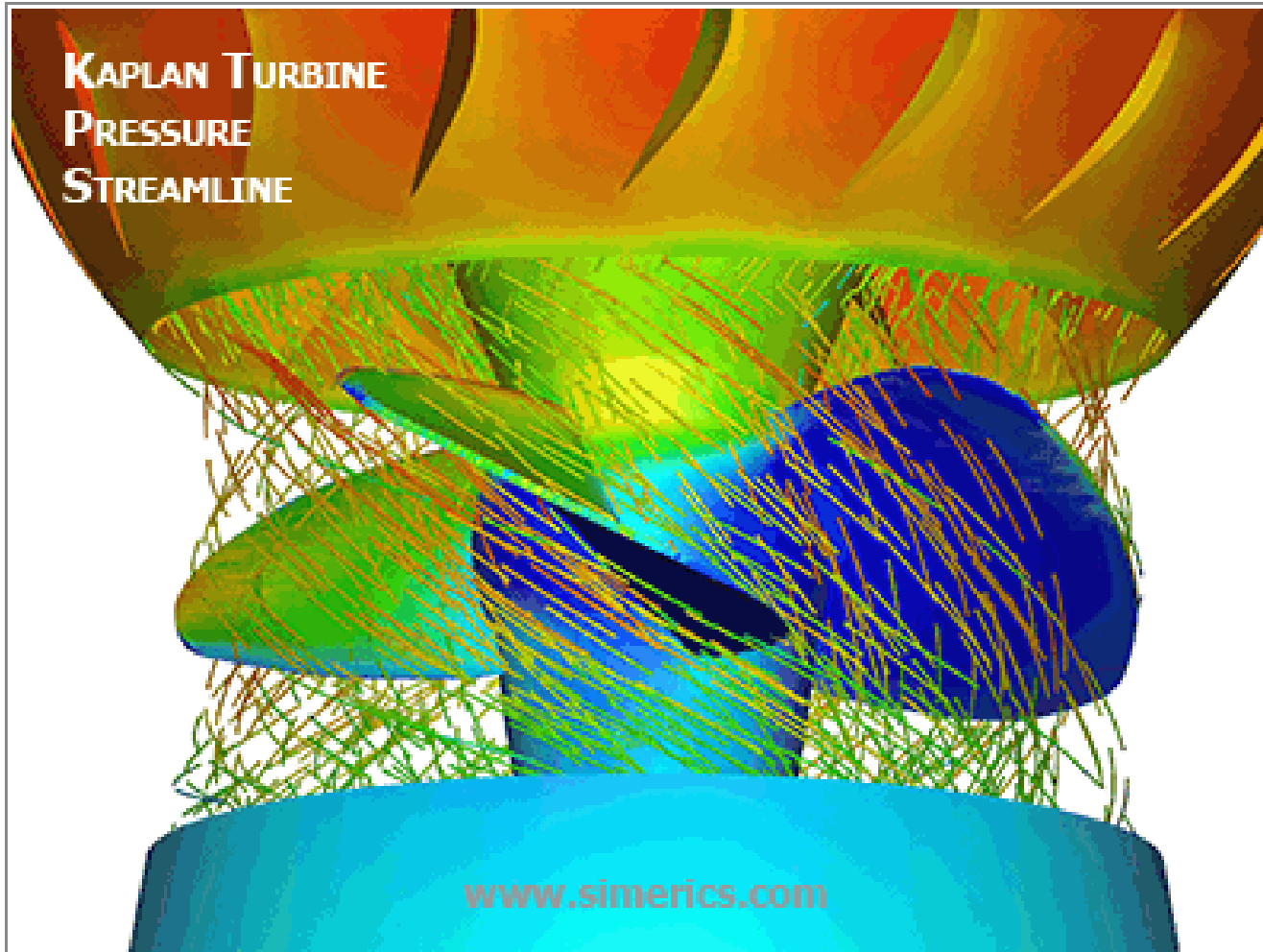
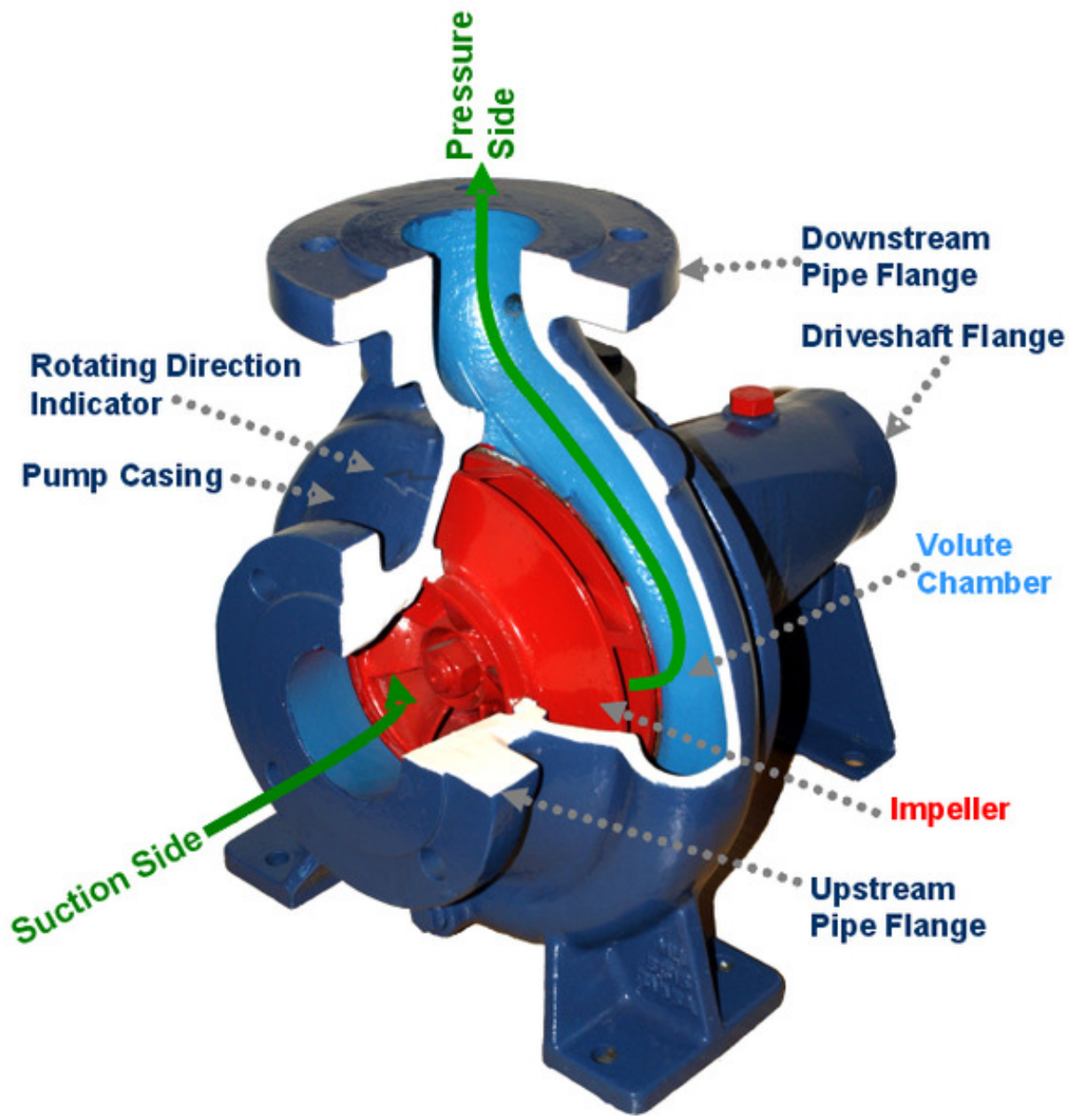


J. Szantyr - Wykład 20: wirniki i układy kierownic maszyn wirnikowych

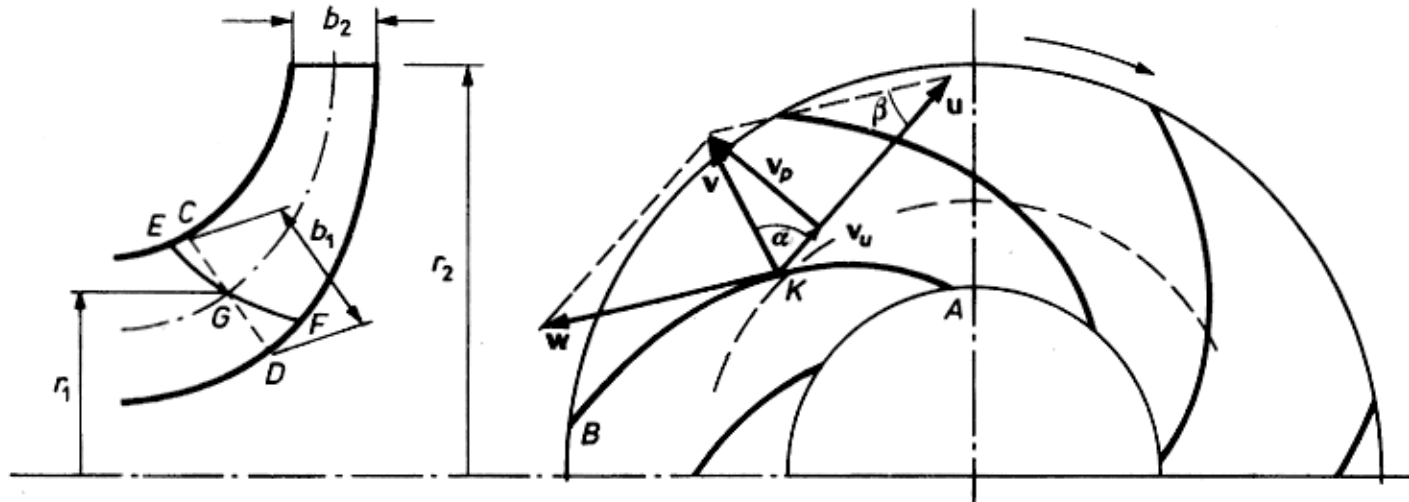


Viktor Kaplan
1876 - 1934



**Pompa
odśrodkowa**

Schemat przepływu przez pompę odśrodkową



v_u – rzut prędkości bezwzględnej na kierunek prędkości unoszenia, v_p – prędkość południkowa

Sprawność pompy

Głównym składnikiem wysokości podnoszenia pompy jest zmiana wysokości ciśnienia:

$$\Delta h_p = \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$

która jest związana z mocą użyteczną pompy:

$$N_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h_p$$

Moc dostarczona do pompy N jest większa od mocy użytecznej z powodu strat, które dzielimy na straty hydrauliczne, objętościowe i mechaniczne. Łączny wpływ strat ujemuje sprawność pompy, którą można przedstawić jako iloczyn sprawności hydraulicznej, sprawności objętościowej i sprawności mechanicznej:

$$\eta = \frac{N_u}{N} = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$

Straty hydrauliczne wywołane są tarciem cieczy o ścianki wirnika i kadłuba pompy oraz tarciem wewnętrznym.

$$\eta_h = \frac{\Delta h_p}{\Delta h_p + h_p} = \frac{\Delta h_p}{H_t}$$

Gdzie teoretyczna wysokość podnoszenia dla pompy o skończonej liczbie łopatek wynosi:

$$H_t = \frac{\Omega}{g} (r_2 v_{2u} - r_1 v_{1u})$$

Straty objętościowe są spowodowane przepływem wstecznym pomiędzy wirnikiem a kadłubem pompy, który sprawia, że rzeczywisty przepływ przez wirnik jest większy od wydajności pompy.

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_w} = \frac{Q}{Q + Q_v} = \frac{\rho g H_t (Q_w - Q_v)}{\rho g Q_w H_t} = \frac{N_w - N_v}{N_w}$$

Teraz wzór na sprawność hydrauliczną można zapisać:

$$\eta_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h_p}{\rho \cdot g \cdot (Q_w - Q_v) \cdot H_t} = \frac{N_u}{N_w - N_v}$$

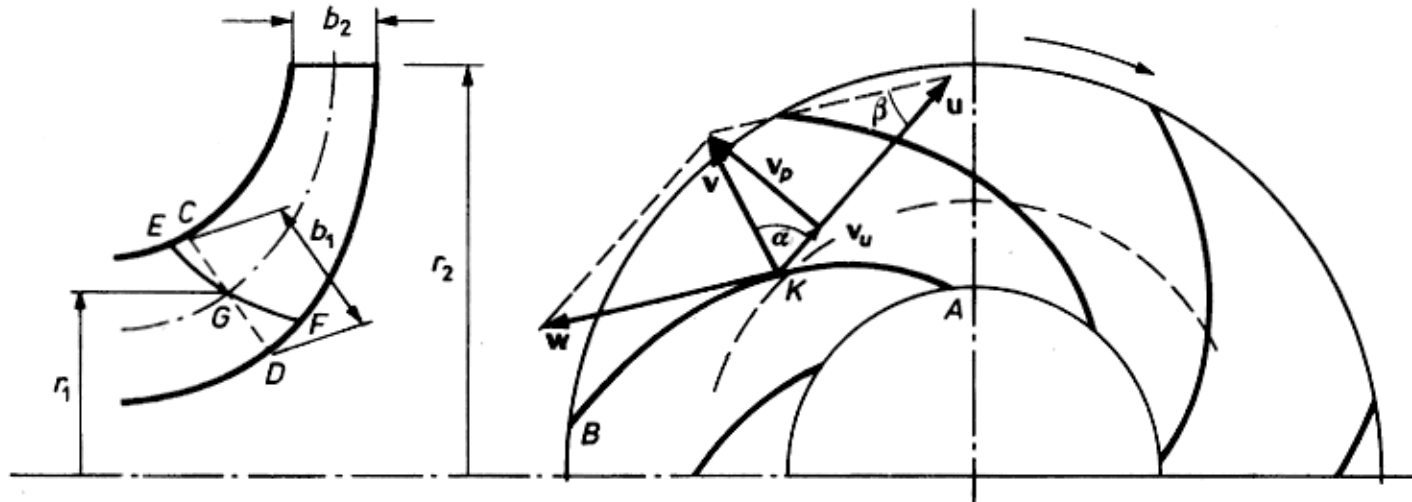
Straty mechaniczne są spowodowane tarciem w łożyskach i uszczelnieniach, a także tarciem zewnętrznej części wirnika o ciecz.

$$\eta_m = \frac{N_w}{N_w + N_m} = \frac{N_w}{N}$$

Ostatecznie:

$$\eta = \frac{N_u}{N} = \frac{N_u}{N_w - N_v} \cdot \frac{N_w - N_v}{N_w} \cdot \frac{N_w}{N} = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$

Kinematyka przepływu przez wirnik pompy odśrodkowej

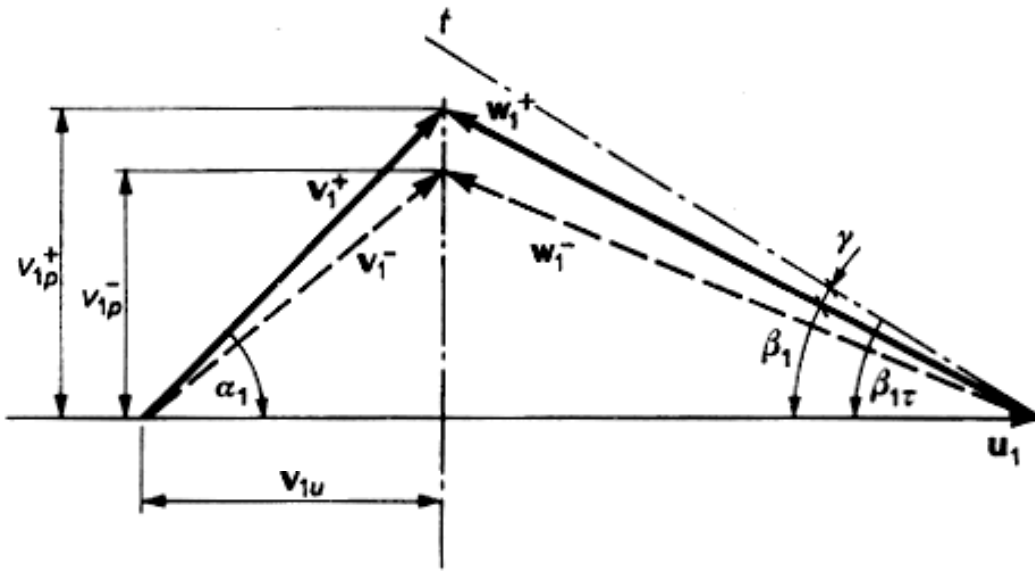


Prędkość południkowa v_p w danym punkcie to rzut prędkości bezwzględnej na płaszczyznę osiową przechodzącą przez ten punkt. Prędkość południkową na wlocie do wirnika określa wzór:

$$v_{1p}^+ = \frac{Q_w}{S_1} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b_1 \cdot \eta_v \cdot \psi_1}$$

gdzie ψ_1 - współczynnik przesłonięcia przekroju wlotowego

Znając prędkość południkową, prędkość v_{1u} i prędkość unoszenia można narysować trójkąt prędkości na wlocie do wirnika:



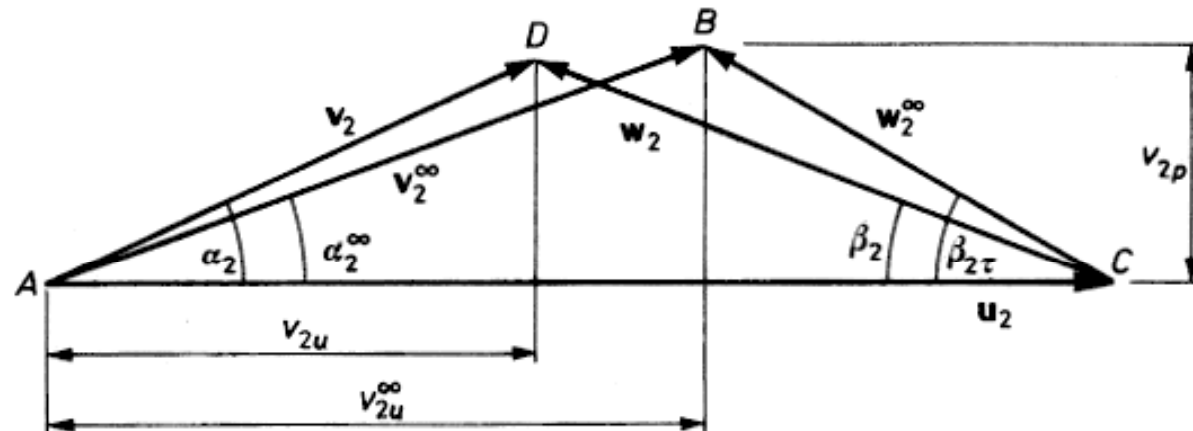
Symbol „+” oznacza wartości dla wirnika z rzeczywistą liczbą łopatek o rzeczywistej grubości, a symbol „-” – wartości dla wirnika o dużej liczbie nieskończenie cienkich łopatek

Z trójkąta prędkości można wyznaczyć prędkość względną na wlocie do wirnika oraz kąty α_1 i β_1 . Kąt natarcia γ jest zwykle przyjmowany w granicach 3 – 8 stopni. Należy zwrócić uwagę, że kształt trójkąta prędkości zależy tylko od wydajności pompy Q i od prędkości obrotowej Ω .

Prędkość południkową na wylocie określa wzór:

$$v_{2p} = \frac{Q_w}{S_2} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b_2 \cdot \eta_v \cdot \psi_2}$$

Prędkość v_{2u} można wyznaczyć z wzoru Eulera dla znanej wysokości podnoszenia.

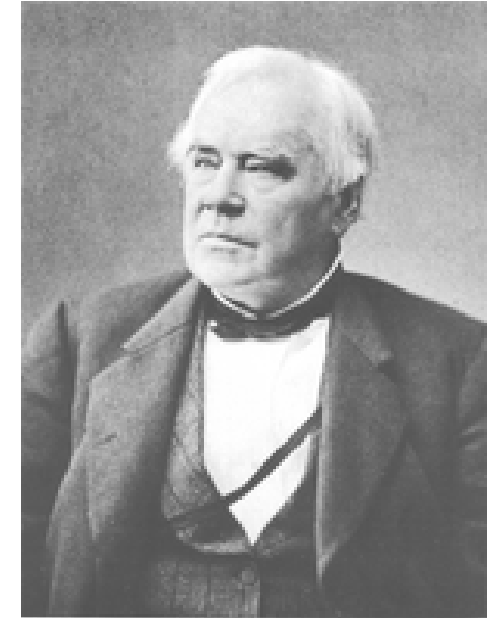
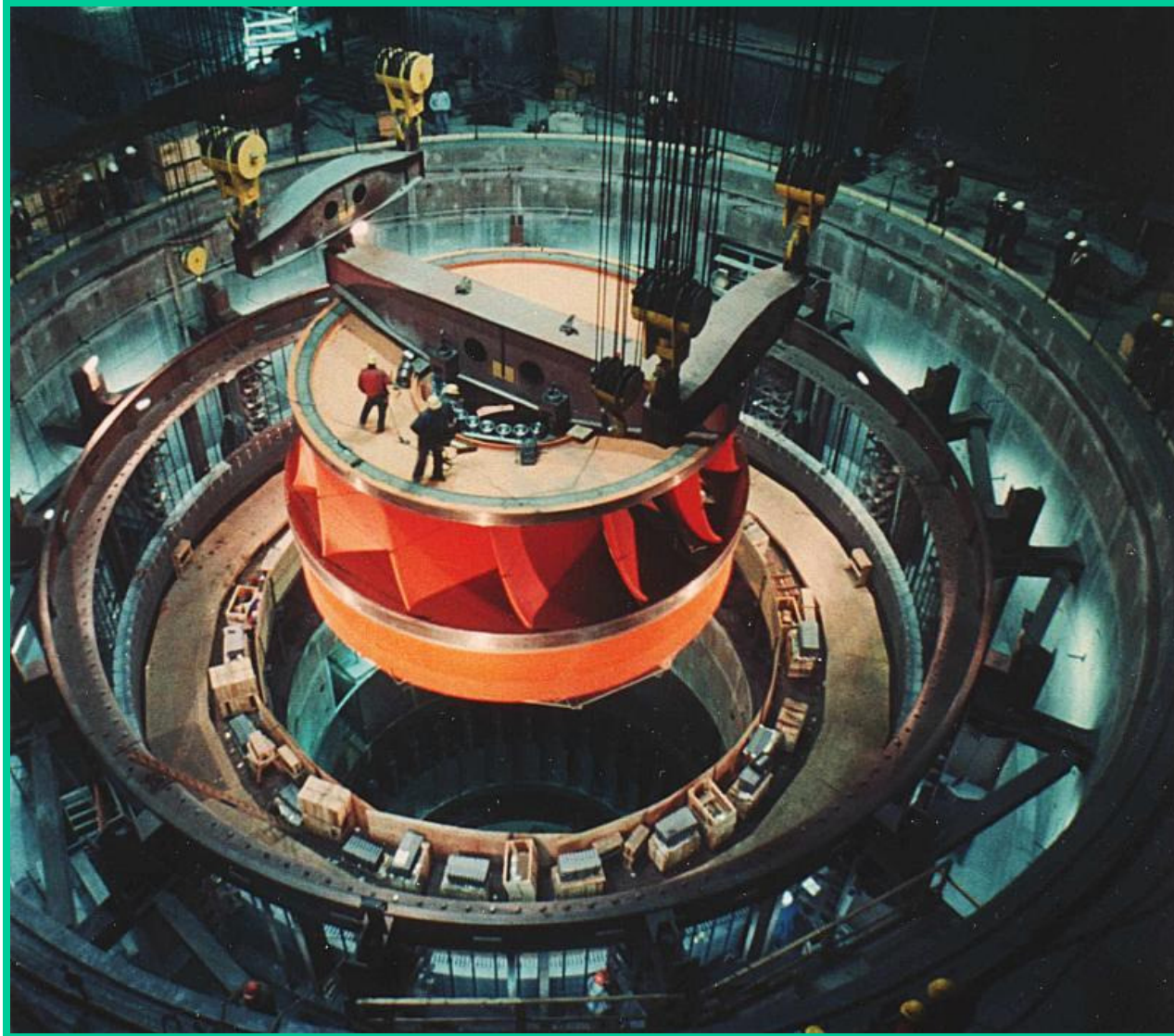


Ze względu na skończoną liczbę łopatek wirnika teoretyczny trójkąt prędkości ACD jest korygowany do postaci ABC wzorem empirycznym Stodoli:

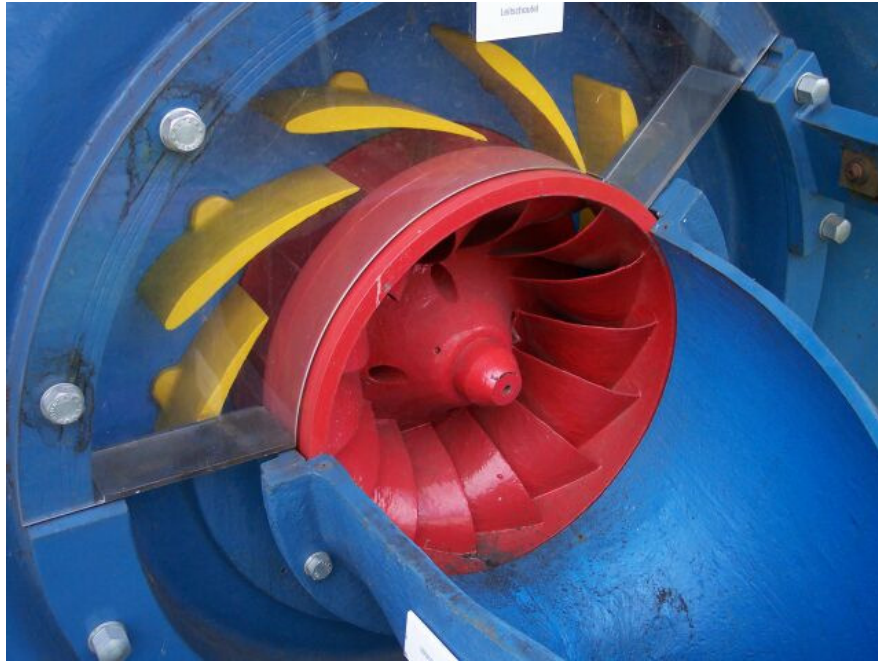
$$v_{2u}^{\infty} - v_{2u} = \frac{\pi}{z} \cdot u_2 \sin \beta_1$$

Znajomość wlotowego i wylotowego trójkąta prędkości pozwala wykreślić przybliżony zarys łopatki wirnika.

Turbina wodna promieniowo – osiowa (Francisa)



**James Francis
1815 - 1892**

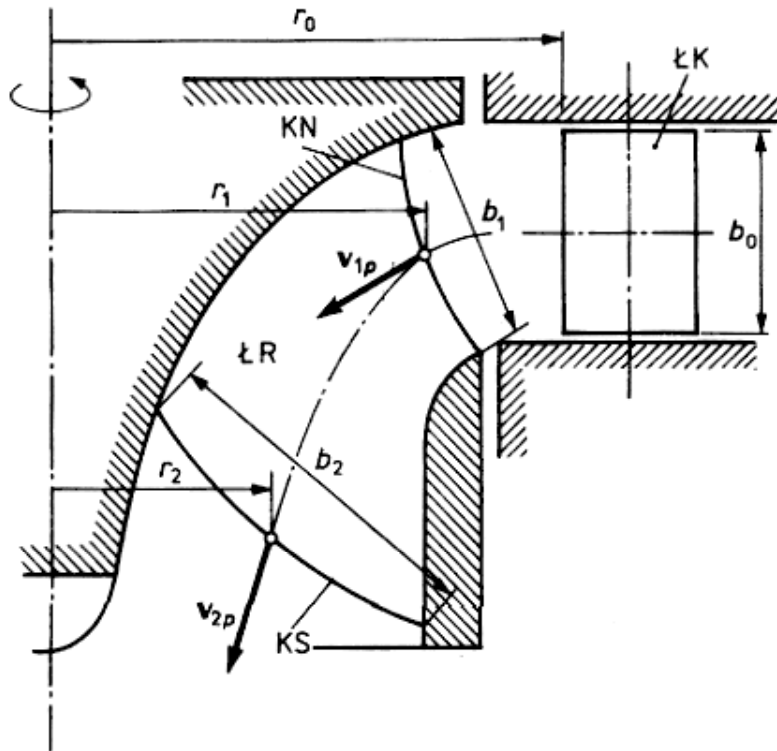


← Ustawienie łopatek kierowniczych turbiny Francisa przy wysokim natężeniu przepływu

Ustawienie łopatek kierowniczych turbiny Francisa przy niskim natężeniu przepływu →



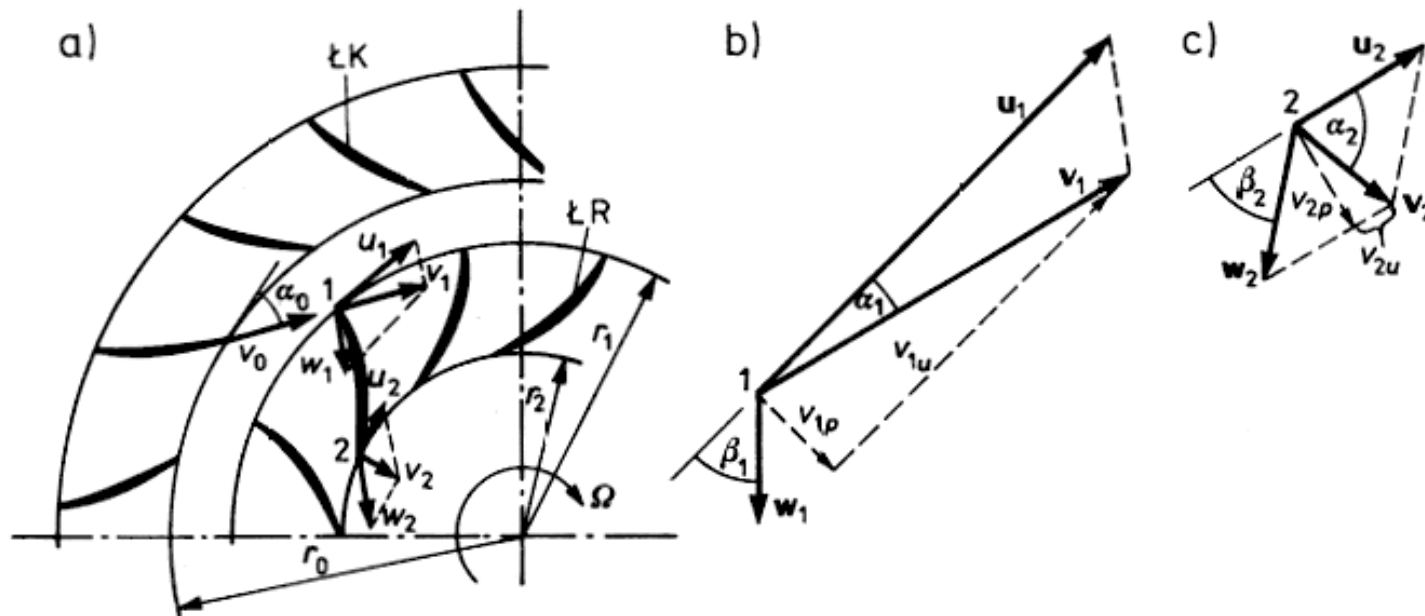
Przepływ przez turbinę wodną promieniowo-osiową



Z punktu widzenia kinematyki przepływu turbina Francisa jest odwróceniem działania pompy odśrodkowej. Strumień wody przepływający przez łopatki kierownicy uzyskuje pewien kręt, który zostaje zredukowany niemal do zera w trakcie przepływu przez wirnik.

Turbina pracuje z największą sprawnością, gdy dopływ do wirnika jest bezuderzeniowy (kąt natarcia równy zero), a wypływ z wirnika jest osiowy, czyli gdy

$$v_{2u} = 0$$



Z kierownicy woda wypływa pod kątem $\alpha_0 \approx \alpha_1$ i z prędkością:

$$v_0 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot b_0 \cdot \sin \alpha_0}$$

Składowa obwodowa tej prędkości na wlocie do wirnika:

$$v_{1u} = \frac{r_0}{r_1} \cdot v_0 \cdot \cos \alpha_0$$

Prędkość południkowa na wlocie: $v_{1p} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b_1}$

Na podstawie powyższych danych i prędkości unoszenia można wykreślić trójkąt prędkości na wlocie, co pozwala na wyznaczenie prędkości względnej i jej kąta β_1 który jest zarazem kątem wlotowym łopatkki. Na wylocie z wirnika jest odpowiednio:

$$v_{2p} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b_2} \quad w_2 = \frac{v_{2p}}{\sin \beta_2} \quad u_2 = \Omega \cdot r_2 \quad v_{2u} \approx 0$$

Pozwala to wykreślić trójkąt prędkości na wylocie.

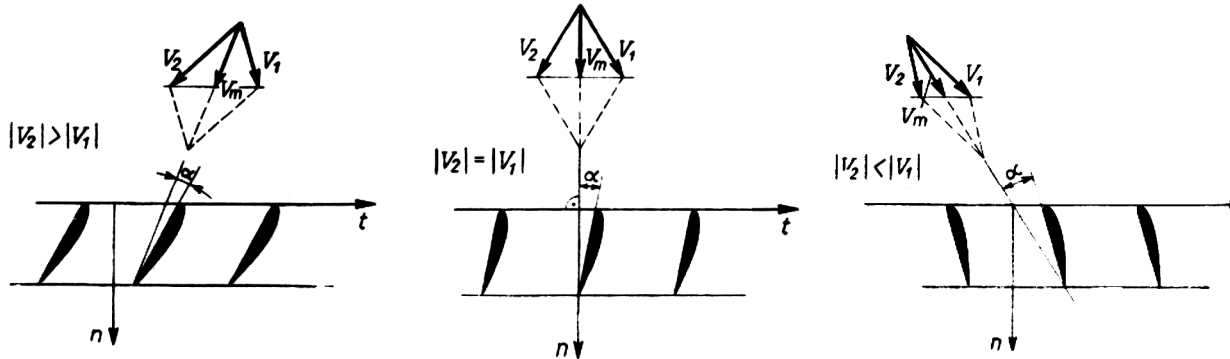
Odpowiednio przekształcony wzór Eulera ma postać:

$$H = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g}$$

Analiza tego wzoru pozwala powiązać wartość wysokości hydraulicznej z odpowiednim typem turbiny (osiowej lub promieniowo-osiowej).

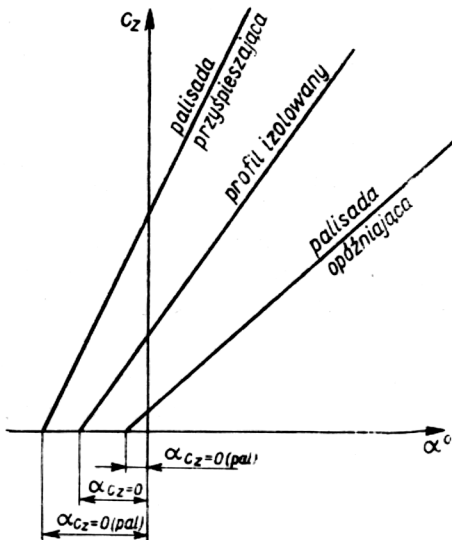
Palisady profili

Płaty nośne tworzące np. wirniki turbin lub pomp oddziałują ze sobą, zmieniając swoje charakterystyki. Zjawisko to można przedstawić na przykładzie tzw. palisady profili.



prędkość na
wlocie - V_1

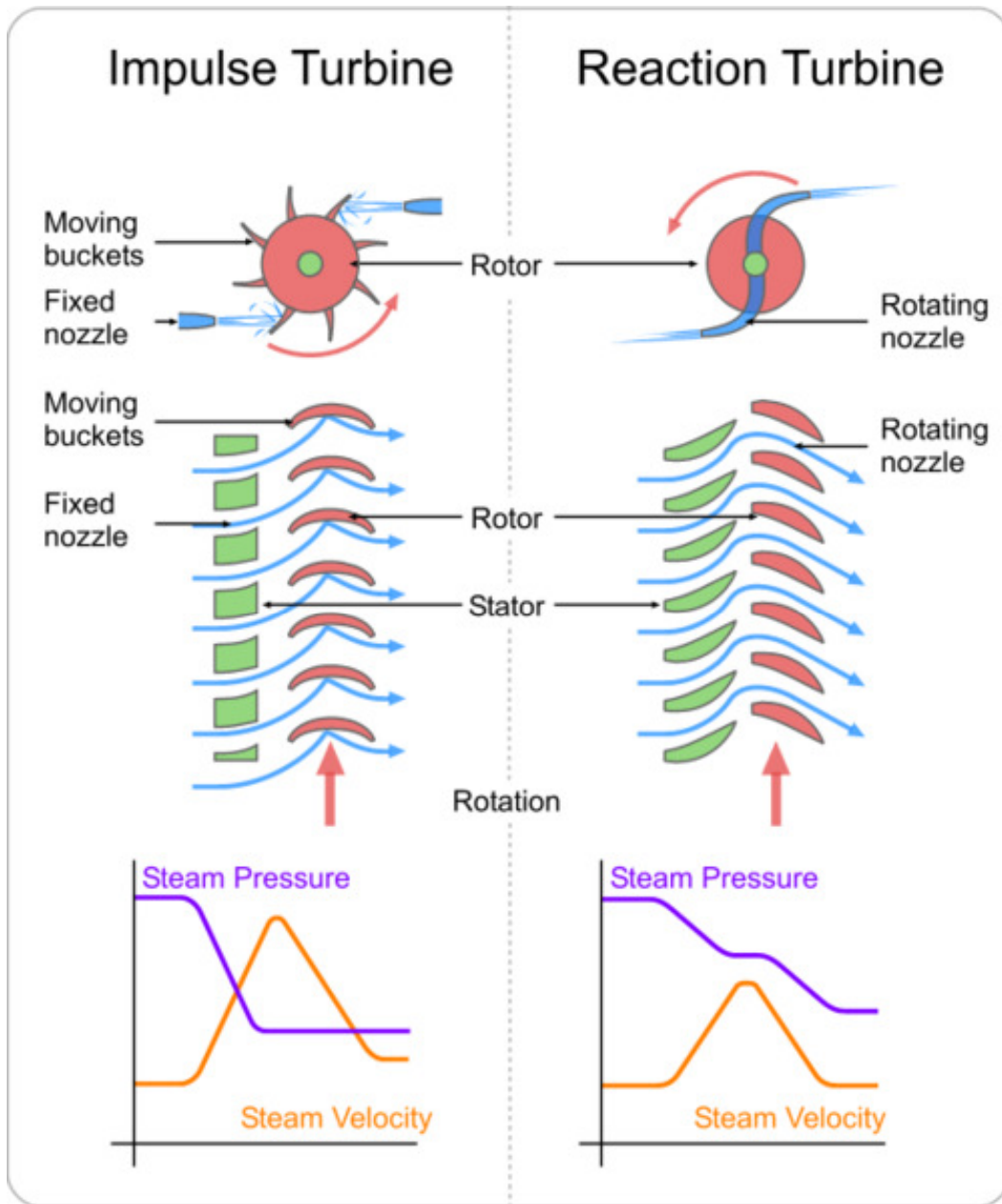
prędkość na
wylocie - V_2



Palisada przyspieszająca – prędkość na wylocie jest większa od prędkości na wlocie (turbiny reakcyjne)

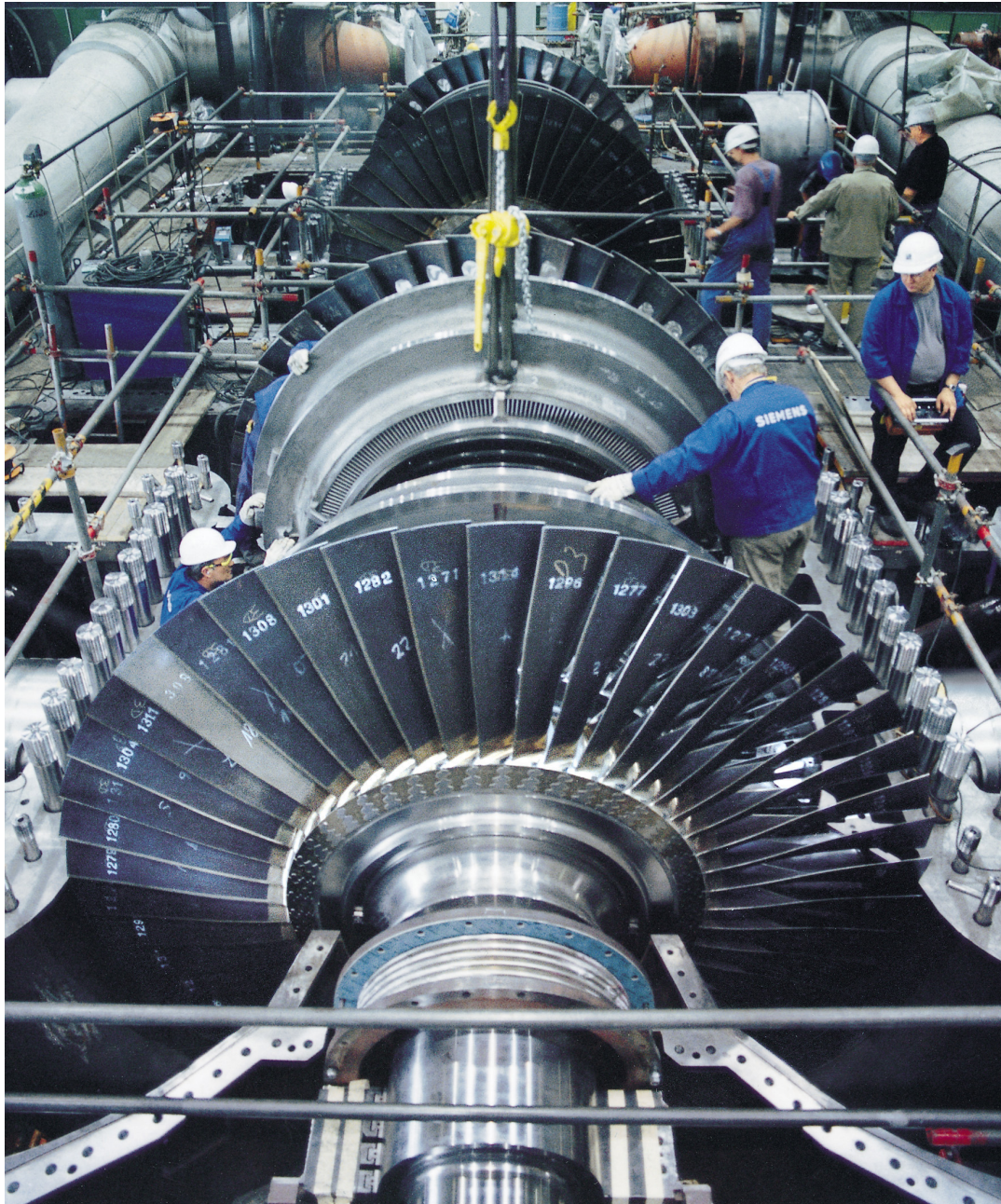
Palisada neutralna – moduły prędkości na wylocie i wlocie są takie same (turbiny akcyjne)

Palisada opóźniająca – prędkość na wylocie jest mniejsza od prędkości na wlocie (pompy)

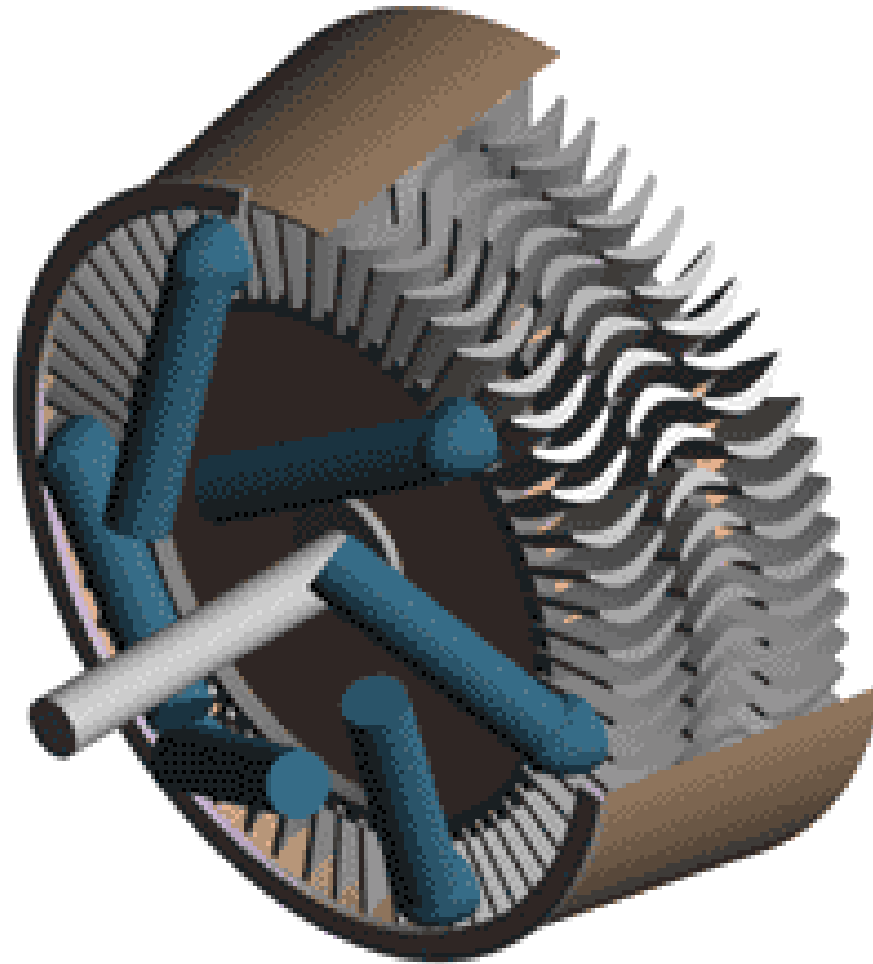


W turbinie akcyjnej (impulse) ekspansja czynnika roboczego zachodzi wyłącznie w kierownicy

W turbinie reakcyjnej część procesu ekspansji czynnika roboczego zachodzi w kierownicy, a część w wirniku. Proporcja ekspansji w wirniku do całości ekspansji określa tzw. stopień reakcyjności



Montaż wirnika
reakcyjnej turbiny
parowej



Wzajemne oddziaływanie dwóch wieńców wirnika z wieńcem kierownicy umieszczonym pomiędzy nimi