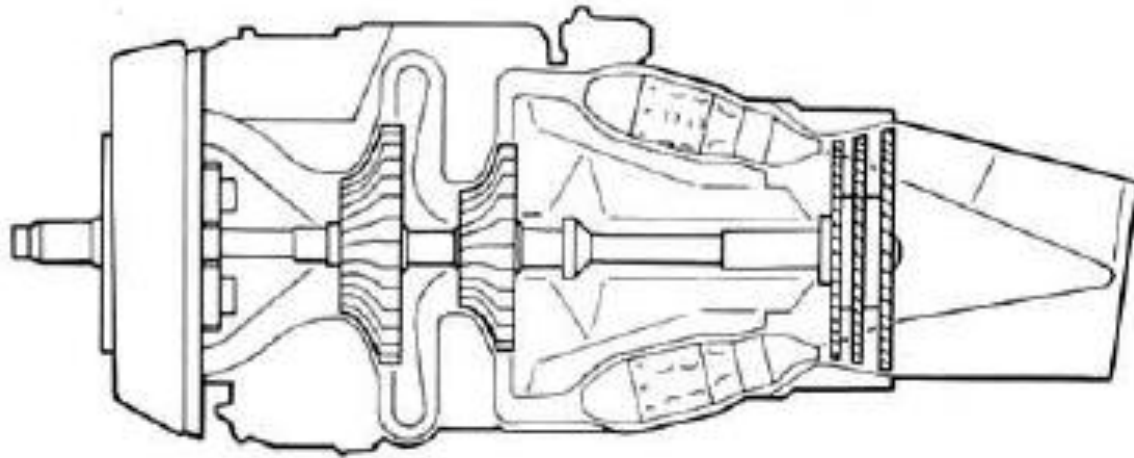
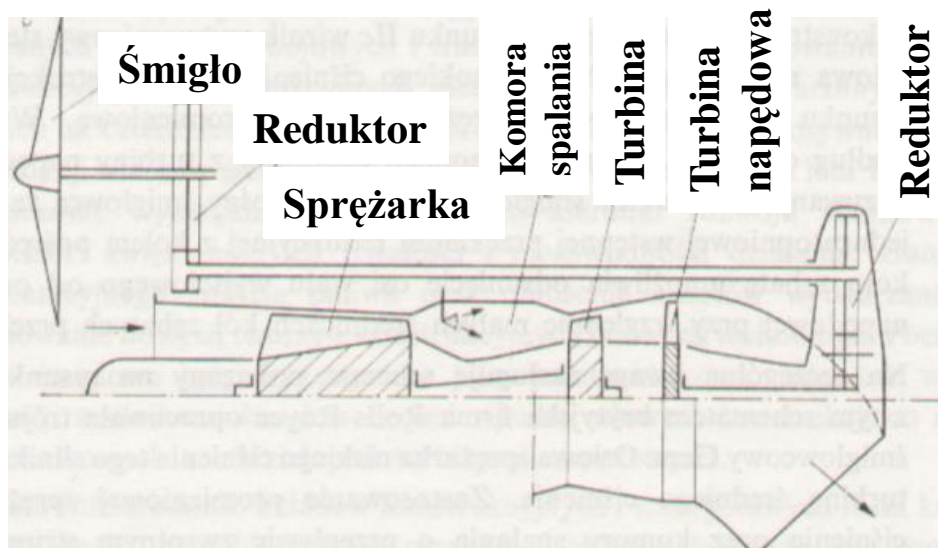
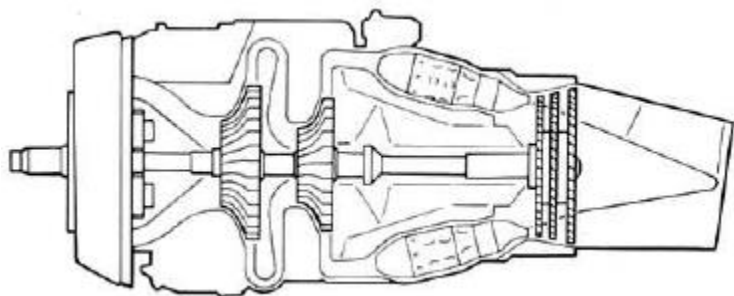


# Turbinowy silnik śmigłowy i śmigłowcowy

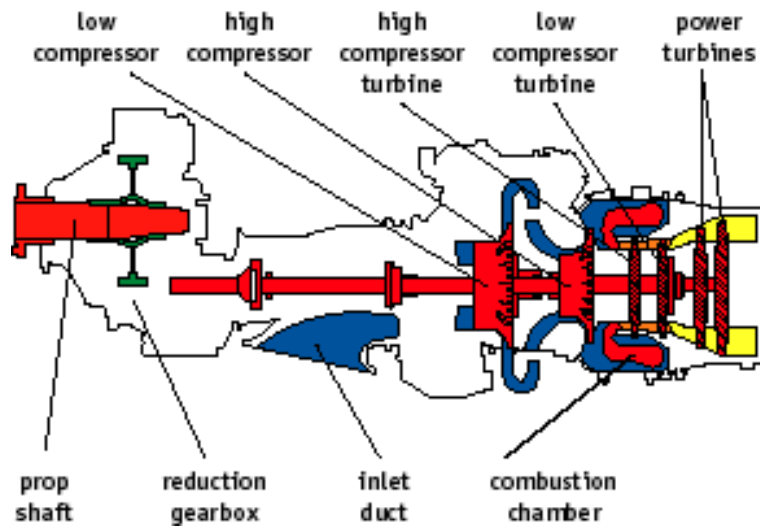


dr inż. Robert JAKUBOWSKI

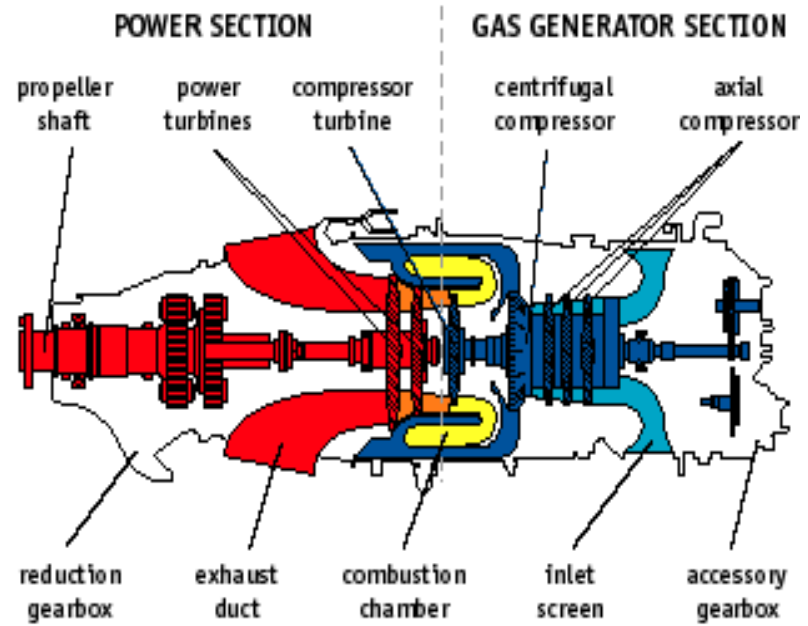
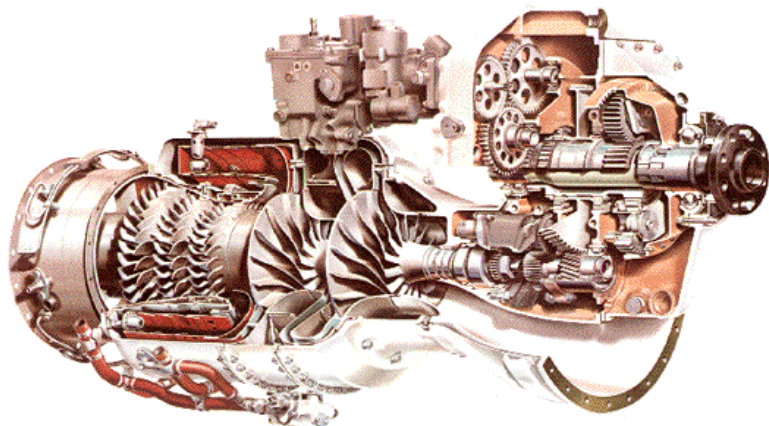
# Turbinowy silnik śmigłowy i śmigłowcowy



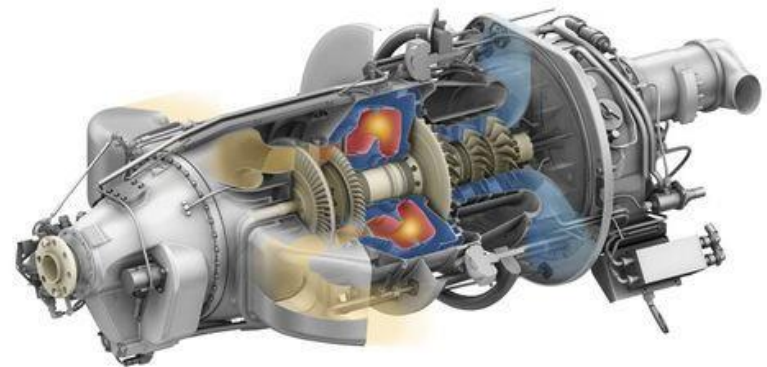
# Zespoły turbinowego silnika śmigłowego (śmigłowcowego)



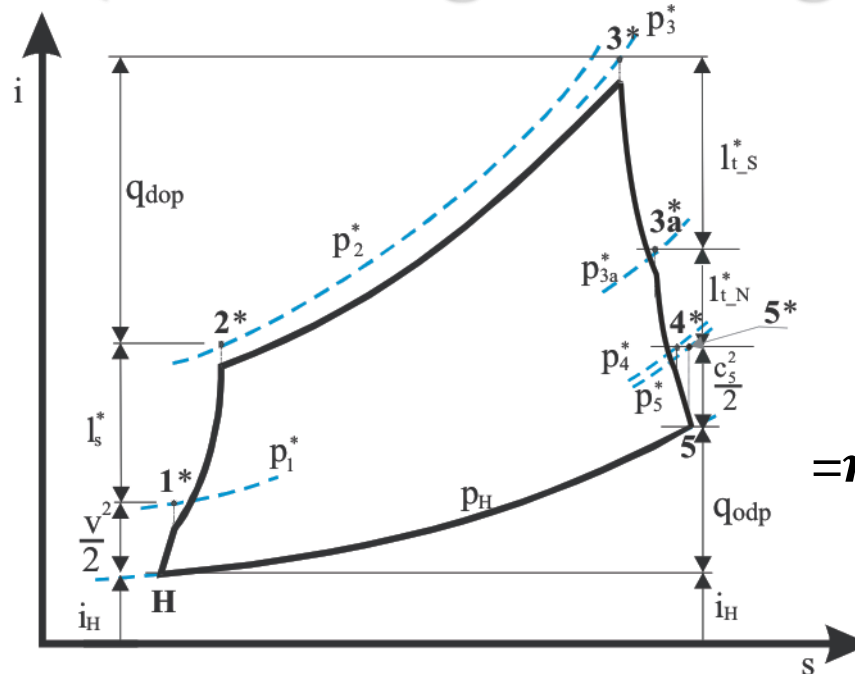
**PW 100**



**PT 6A**



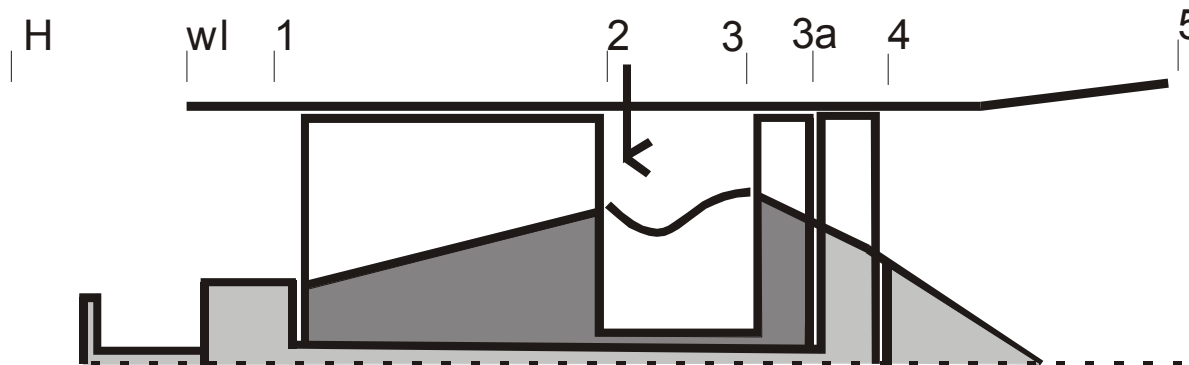
# Praca silnika turbośmigłowego (turbośmigłowcowego)



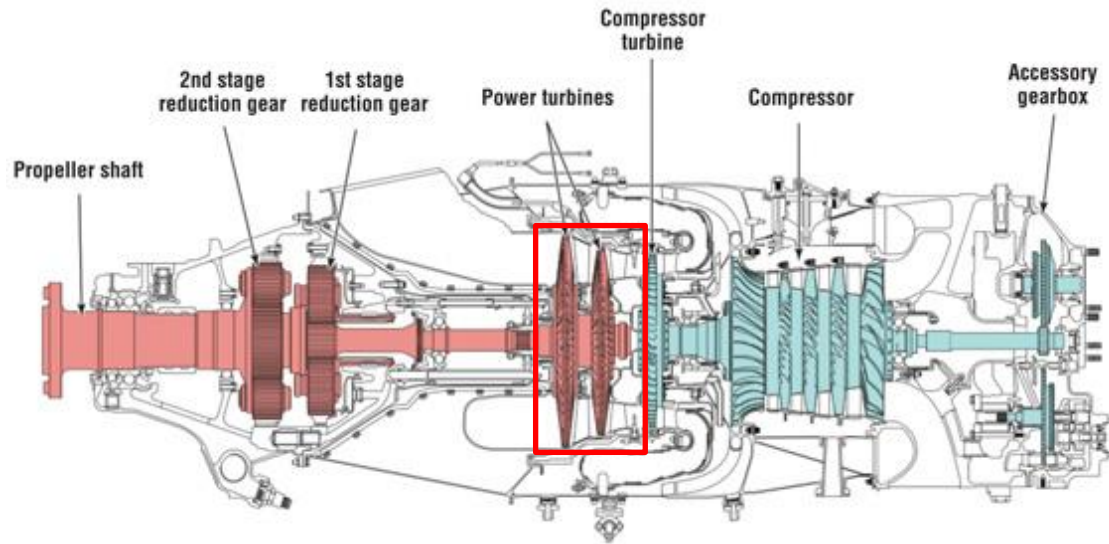
$$l_{T_N}^* = c'_p(T_{3a}^* - T_4^*)$$

$$P_T = \dot{m}_{spal} l_{T_N}^* = \dot{m}(1 + \tau_{pal}) c'_p(T_{3a}^* - T_4^*)$$

*Turbinowy silnik śmigłowy (śmigłowcowy)*



# Wyznaczenie parametrów pracy turbiny napędowej



Ciśnienie za turbiną

$$p_4^* = \frac{p_H}{\sigma_{wyl}} \left( 1 + \frac{k-1}{2} Ma_5^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

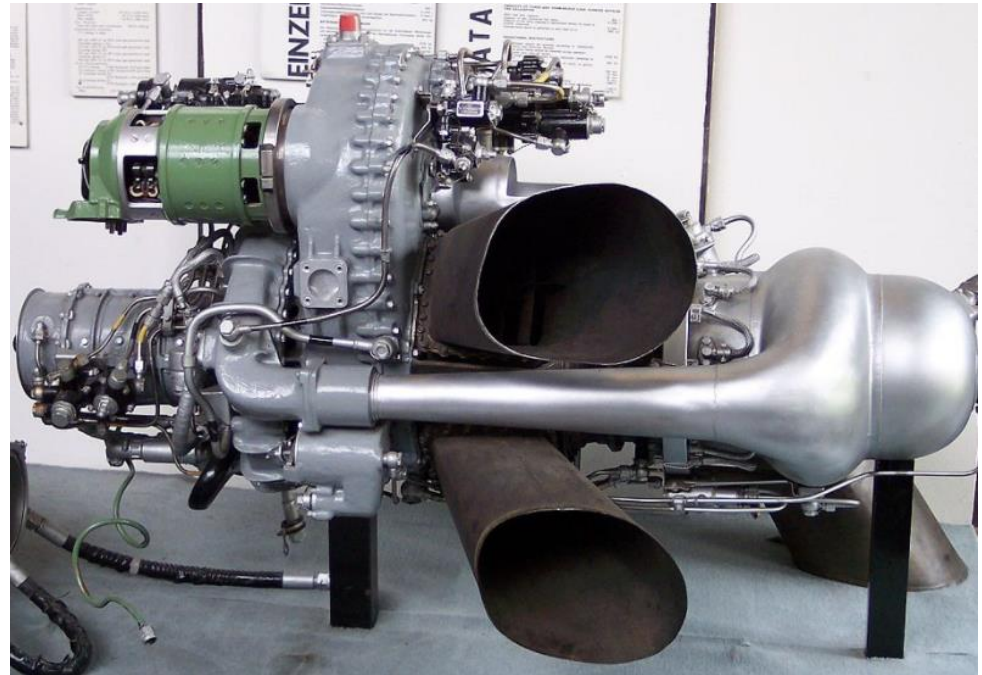
$$\pi_{TN}^* = \frac{p_{3a}^*}{p_4^*}$$

$$T_4^* = \eta_{TN}^* T_{3a}^* c_p \left( 1 - \left( \frac{1}{\pi_{TN}^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)$$

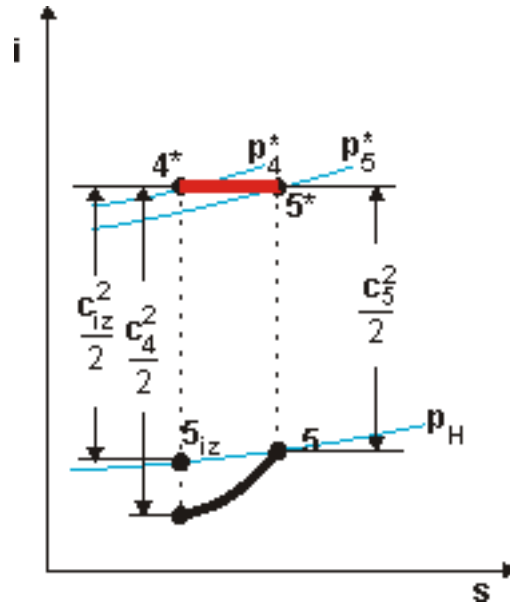
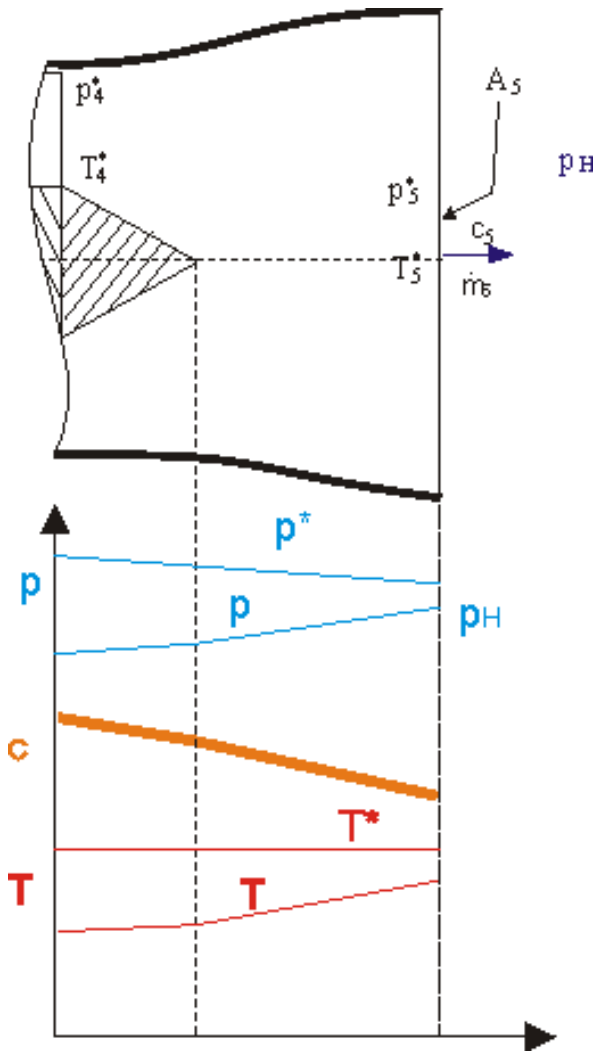
$$P_{TN} = \dot{m}_{spal} c_p (T_{3a}^* - T_4^*)$$

# Zespół wylotowy silnika śmigłowego/śmigłowcowego

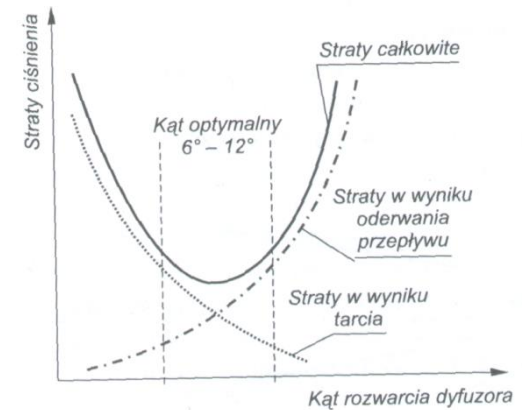
W silnikach turbinowych śmigłowych występuje dyfuzor wylotowy, który wyhamowuje strumień wylotowy spalin.



# Praca dyfuzora wylotowego

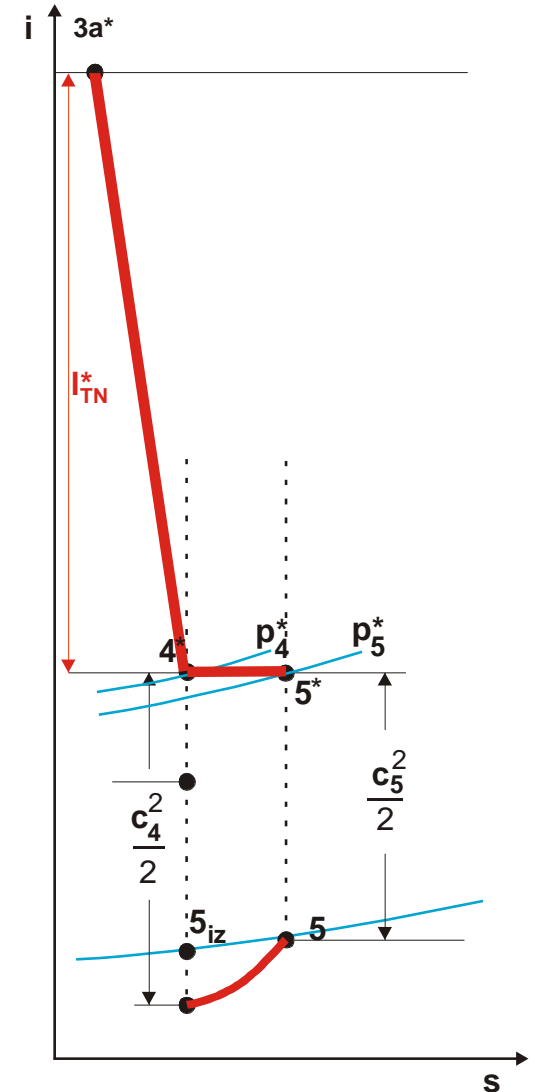
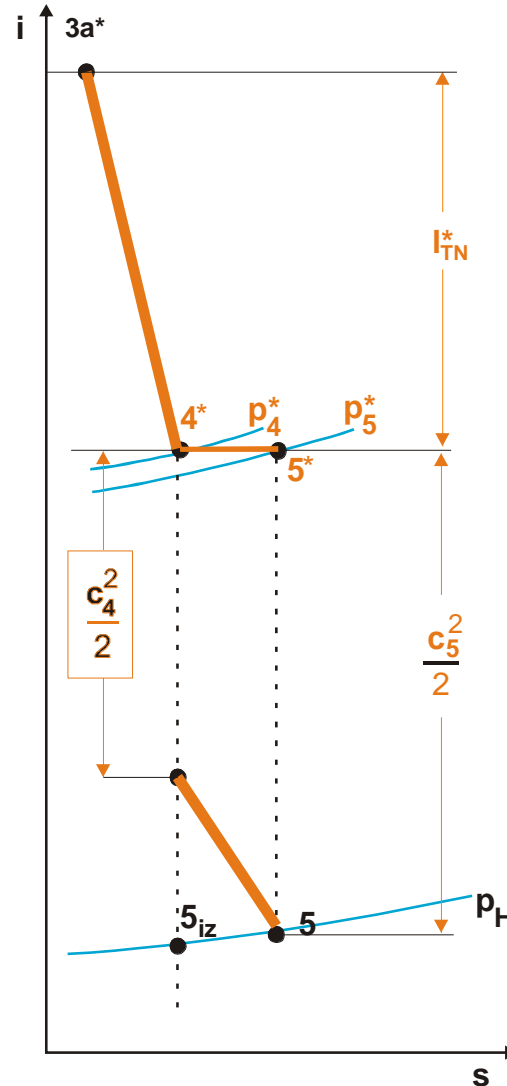
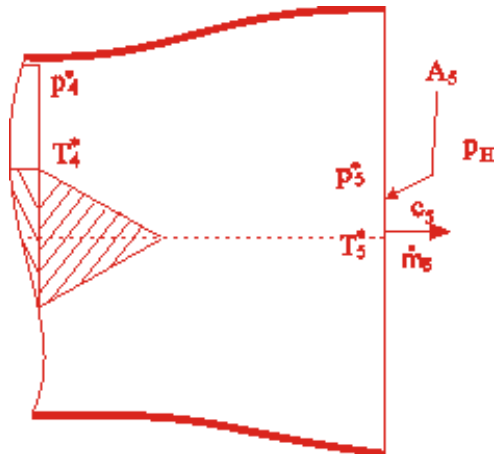
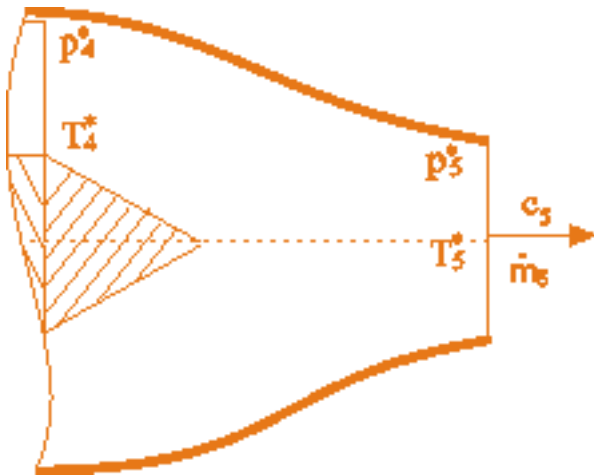


**Straty w dyfuzorze –  
optymalizacja  
geometrii dyfuzora**



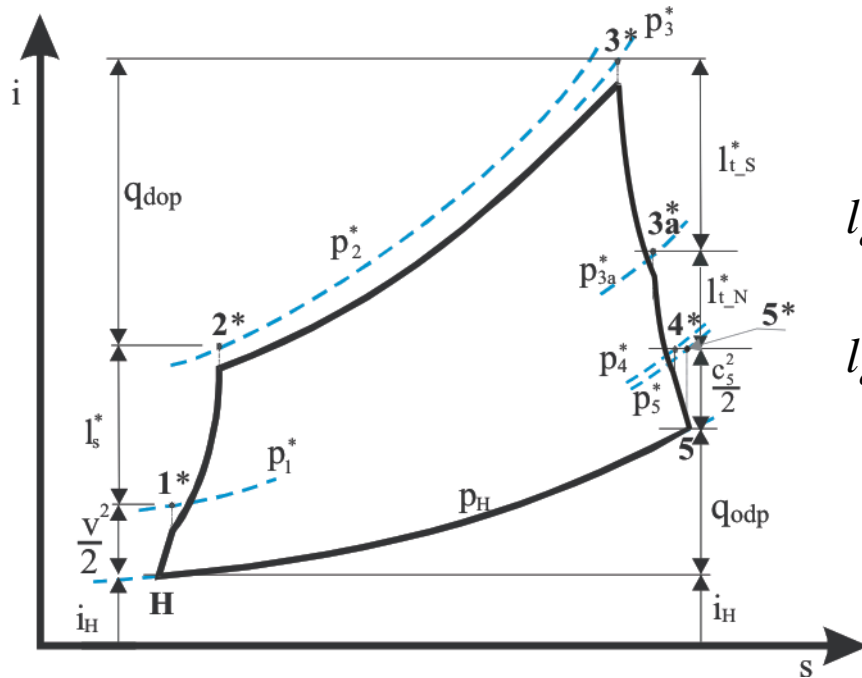
**Wyhamowanie strumienia gazów wylotowych w dyfuzorze powoduje obniżenie ciśnienia za turbiną, a przez to zwiększenie rozprężu na turbinie i wzrostu mocy turbiny**

# Porównanie efektu zastosowania dyszy i dyfuzora na pracę turbiny





# Praca turbinowego silnika śmigłowego (śmigłowcowego)



$$l_{ob} = (1 + \tau_{pal}) \frac{c_5^2}{2} - \frac{V^2}{2} + (1 + \tau_{pal}) l_{t\_N}$$

$$l_{ob} = (1 + \tau_{pal}) \frac{c_5^2}{2} - \frac{V^2}{2} + (1 + \tau_{pal}) c_{pT} (T_{3a}^* - T_4^*)$$

*Turbinowy silnik śmigłowy (śmigłowcowy)*

$$\tau_{S\_ś} = \frac{L_{t\_N}}{L_{ob}}$$

$$\tau_{S\_ś} = \frac{(1 + \tau_{pal}) l_{t\_N}}{(1 + \tau_{pal}) \frac{c_5^2}{2} - \frac{V^2}{2} + (1 + \tau_{pal}) l_{t\_N}}$$

Stopień podziału pracy turbinowego silnika śmigłowego (śmigłowcowego) między turbinę napędową i energię strumienia wypływających spalin

# Sprawności turbinowego silnika śmigłowego (śmigłowcowego)

## Sprawność cieplna

$$\eta_c = \frac{L_{ob}}{Q_{dop}} = \left( (1 + \tau_{pal}) \frac{c_5^2}{2} + \frac{V^2}{2} + (1 + \tau_{pal}) l_{t-N} \right) / (\tau_{pal} W_u)$$

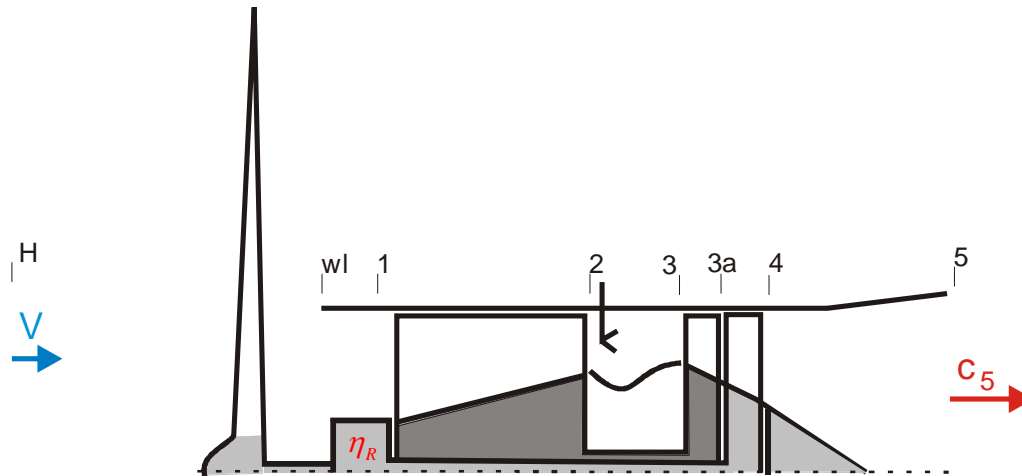
## Sprawność napędowa

$$\eta_k = \frac{KV_H}{L_{ob}} = \frac{KV_H}{\dot{m}} / \left( (1 + \tau_{pal}) \frac{c_5^2}{2} - \frac{V^2}{2} + (1 + \tau_{pal}) l_{t-N} \right)$$

## Sprawność ogólna

$$\eta_o = \frac{KV_H}{Q_{dop}} = KV_H / (\dot{m} \cdot \tau_{pal} W_u) = \eta_c \eta_k$$

# Ciąg silnika śmigłowego



## Ciąg silnika:

$$K = K_{sm} + \dot{m}_5 c_5 - \dot{m} V$$

$$K_{sm} = \eta_{sm} \frac{N_{sm}}{V} = \eta_{sm} \frac{\eta_R \dot{m} (1 + \tau_{pal}) c_p (T_{3a}^* - T_4^*)}{V}$$

$\eta_{sm}$  - sprawność śmigła – zależy o d konstrukcji śmigła, prędkości lotu itp.

## Dla $V=0$ ciąg silnika:

$$K = \beta N_{sm}$$

$\beta$  - współczynnik określany doświadczalnie, charakteryzujący śmigło ze względu na stopień zamiany mocy na ciąg przy zerowej prędkości lotu. Typowo jego wartość to ok. 1,5 daN/kW

# Parametry zredukowane turbinowego silnika śmigłowego

*Moc zredukowana*

$$N_{ZR} = \frac{KV}{\eta_{sm}}$$

**MOC ZREDUKOWANA** - jest to moc umowna, która po doprowadzeniu do śmigła daje ciąg równoważny ciągowi rozwijanemu przez cały zespół napędowy turbinowy silnik śmigłowy - śmigło

$$N_{ZR} = \frac{KV}{\eta_{sm}} = N_{sm} + \frac{V}{\eta_{sm}} (\dot{m}_5 c_5 - \dot{m}V) \quad \text{dla } V=0 \quad N_{ZR} = N_{sm} + \frac{\dot{m}_5 c_5}{\beta}$$

*Zredukowane zużycie paliwawa*

$$c_{ZR} = \frac{\dot{m}_{pal}}{N_{ZR}}$$

# Parametry jednostkowe turbinowego silnika śmigłowego

## *Jednostkowa moc zredukowana*

$$N_{ZR\_j} = \frac{N_{ZR}}{\dot{m}}$$

**JEDNOSTKOWA MOC ZREDUKOWANA** - jest to parametr podobny do ciągu jednostkowego. Służy on do porównywania efektywności pracy całego zespołu napędowego silnik turbinowy - śmigło

## *Jednostkowe zużycie paliwa*

$$c_j = \frac{\dot{m}_{pal}}{K}$$

$$c_j = \frac{V}{\eta_{sm}} c_{ZR}$$

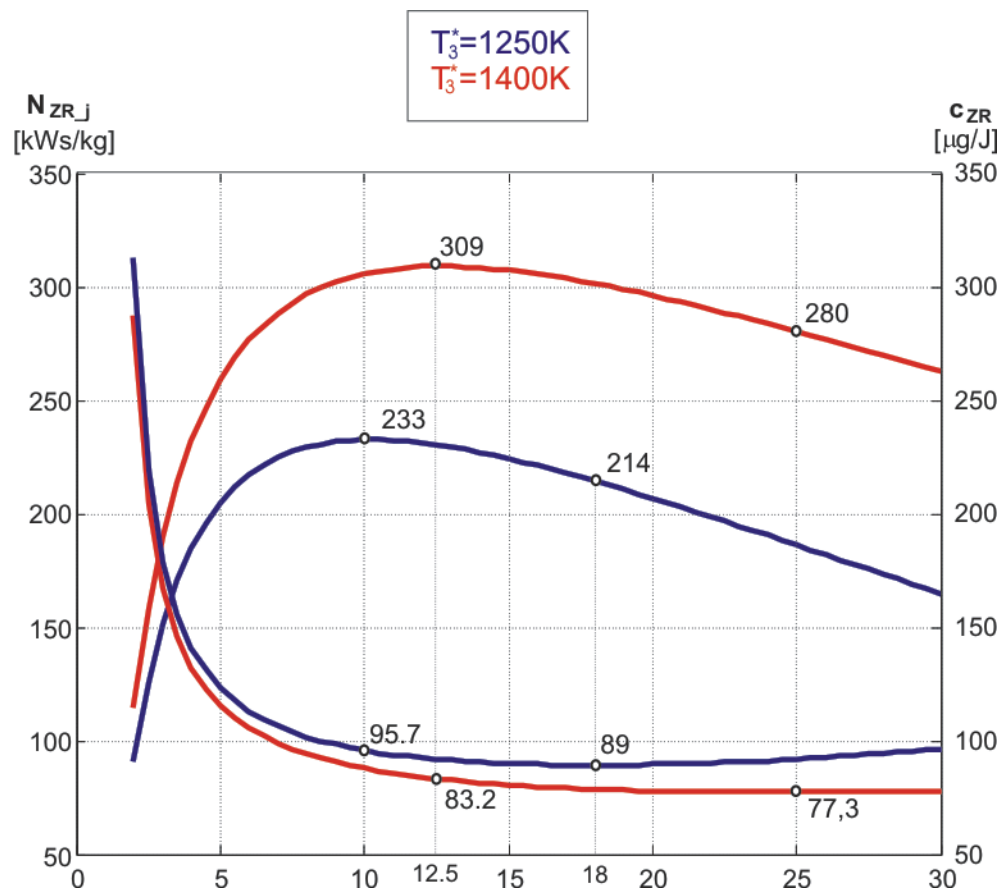
dla  $V=0$

$$c_j = \frac{c_{ZR}}{\beta}$$

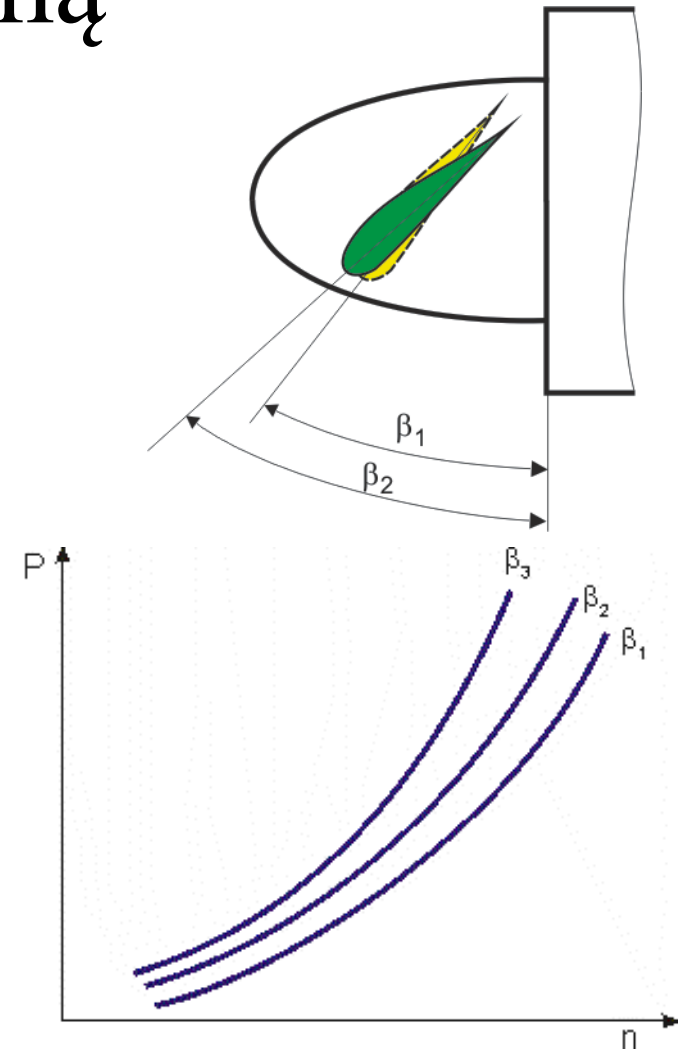
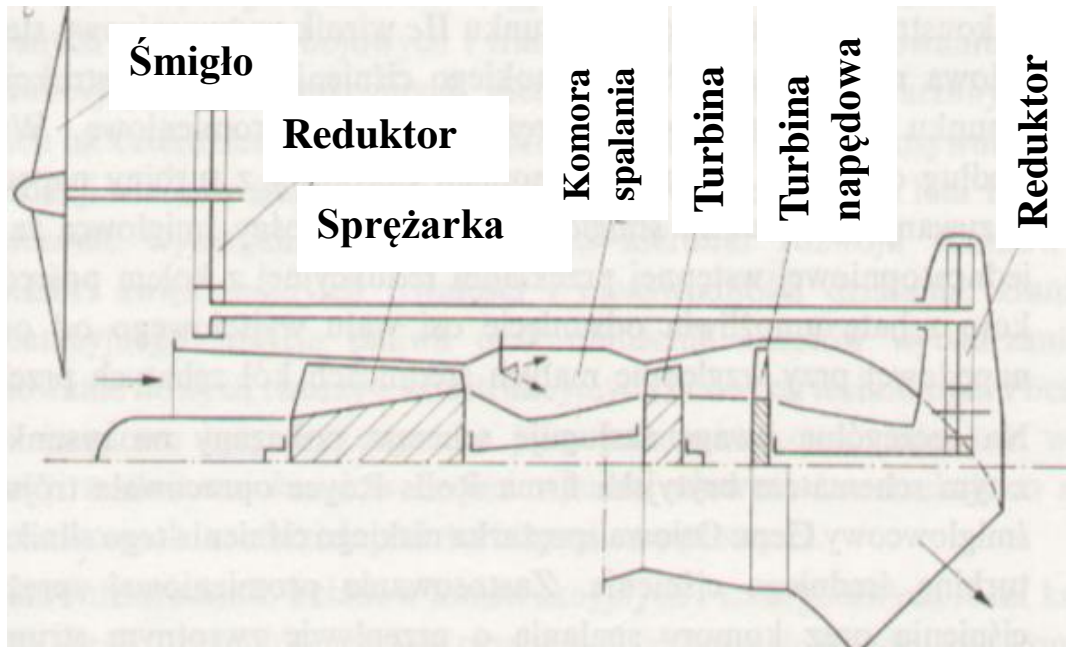
## *Masa jednostkowa silnika*

$$M_j = \frac{m_{sil}}{N_{ZR}}$$

# Optimalizacja parametrów pracy silnika



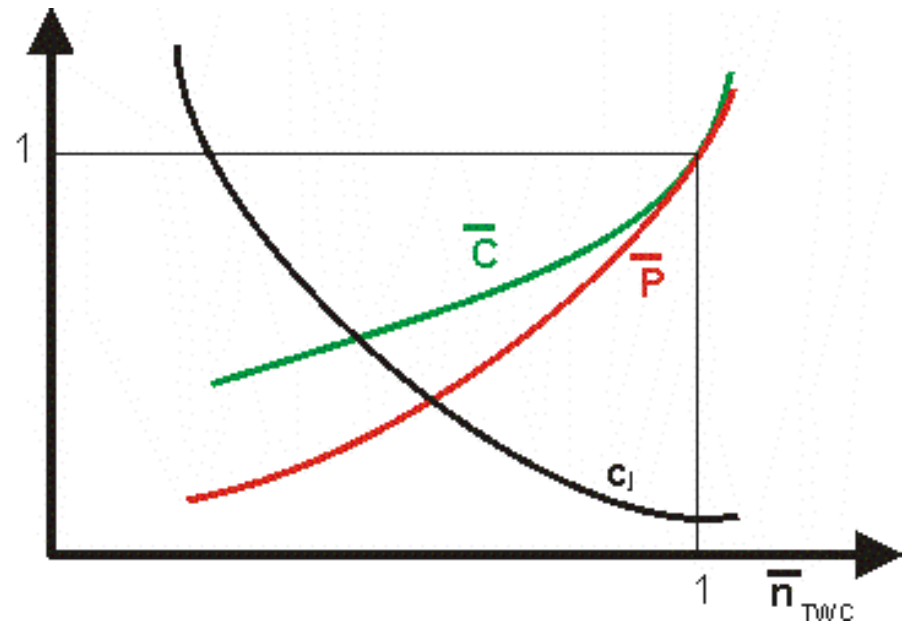
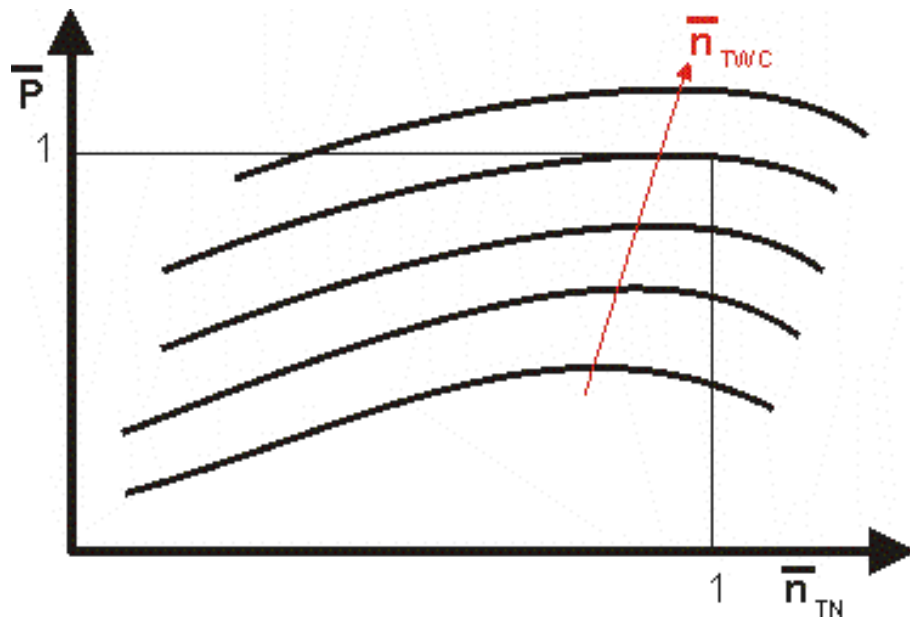
# Charakterystyki pracy silnika z wolną turbiną



$\beta$  – kąt nastawienia śmigła

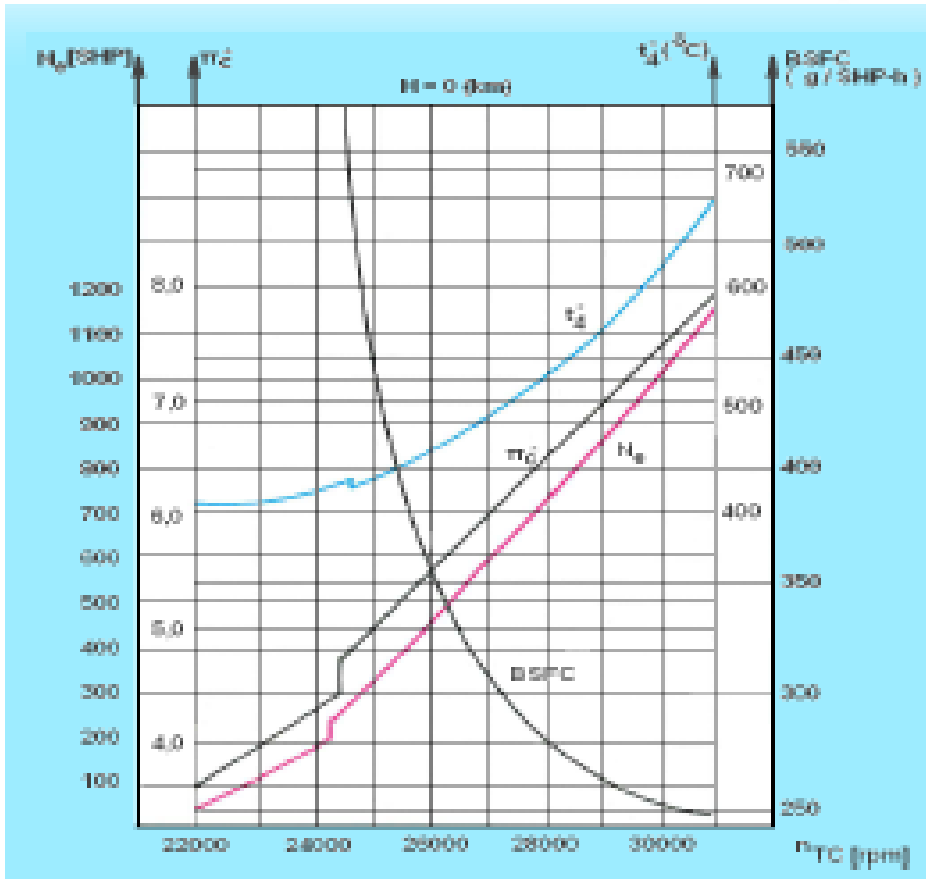
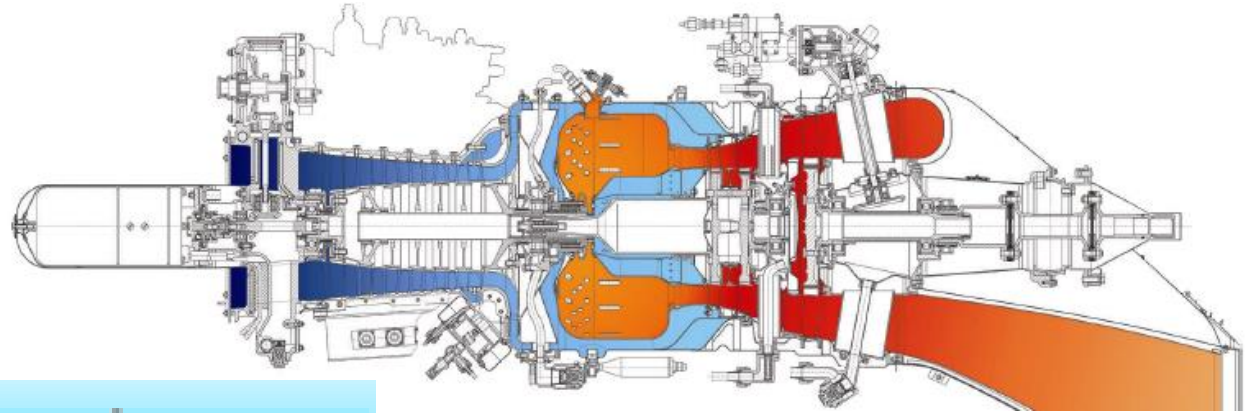
Moc śmigła w funkcji prędkości  $P=C n^3$

# Charakterystyka turbinowego silnika śmigłowego z wolną turbiną





# PZL -10 W



**Charakterystyka silnika  
turbinowego śmigłowego  
PZL-10W**

# Zestawienie silników

|   | Ciąg jednostkowy<br>[daN*s/kg]          | Jednostkowe zużycie<br>paliwa [kg/daN/s]    |
|---|---|---|
| Silniki jednoprzepływowe                              | 50-70                                   | 0,8-1,1                                     |
| Silniki jednoprzepływowe<br>z dopalaczem              | 80-110                                  | 1,7-2,2                                     |
| Silniki dwuprzepływowe z<br>mieszalnikiem             | 50-75                                   | 0,6-0,8                                     |
| Silniki dwuprzepływowe z<br>mieszalnikiem (dopalanie) | 75-110                                  | 1,9-2,5                                     |
| Silniki dwuprzepływowe<br>duży st. dwuprzepływowe     | 25-60                                   | 0,3-0,7                                     |
| Turbinowe silniki<br>śmigłowe                         | 160-300 [kW*s/kg]<br>240-450 [daN*s/kg] | 0,22-0,35 [kg/kW/h]<br>0,15-0,25 [kg/daN/s] |