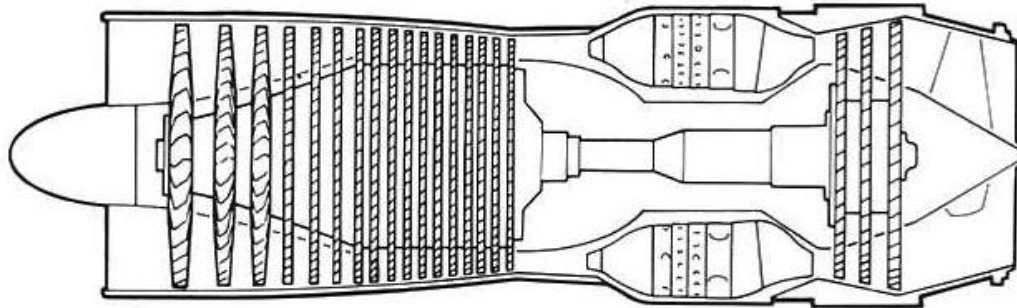


Analiza silnika jednoprzepływowego



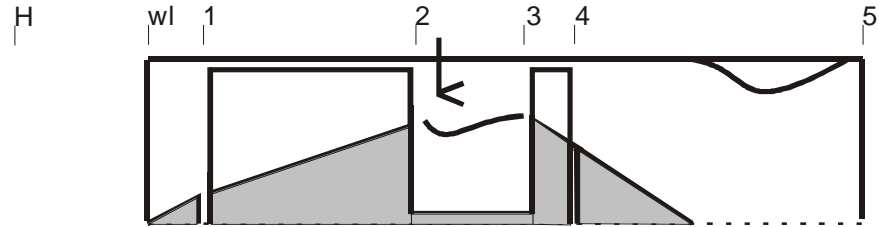
- Dane wstępne
 - Parametry otoczenia
 - Temperatura dopuszczalna (maksymalna) gazów przed turbiną
 - Zakładany ciąg silnika

Analiza parametrów termodynamicznych obiegu silnika jednoprzepływowego

DANE

$$T_H, p_H, Ma_H, \pi_s^*, T_3^*, \dot{m}$$

Sprawności oraz straty przepływowe zespołów silnika
W analizie przyjęto model gazu doskonałego



WLOT:

$$T_1^* = T_H^* = T_H \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma_H^2 \right)$$

$$p_1^* = \sigma_{wl}^* \cdot p_H^* = \sigma_{wl}^* p_H \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma_H^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

SPRĘŻARKA

$$p_2^* = \pi_s^* \cdot p_1^*$$

$$T_2^* = T_1^* \left(1 + \frac{\pi_s^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_s^*} \right) \quad \text{lub} \quad T_2^* = T_1^* \pi_s^{*k \cdot \eta_{s-pol}^* \frac{k-1}{k}}$$

Analiza parametrów termodynamicznych obiegu silnika jednoprzepływowego c.d.

KOMORA SPALANIA

(na podstawie bilansu komory spalania)

$$\tau_{pal} = \frac{\dot{m}_{pal}}{\dot{m}} = \frac{c_p (T_3^* - T_2^*)}{\xi_{ks} W_u - c_p T_3^*} \approx \frac{c_p (T_3^* - T_2^*)}{\xi_{ks} W_u} \quad p_3^* = \sigma_{KS}^* \cdot p_2^*$$

TURBINA

(na podstawie bilansu mocy turbina-sprężarka)

$$T_4^* = T_3^* - \frac{T_2^* - T_1^*}{\eta_m (1 + \tau_{pal})} \quad p_4^* = p_3^* \left(\frac{\eta_T^* + \frac{T_4^*}{T_3^*} - 1}{\eta_T^*} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$p_4^* = p_3^* \left(\frac{T_4^*}{T_3^*} \right)^{\frac{k}{(k-1)\eta_{T-pol}^*}}$$

Analiza parametrów termodynamicznych obiegu silnika jednoprzepływowego c.d.

DYSZA WYLOTOWA (przy założeniu rozprężu zupełnego)

$$p_5 = p_H \quad T_5^* = T_4^*$$

$$p_5^* = \sigma_{dysz}^* \cdot p_4^*$$

$$Ma_5 = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left(\left(\frac{p_5^*}{p_5} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}$$

lub

$$T_5 = T_5^* / \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma_5^2 \right)$$

$$c_5 = Ma_5 \sqrt{kRT_5}$$

$$T_{5_iz} = T_4^* \left(p_5 / p_4^* \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$Ma_{5_iz} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left(\left(\frac{p_4^*}{p_5} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}$$

$$c_{5_iz} = Ma_{5_iz} \sqrt{kRT_{5_iz}}$$

$$c_5 = \phi_{dysz} c_{5_iz}$$

$$T_5 = T_5^* - \frac{c_5}{2c_p}$$

Parametry pracy silnika

Ciąg jednostkowy

$$k_j = (1 + \tau_{pal}) \cdot c_5 - V_H$$

Jednostkowe zużycie paliwa

$$c_j = \frac{\tau_{pal}}{k_j}$$

Dobór podstawowych parametrów pracy silnika

Optymalizacja parametrów obiegu termodynamicznego silnika jednoprzepływowego

Polega ona na poszukiwaniu maksimum pracy obiegu (ciągu, ciągu jednostkowego) i minimum jednostkowego zużycia paliwa w zależności od parametrów termodynamicznych silnika.

$$k_{j_max}(\pi_c, T_3^*) \Leftrightarrow \left. \frac{dk_j}{dT_3^*} \right|_{\pi_c = idem} = 0$$

Wartość parametru, przy której ciąg (ciąg jednostkowy) osiąga maksymalną wartość określa się mianem optymalny np. spręż optymalny

$$c_{j_min}(\pi_c, T_3^*) \Leftrightarrow \left. \frac{dc_j}{d\pi_c} \right|_{T_3^* = idem} = 0$$

Wartość parametru, przy której jednostkowe zużycie paliwa osiąga wartość minimalną określa się mianem ekonomiczny np. spręż ekonomiczny

Wyznaczenie charakterystyki k_j , c_j dla różnych wartości sprężu

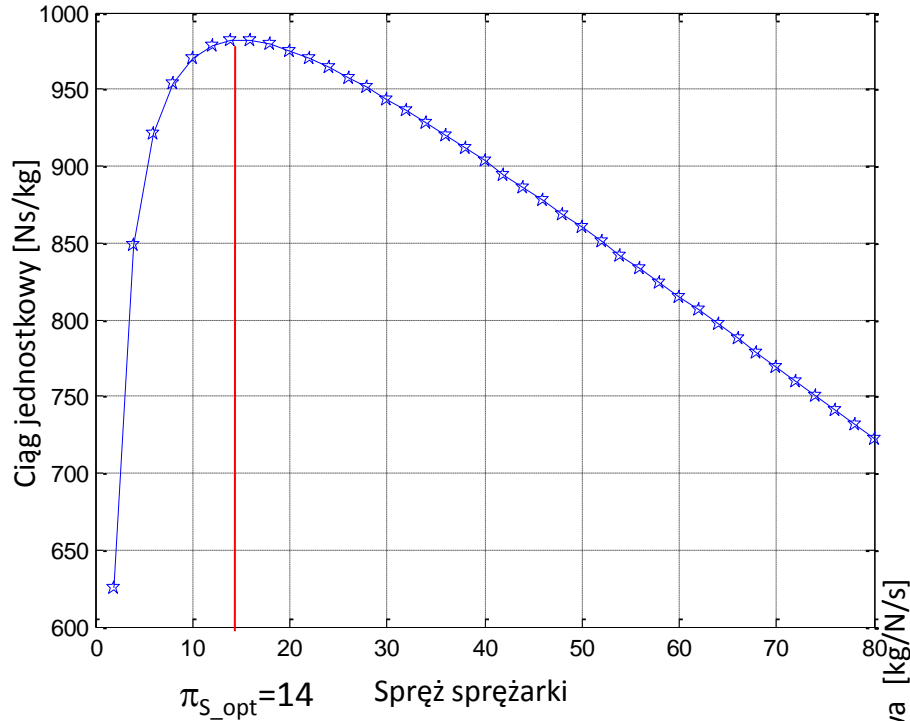
π_s	k_j [Ns/kg]	c_j [kg/N/s]	π_s	k_j [Ns/kg]	c_j [kg/N/s]
2	625,0	5,83E-05	32	935,8	2,51E-05
4	848,0	4,03E-05	34	927,9	2,48E-05
6	920,5	3,54E-05	36	919,8	2,46E-05
8	953,9	3,29E-05	38	911,6	2,44E-05
10	970,7	3,13E-05	40	903,2	2,42E-05
12	978,9	3,01E-05	42	894,7	2,40E-05
14	981,9	2,91E-05	44	886,1	2,38E-05
16	981,7	2,84E-05	46	877,4	2,36E-05
18	979,3	2,78E-05	48	868,6	2,35E-05
20	975,3	2,72E-05	50	859,8	2,33E-05
22	970,3	2,68E-05	52	851,0	2,32E-05
24	964,4	2,64E-05	54	842,1	2,31E-05
26	957,9	2,60E-05	56	833,1	2,30E-05
28	950,9	2,57E-05	58	824,1	2,28E-05
30	943,5	2,54E-05	60	815,1	2,27E-05

Temperatura gazów przed turbiną - 1600K

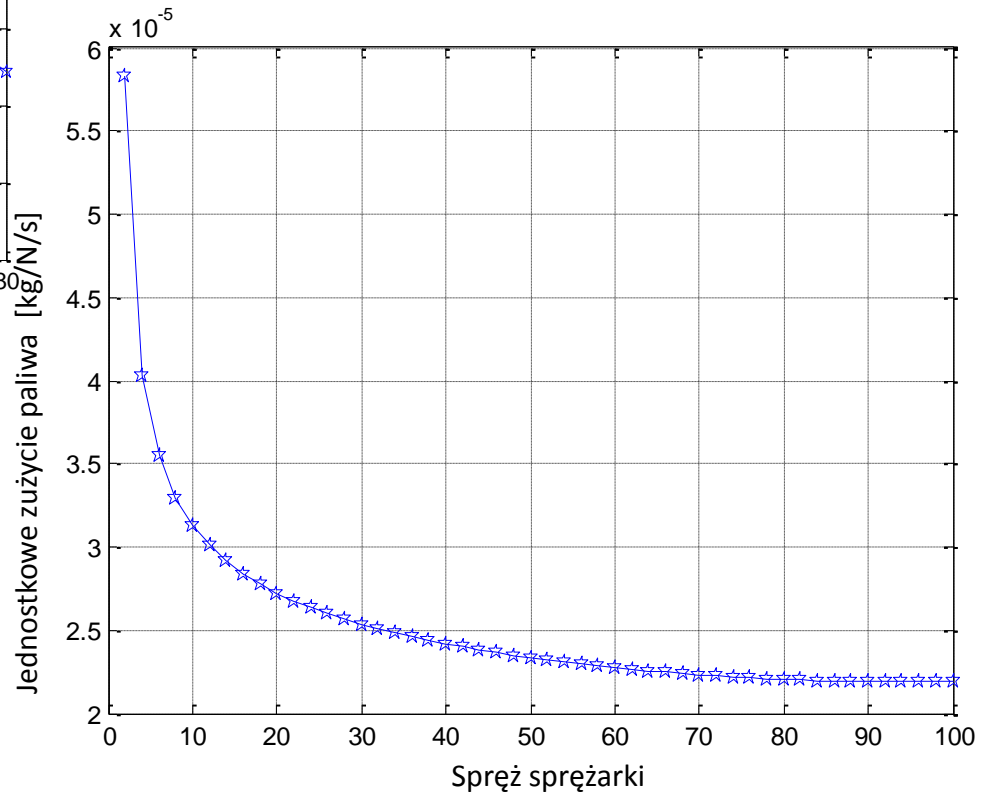
Temperatura otoczenia - 288 K, ciśnienie 10^5 Pa

Stopień podgrzania – 5,55

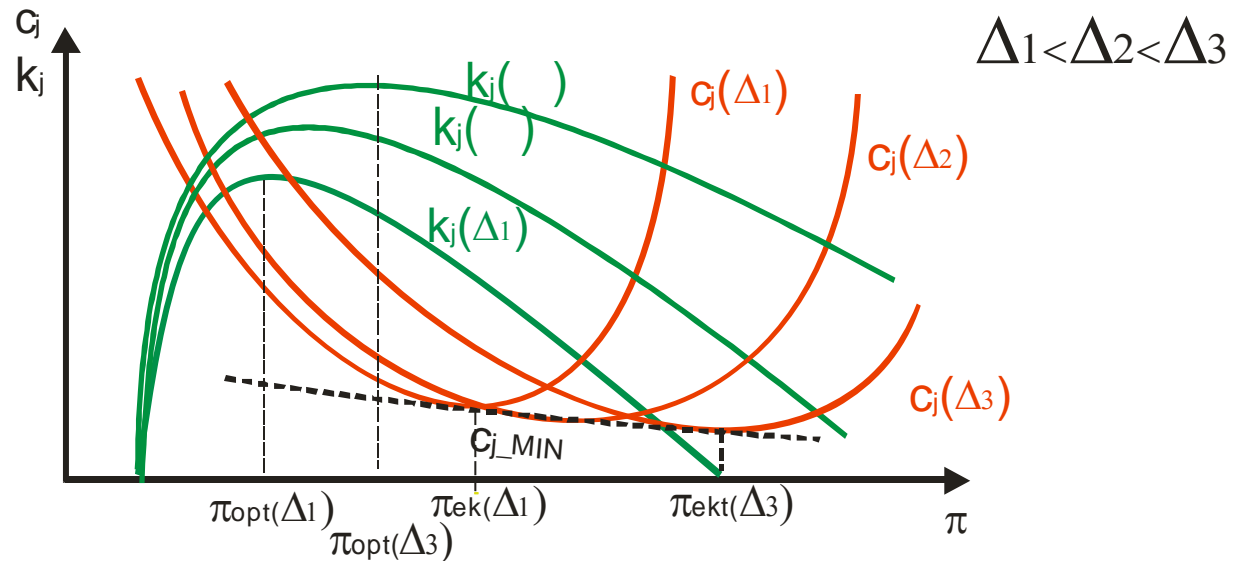
Graficzne zobrazowanie zależności



$$\pi_{s_opt_siln_id} = \sqrt{\left(\frac{T_s^*}{T_H}\right)^{\frac{k}{k-1}}} = \sqrt{\left(\frac{1600}{288}\right)^{\frac{1,4}{0,4}}} = 20,1$$



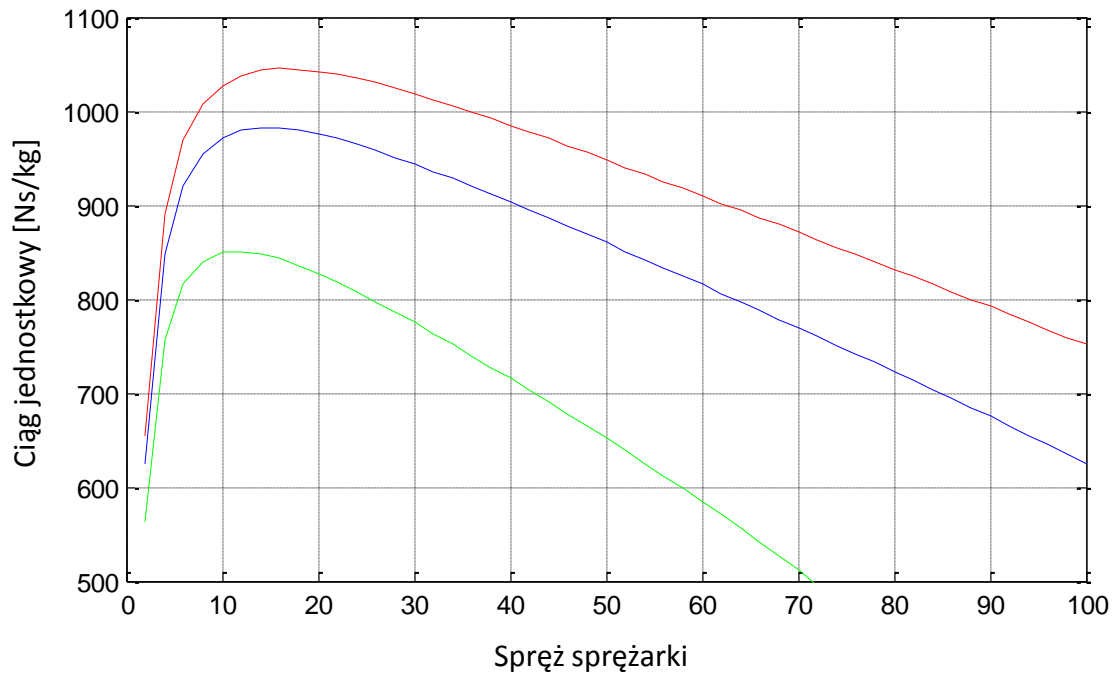
Wpływ stopnia podgrzania na wartości sprężu optymalnego i ekonomicznego



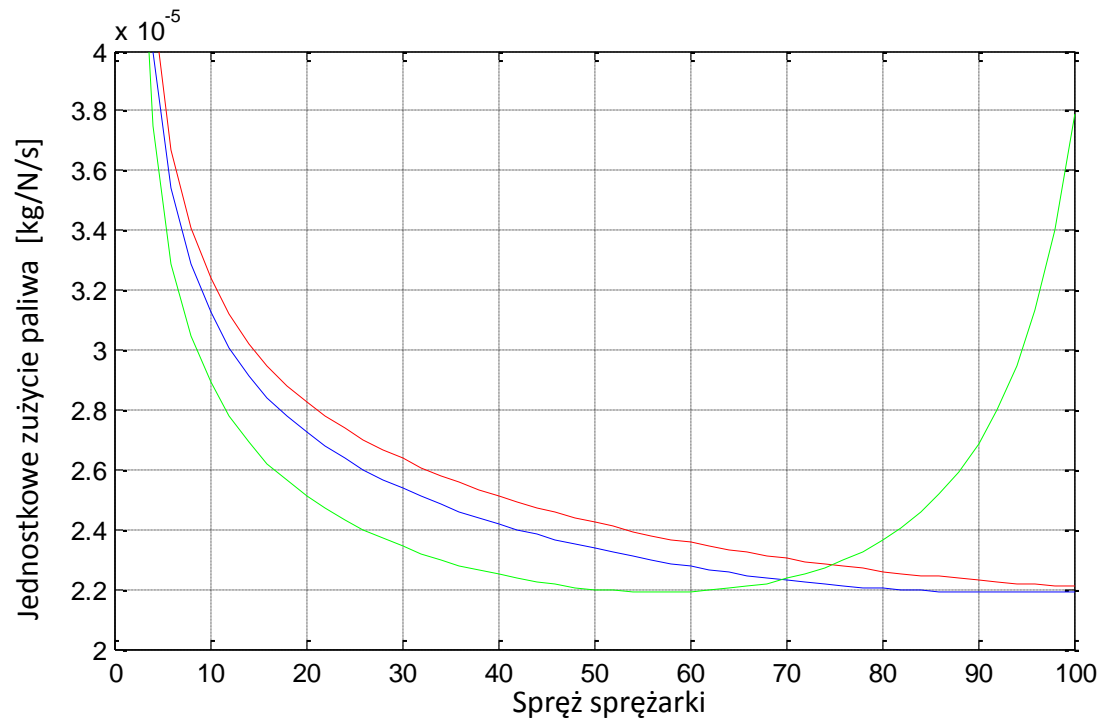
Ze wzrostem stopnia podgrzania silnika:

- wzrasta ciąg maksymalny silnika, który jest osiągnięty przy większych wartościach sprężu optymalnego
- obniża się wartość minimalnego jednostkowego zużycia paliwa, które jest osiągnięte przy większych wartościach sprężu ekonomicznego
- rozszerza się zakres sprężu, przy których praca obiegu jest dodatnia.
- zwiększa się rozbieżność pomiędzy wartościami sprężu optymalnego i ekonomicznego

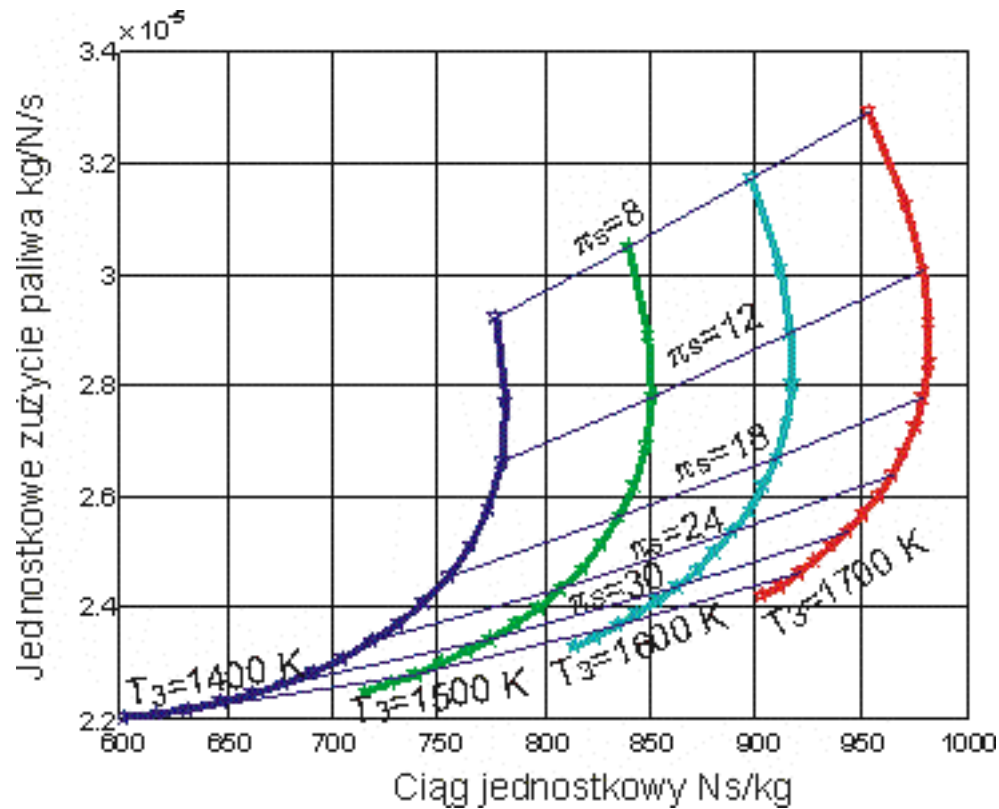
Charakterystyka ta tłumaczy dlaczego dąży się do podnoszenia maksymalnej temperatury obiegu silnika turbinowego oraz dlaczego musi towarzyszyć temu wzrost sprężu silnika



Stopień podgrzania 4,9
 Stopień podgrzania 5,5
 Stopień podgrzania 5,9



Zależność pomiędzy ciągiem jednostkowym i jednostkowym zużyciem paliwa

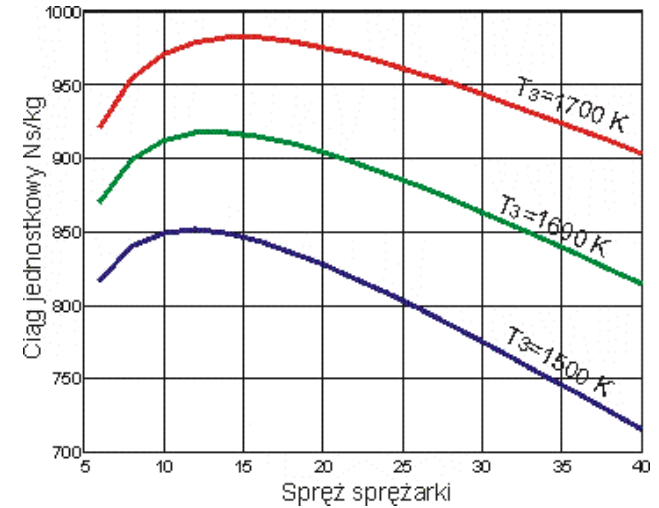
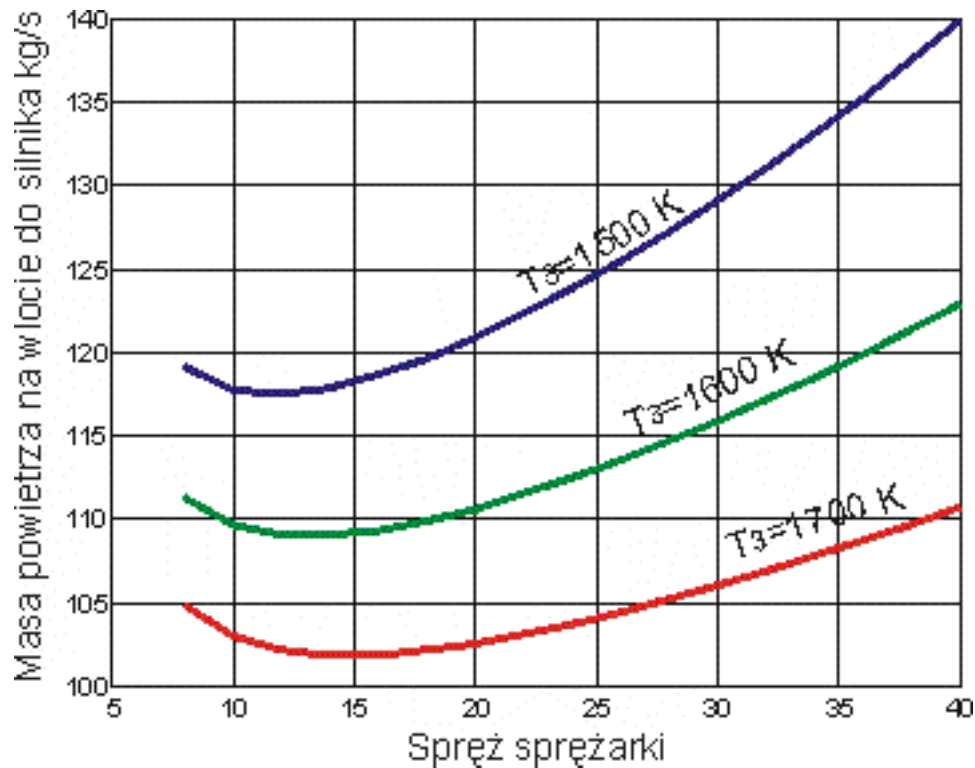


Temperaturę otoczenia przyjęto 288 K

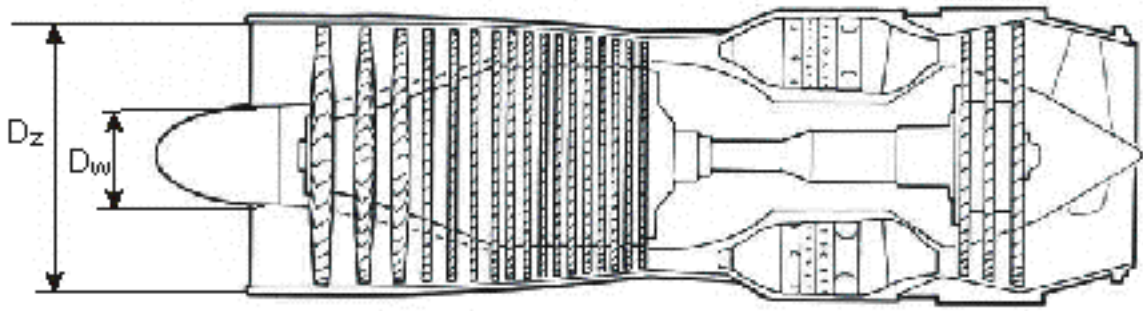
Wymiarowanie silnika

Wyznaczanie strumienia masy powietrza przepływającej przez silnik

$$\dot{m} = \frac{K}{k_j} \quad \text{Przykładowe wyniki dla } K=100 \text{ kN}$$



Ocena średnicy wlotowej silnika



$$\dot{m} = \rho c A \Rightarrow A = \frac{\dot{m}}{\rho c}$$

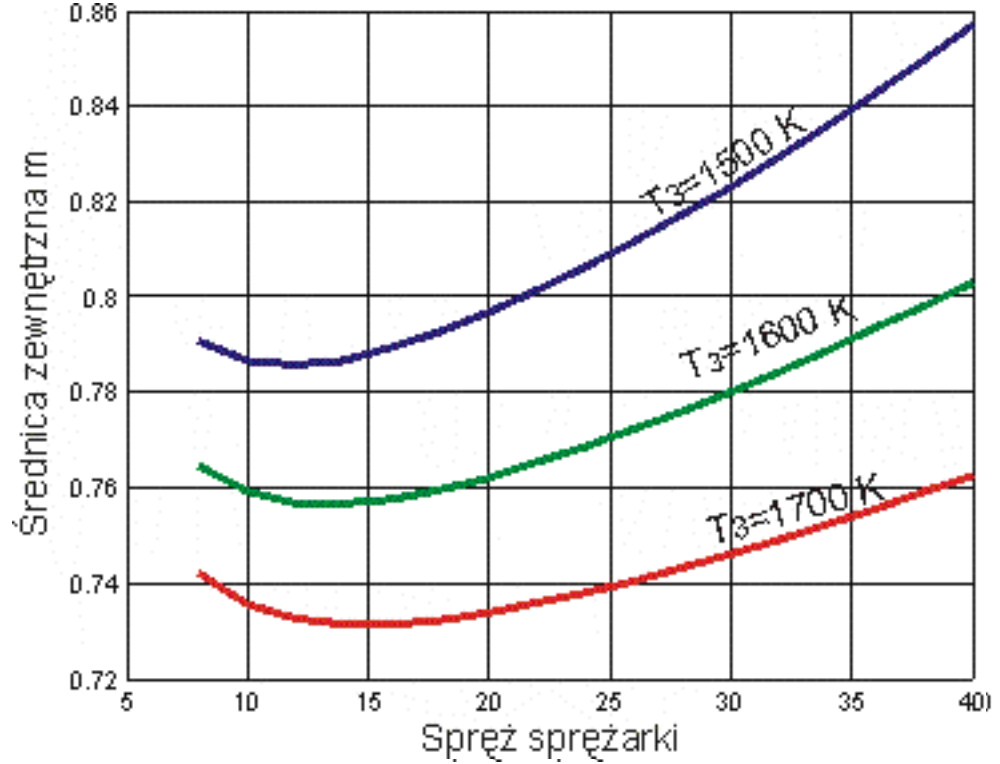
Przyjmując $c=200$ m/s
i gęstość powietrza $1,2$ kg/m³

$$D_w = 0,2 \cdot D_z$$

$$A_{rz} = A / 0,97$$

$$A_{rz} = \pi \frac{(D_z)^2 - (D_w)^2}{4}$$

$$D_w = 0,2 D_z$$



Ocena wymiarów osiowych i masowych silnika

- Ocena taka jest możliwa do wykonania z wykorzystaniem danych statystycznych silników na podstawie których można opracować korelacje pomiędzy masą i wymiarami poszczególnych zespołów, a podstawowymi parametrami silnika.