{tBr} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} \quad (2.5)$$

Zależność (2.5) można przekształcić do postaci

$$\eta_{tBr} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_2/T_1 - 1}{1 - T_4/T_3} \quad (2.6)$$

Dla izentropy 1-2 zachodzi

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (2.7)$$

Dla izentropy 3-4 jest

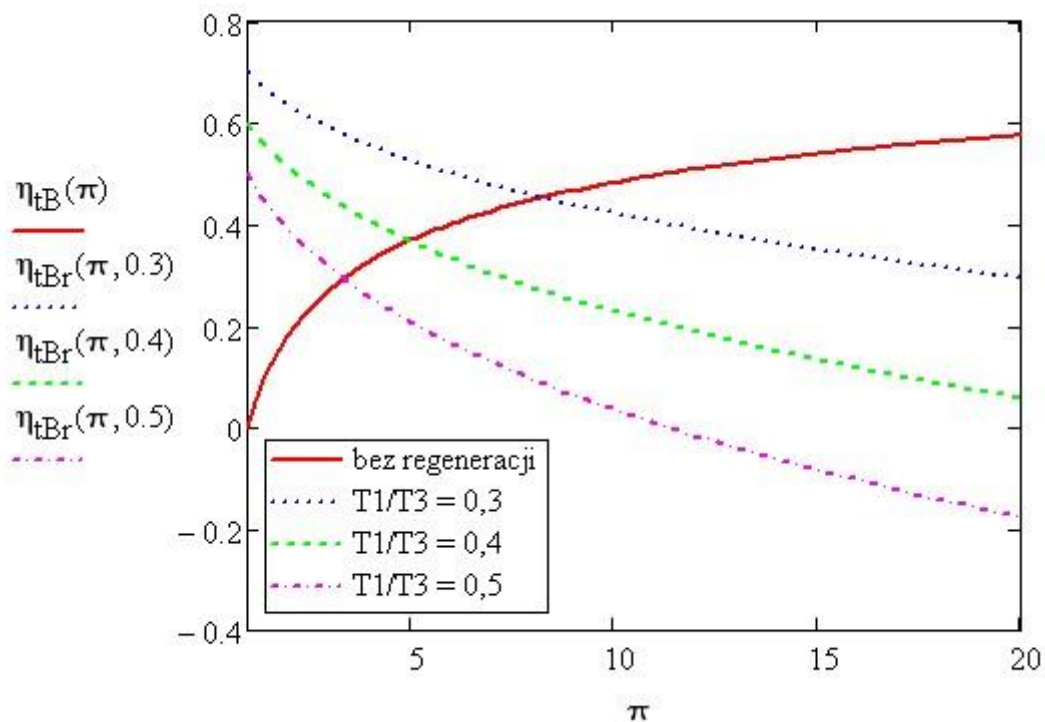
$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \pi^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (2.8)$$

(2.7) i (2.8)  $\rightarrow$  (2.6)

$$\eta_{tBr} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{1 - \pi^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \quad (2.9)$$

Zależność (2.9) można uprościć do postaci

$$\eta_{tBr} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (2.10)$$



**Rys. 2.4.** Zależność sprawności obiegu Braytona od sprężu  $\pi = p_2 / p_1$  dla różnych wartości stosunku temperatury minimalnej  $T_1$  do maksymalnej  $T_3$  obiegu.