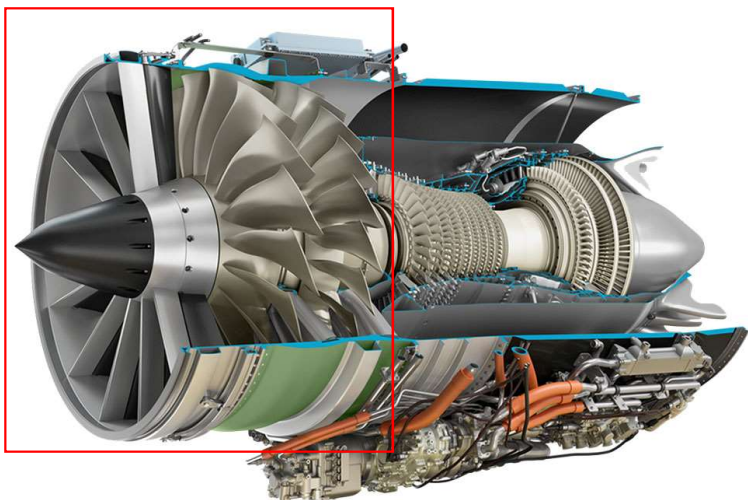


Sprężarki i wentylatory silników lotniczych

Dr inż. Robert Jakubowski

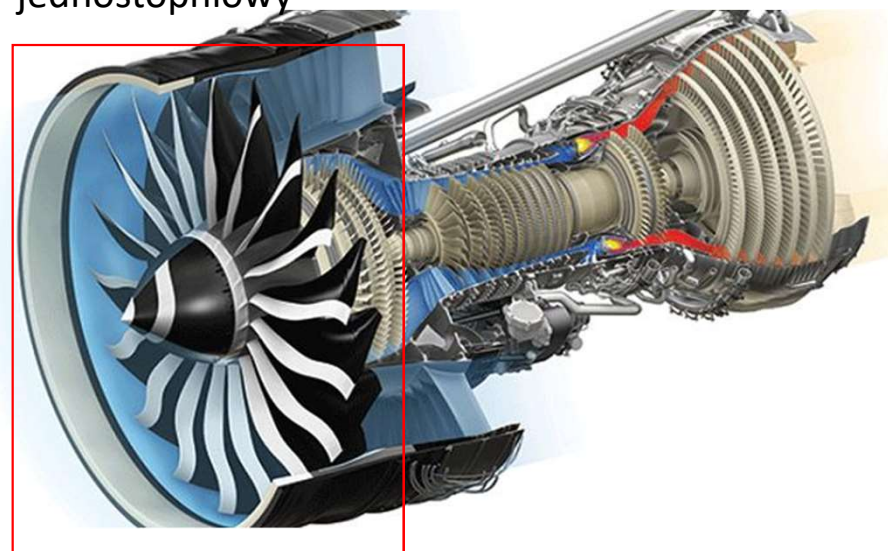
Wentylator w silniku odrzutowym

Wentylator dwustopniowy

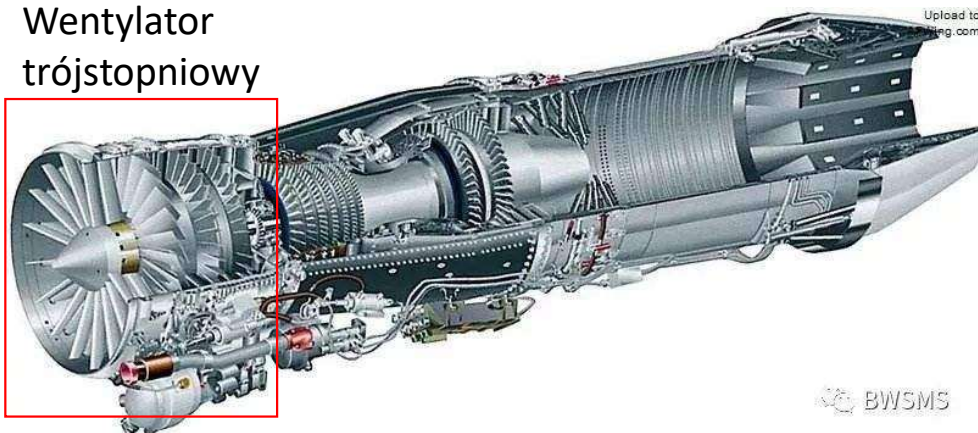


Wentylator w silniku lotniczym, to urządzenie sprężające powietrze, które następnie wpływa do kanału zewnętrznego i wewnętrznego silnika - występuje w silnikach dwuprzepływowych. Działa podobnie jak sprężarka osiowa i w zależności od rodzaju silnika może mieć od dwóch do czterech stopni.

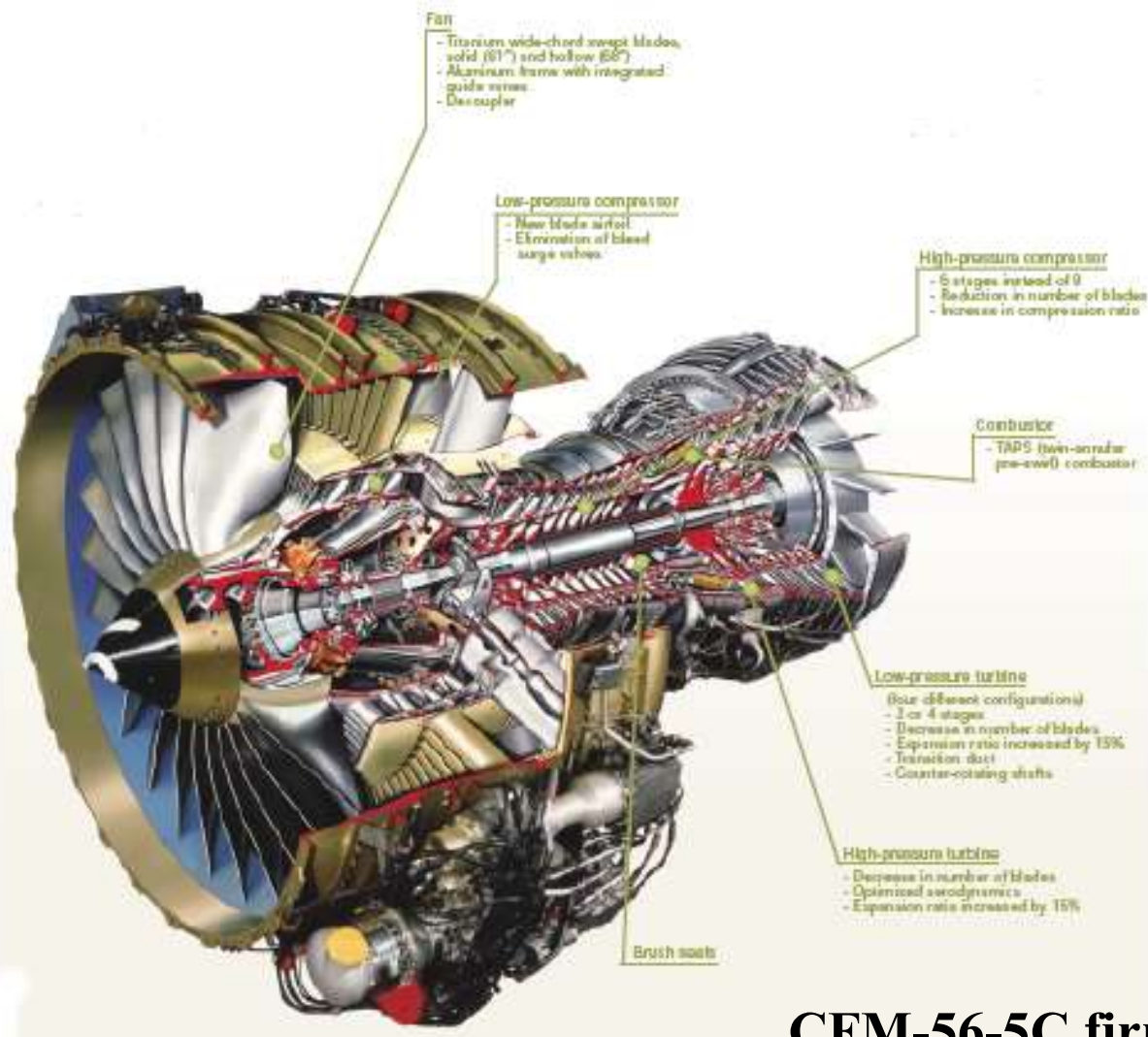
Wentylator
jednostopniowy



Wentylator
trójstopniowy



Wentylator

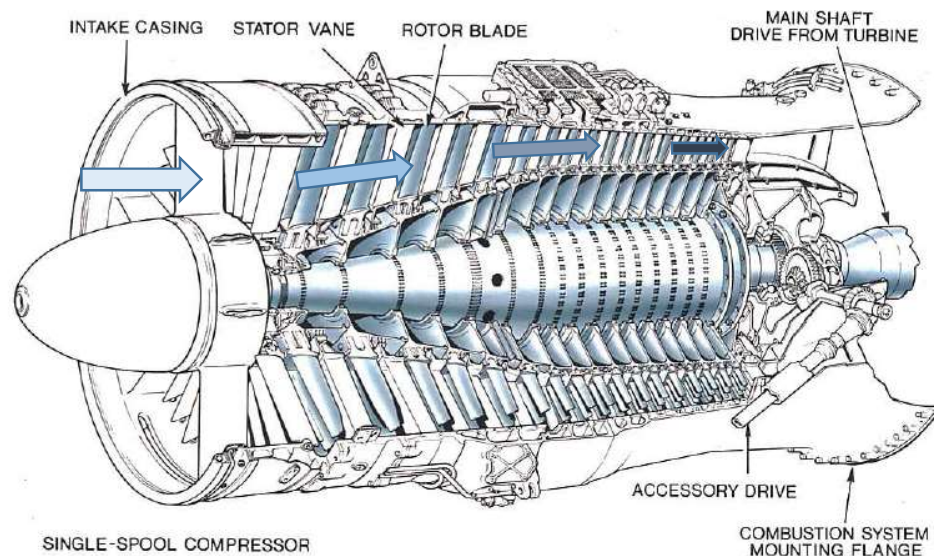


Hollow wide-chord swept blade.



CFM-56-5C firmy Snecma

Podział sprężarek – sprężarka osiowa



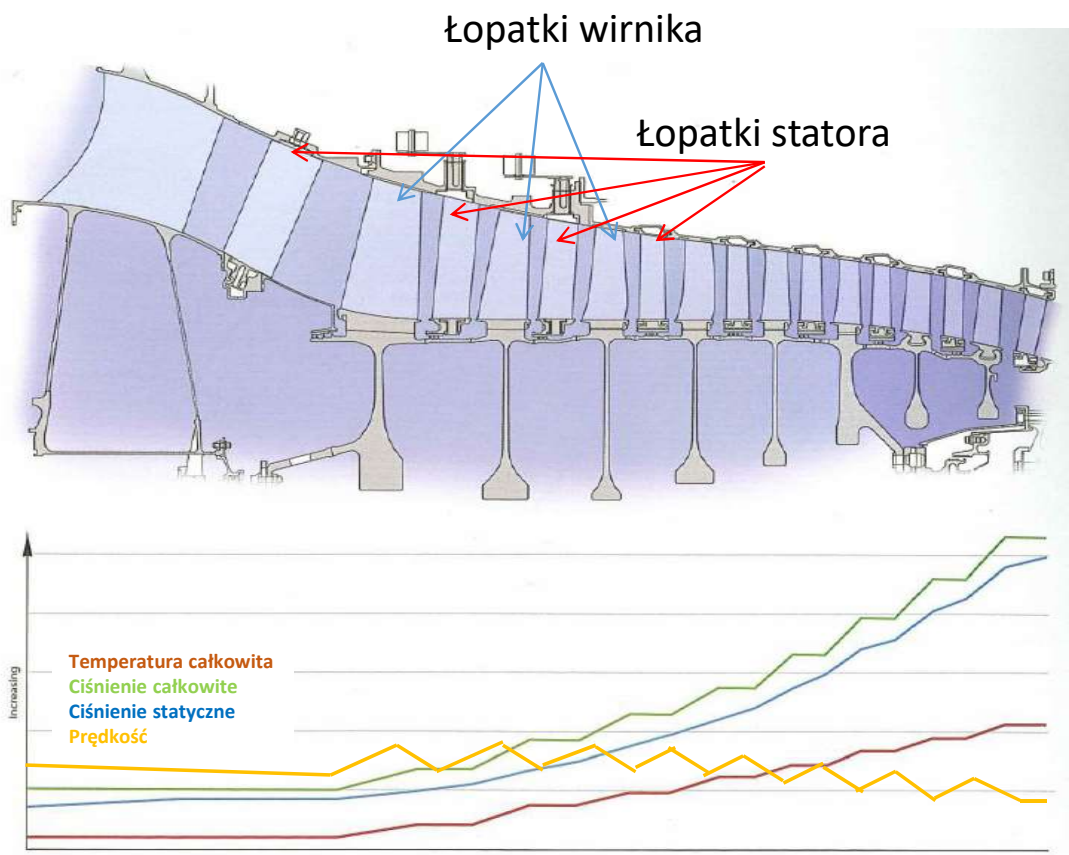
Zalety:

- możliwość uzyskania wysokiego sprężu sumarycznego
- duże przepływy powietrza

Wady:

- niski spręż na pojedynczym stopniu
- mała sprawność krótkich łopatek

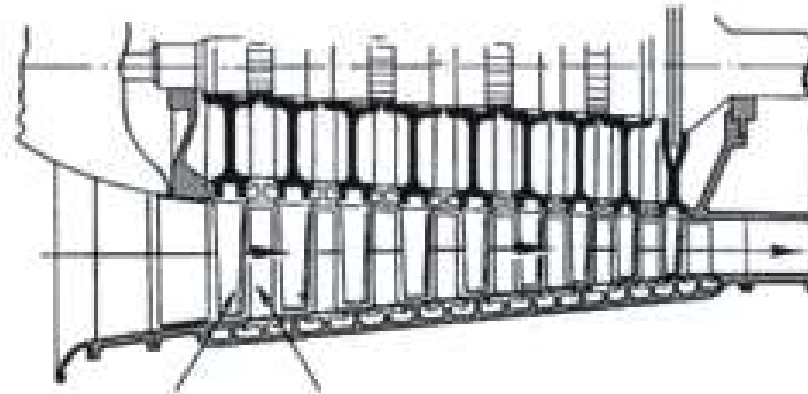
Zmiany ciśnienia temperatury i prędkości w sprężarce osiowej



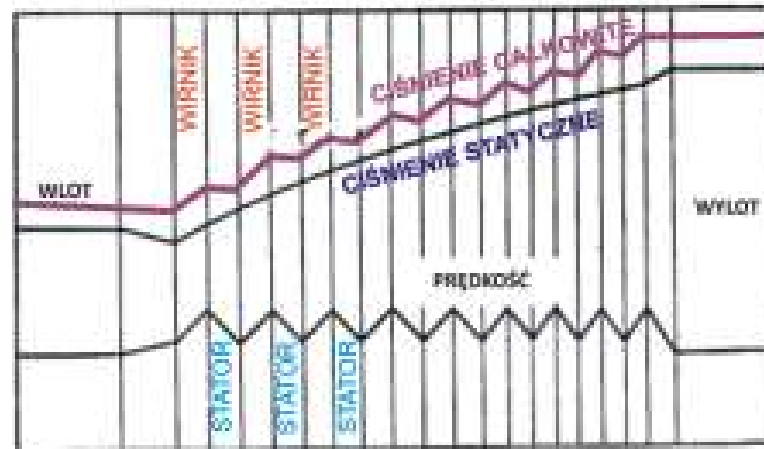
Wartość temperatury za sprężarką dla wysokości 0 m

Spręż sprężarki	Krotność zwiększenia temp.	Temp za spręż K
10	2	600
20	2,6	750
30	2,9	850
40	3,2	930
50	3,5	1000

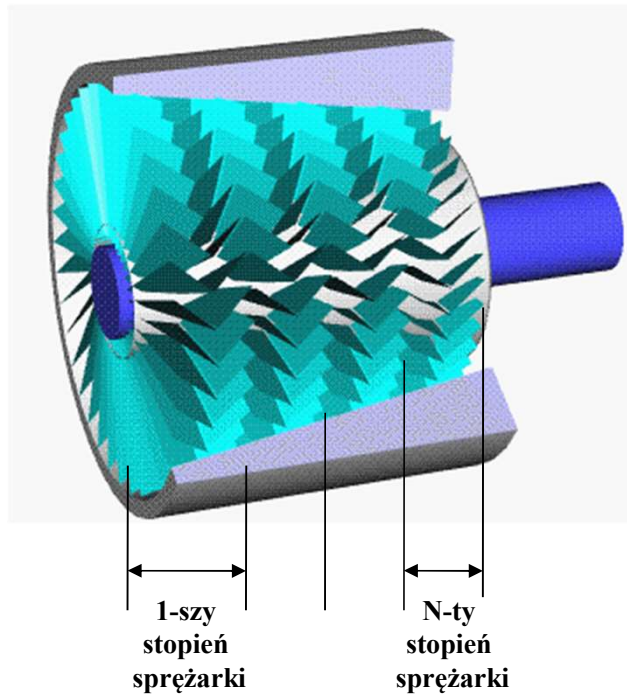
Zmiany ciśnienia i prędkości w sprężarce osiowej



łopatki wirnika łopatki statora



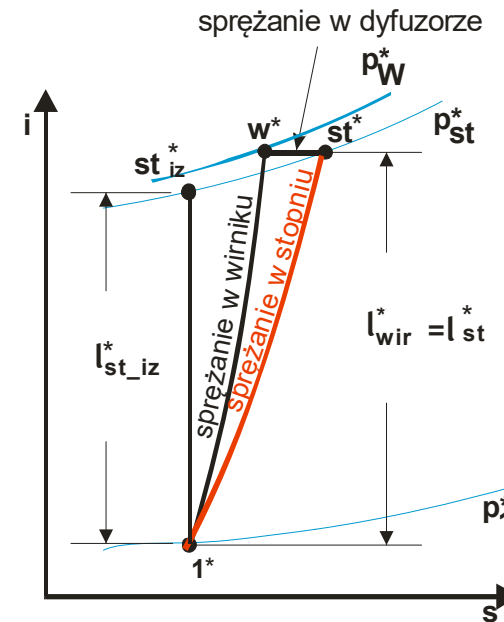
Sprężarka osiowa



Praca stopnia sprężarki:

$$l_{st}^* = u(c_{2u} - c_{1u})$$

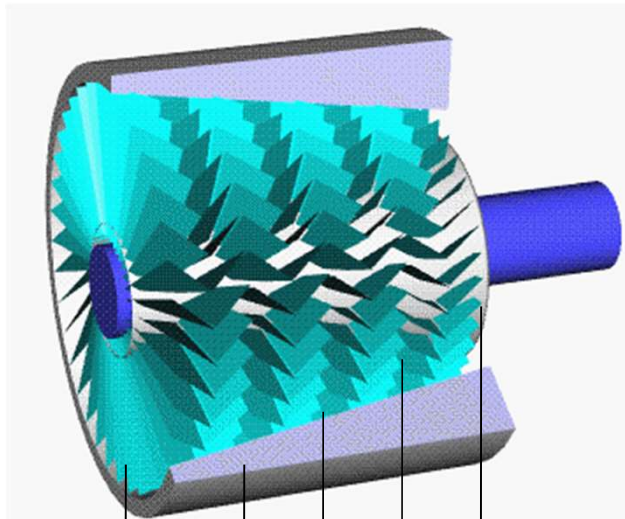
CHARAKTERYSTYKA PRACY STOPNIA SPRĘŻARKI



Sprawność stopnia sprężarki:

$$\eta_s^* = \frac{l_{st_iz}^*}{l_{st}^*} = \frac{i_{st_iz}^* - i_1^*}{i_{st}^* - i_1^*}$$

Sprężarka osiowa



1-szy stopień sprężarki

N-ty stopień sprężarki

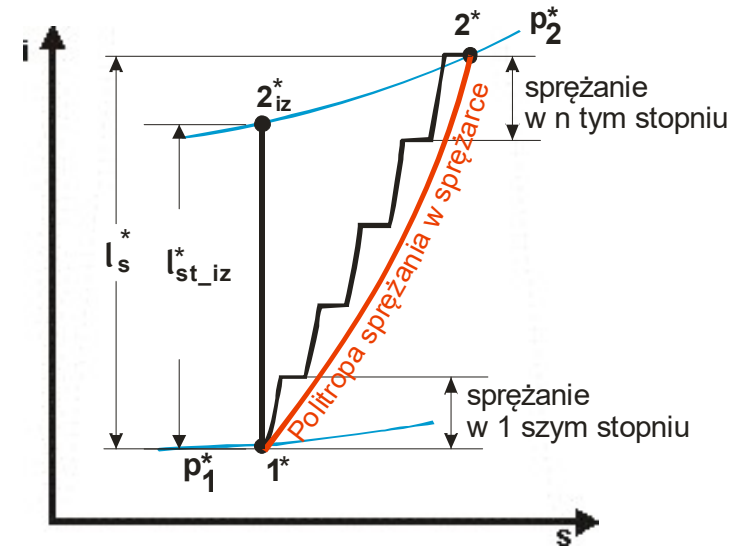
Praca sprężarki:

$$l_s^* = \sum_{i=1}^n l_{st}^* = c_p (T_2^* - T_1^*)$$

Spręż sprężarki:

$$\pi_s^* = \prod_{i=1}^n \pi_{st}^*$$

CHARAKTERYSTYKA PRACY SPRĘŻARKI



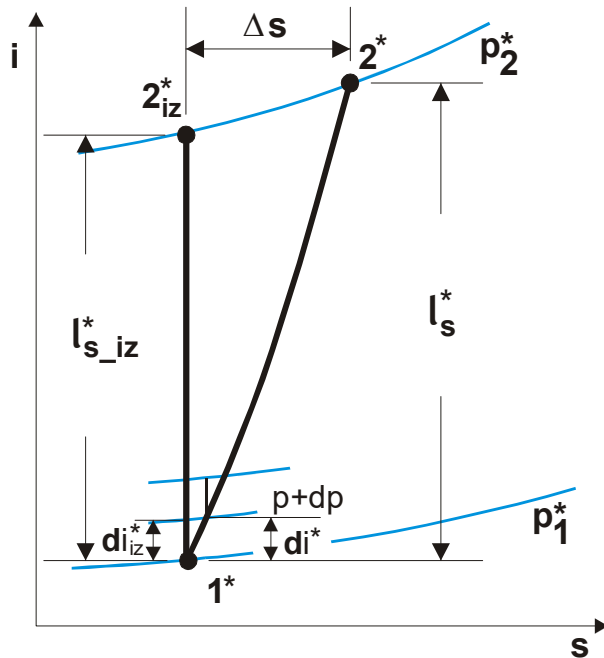
Sprawność izentropowa sprężarki:

$$\eta_s^* = \frac{l_{s_iz}^*}{l_s^*} = \frac{i_{2_iz}^* - i_1^*}{i_2^* - i_1^*}$$

$$\eta_s^* = \frac{\left(\prod_{i=1}^n \pi_{st_i}^* \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^{i-1} \left(\frac{\pi_{st_j}^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{st_j}^*} + 1 \right) \frac{\pi_{st_i}^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{st_i}^*} \right)}$$

Procesy termodynamiczne w zespołach silnika

SPRĘŻARKA (COMPRESSOR)



Przyrost entalpii w sprężarce:

$$i_2^* = i_1^* + l_s^*$$

Sprawność sprężarki:

izentropowa $\eta_s^* = \frac{l_{s_iz}^*}{l_s^*} = \frac{i_{2_iz}^* - i_1^*}{i_2^* - i_1^*}$

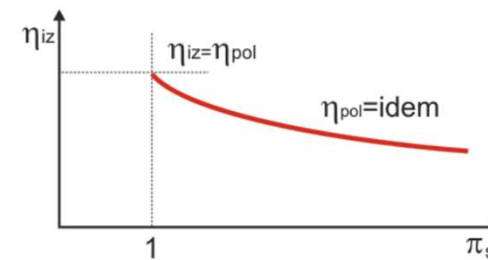
politropowa $\eta_{s_pol}^* = \frac{dh_{iz}^*}{dh^*} = \frac{\ln(p_2^*/p_1^*)^{\frac{k-1}{k}}}{\ln(T_2^*/T_1^*)}$

Zależność zmiany temperatury od sprężu sprężarki:

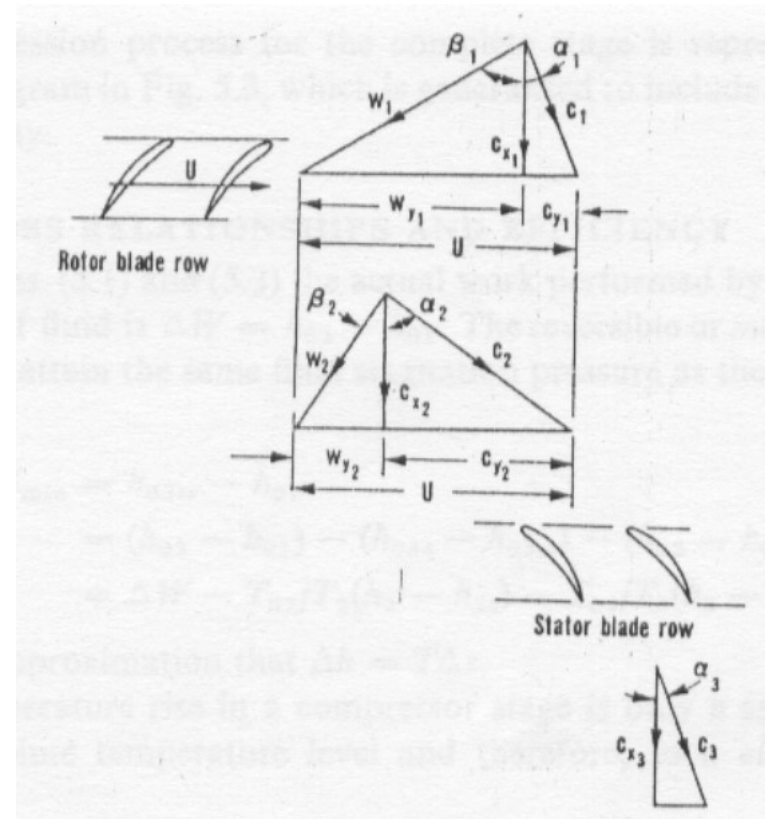
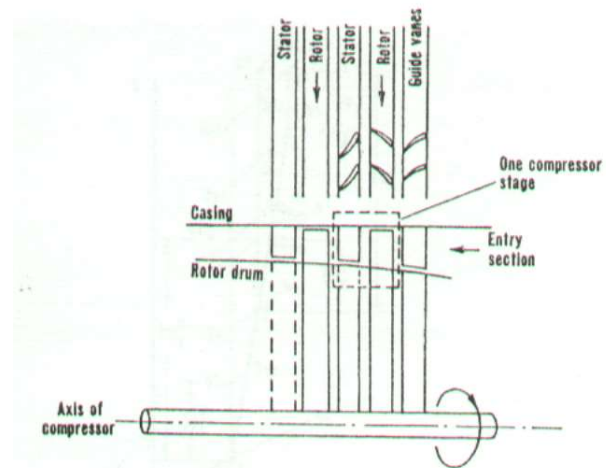
$$T_2^* = T_1^* \left(1 + \frac{\pi_s^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{s_iz}^*} \right)$$

$$T_2^* = T_1^* \pi_s^{*k \cdot \eta_{s_pol}^*}$$

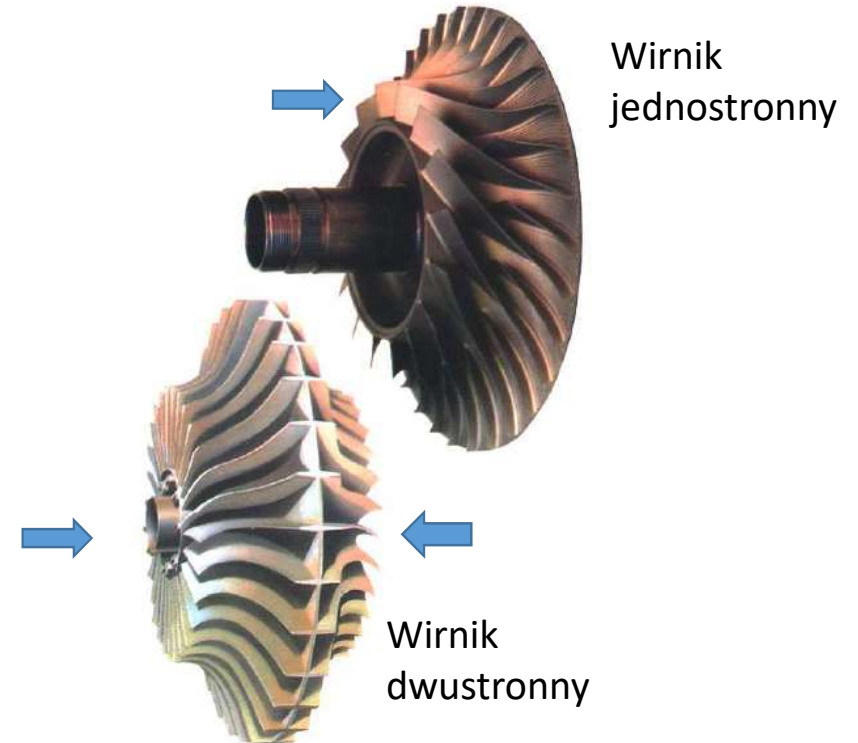
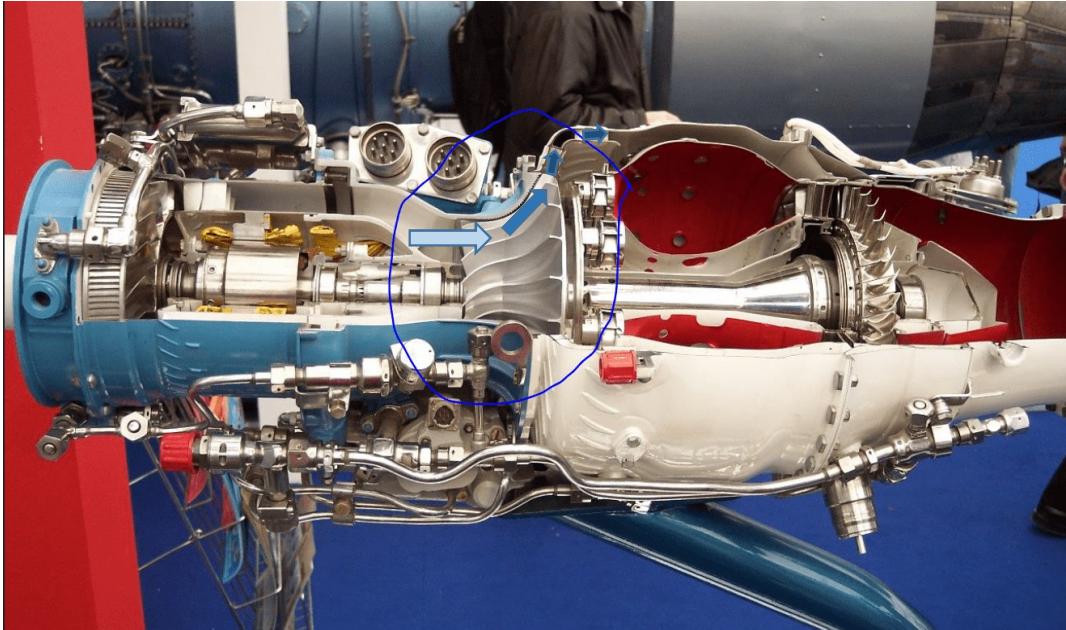
Zależność sprawności izentropowej sprężania od sprężu dla stałej sprawności politropowej



Przepływ przez sprężarkę osiową



Podział sprężarek – sprężarka promieniowa, odśrodkowa



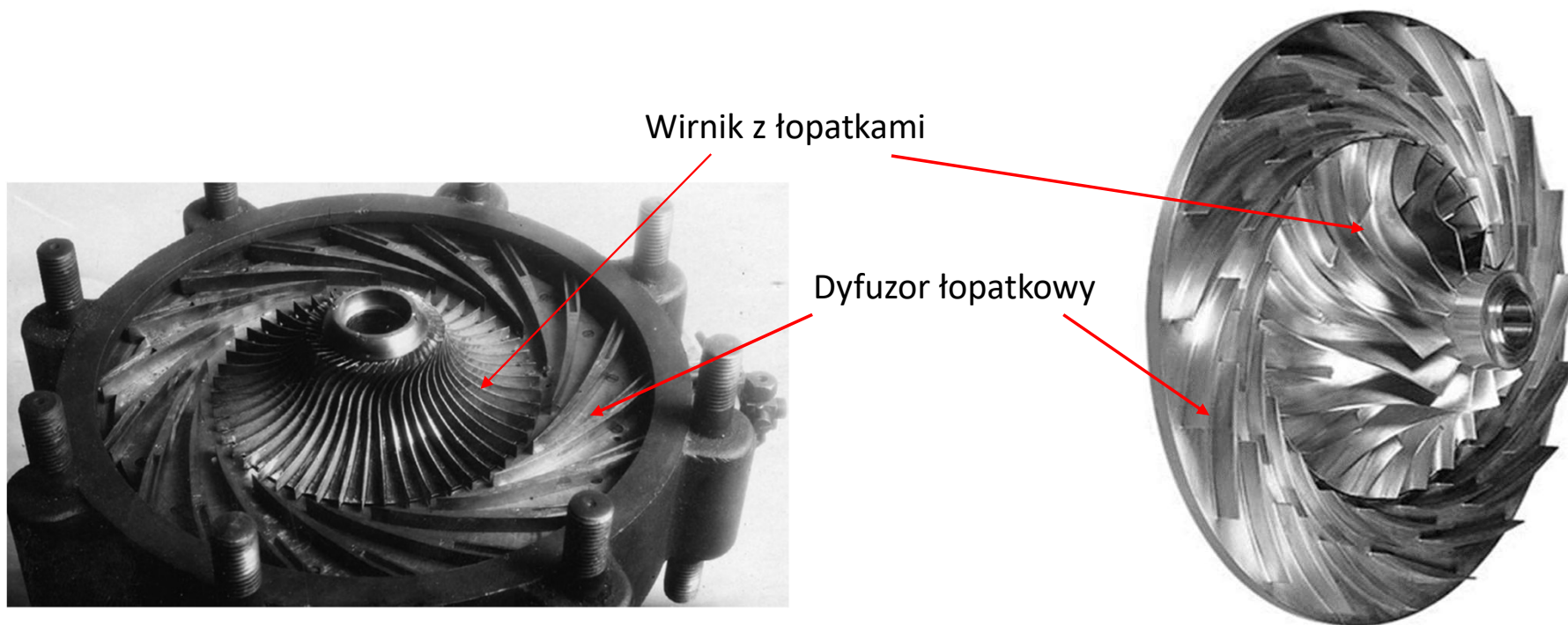
Zalety:

- wysoki spręż na pojedynczym stopniu
- możliwość stosowania dla małych wydatków przepływu powietrza

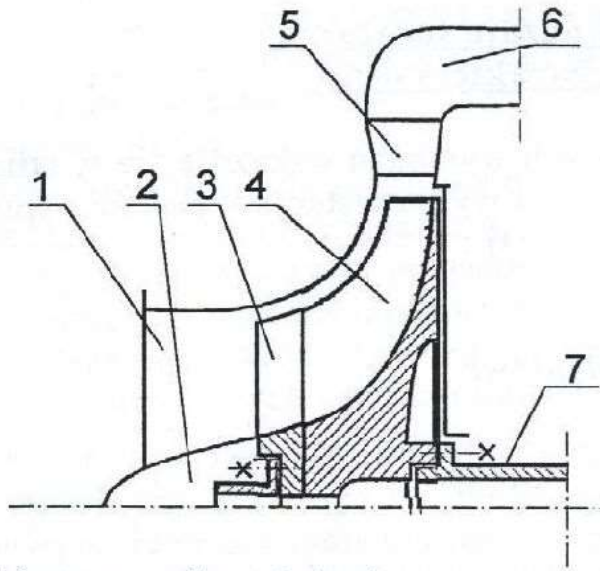
Wady:

- ograniczona ilość przepływającego powietrza
- niższe wartości prędkości obrotowej niż w sprężarce osiowej

Budowa sprężarki promieniowej/odśrodkowej



Sprężarka promieniowa



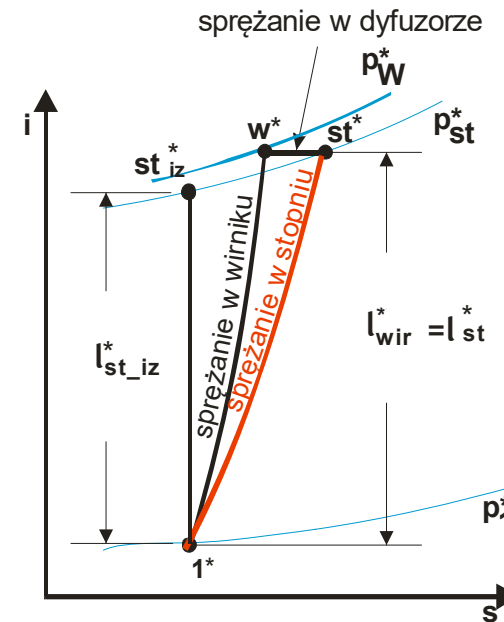
Rys.1 Schemat sprężarki promieniowej
1-włot; 2-owiewka; 3-zabierak; 4-kanaly międzyłopatkowe wirnika;
5-dyfuzor; 6-wylot; 7-wał

Praca stopnia sprężarki:

$$l_{st}^* = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}$$

Zwiększona prac pojedynczego stopnia sprężarki promieniowej powoduje większy spręż na pojedynczym stopniu

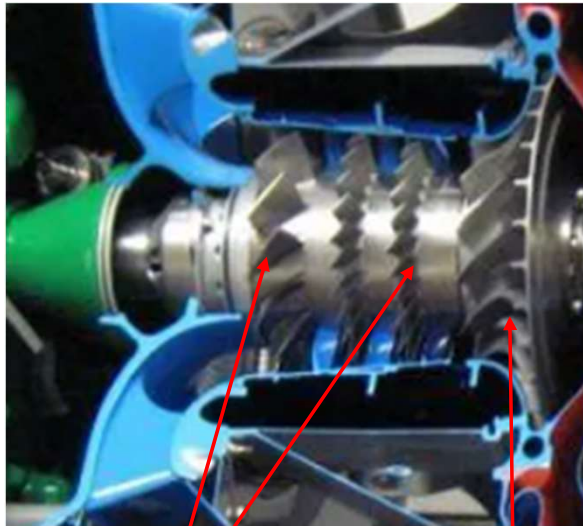
CHARAKTERYSTYKA PRACY STOPNIA SPRĘŻARKI



Sprawność stopnia sprężarki:

$$\eta_s^* = \frac{l_{st_iz}^*}{l_{st}^*} = \frac{i_{st_iz}^* - i_1^*}{i_{st}^* - i_1^*}$$

Sprężarka osiowo-odśrodkowa/promieniowa



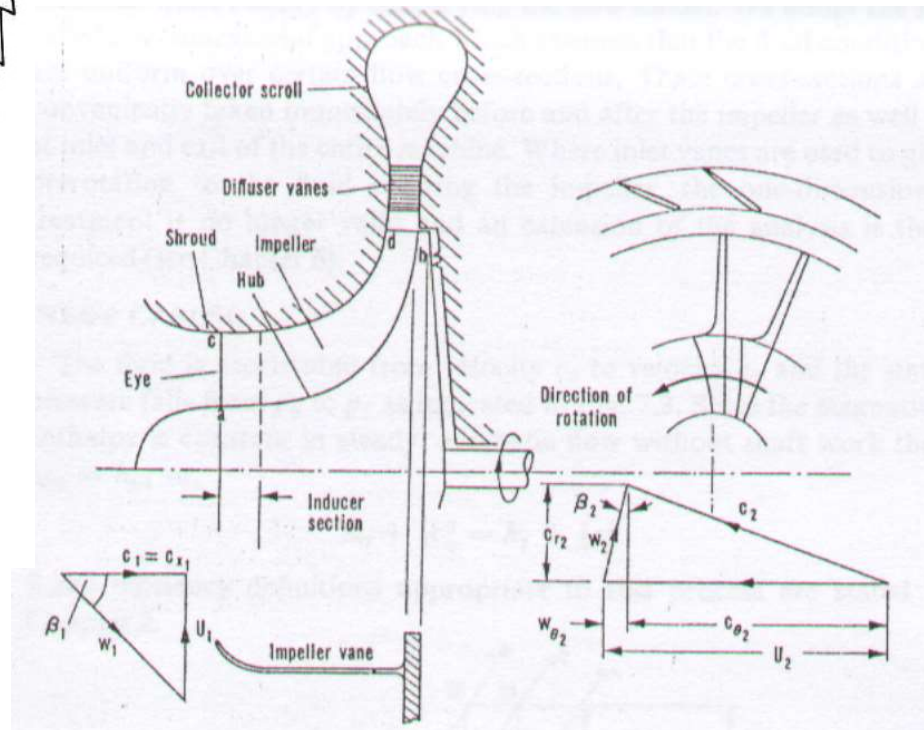
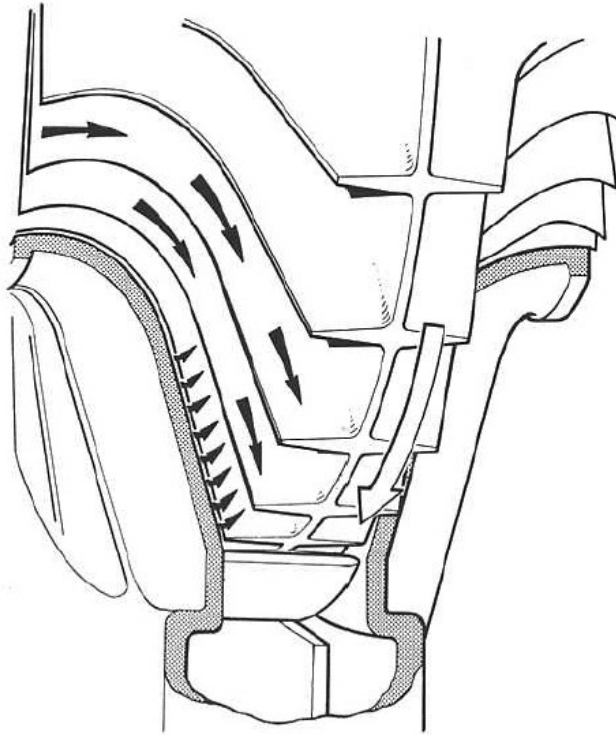
Stopnie osiowe
sprężarki

Ostatni stopień
odśrodkowy

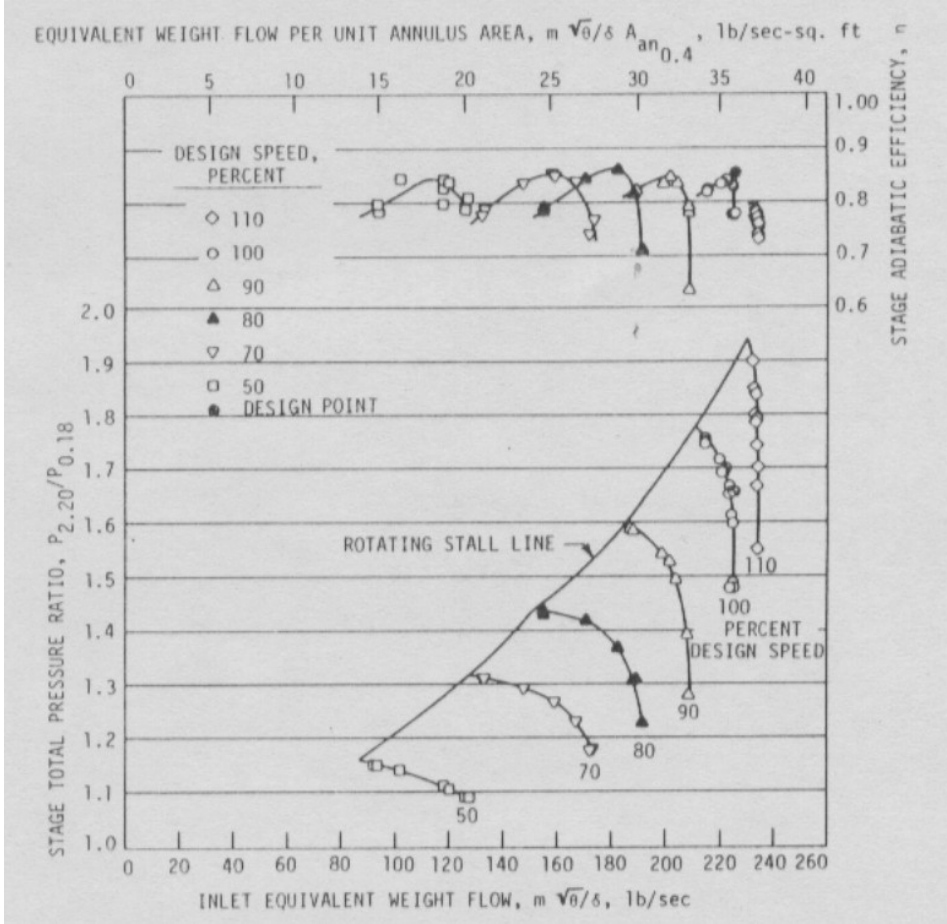
Sprężarka łączy zalety obu rozwiązań

- zmniejsza masę wirującą początkowych stopni i zapewnia ich wyższą sprawność
- Zastosowanie stopnia promieniowego na końcu eliminuje problem niskiej sprawności krótkich łopatek osiowych

Przepływ przez sprężarkę odśrodkową



Charakterystyka sprężarki

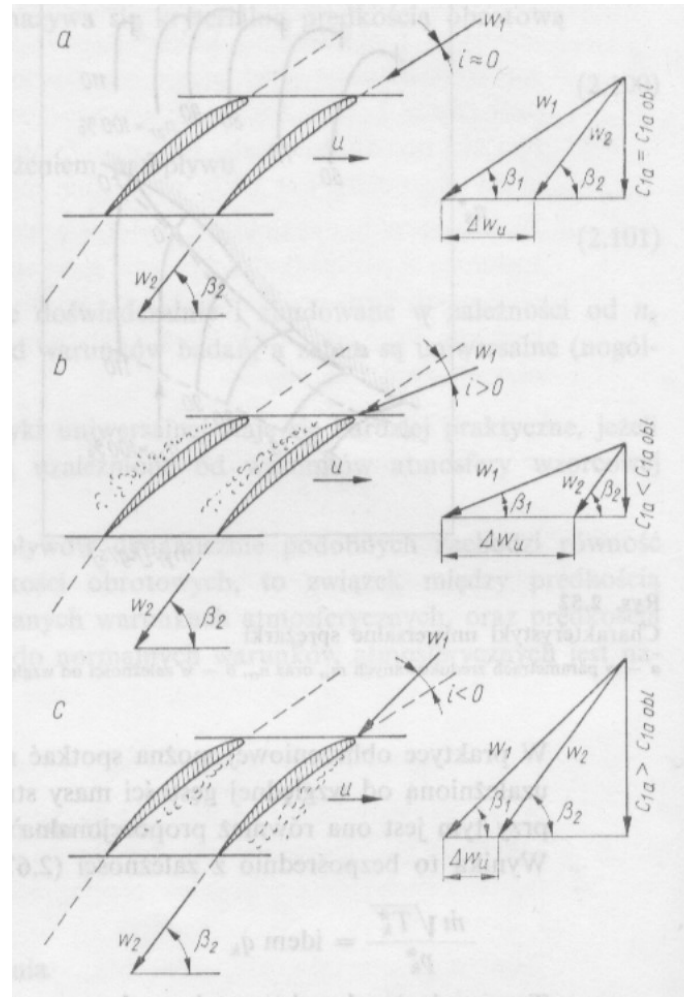


Niestateczna praca sprężarki – pompaż

Napływ obliczeniowy na łopatkę

Napływ na łopatkę z dodatnimi kątami natarcia

Napływ na łopatkę z ujemnymi kątami natarcia

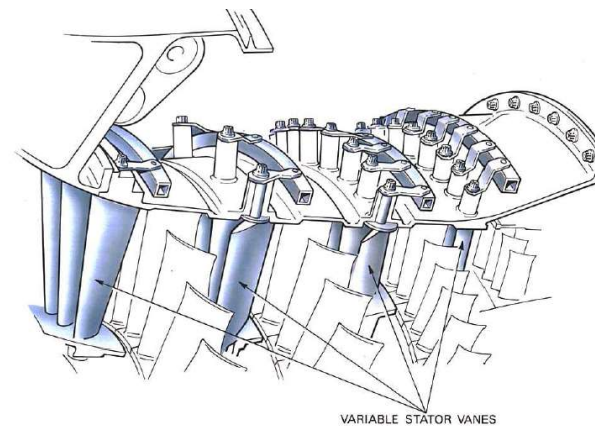
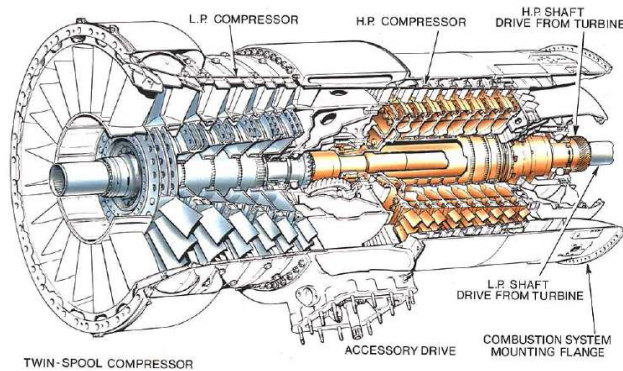
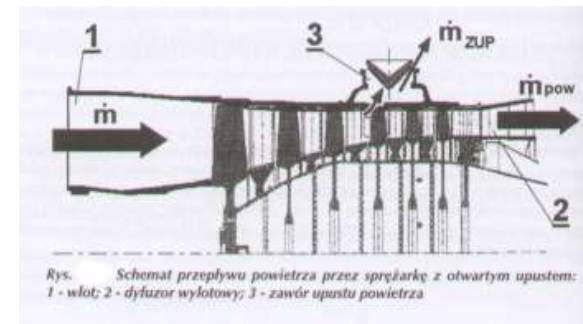


Zapobieganie niestatecznej pracy sprężarki

Upust

Sterowanie łopatek
kierownic sprężarki

Podział sprężarki na dwa
wirniki



Dziękuję za uwagę