

Wykład 4

Pompy

Pompy

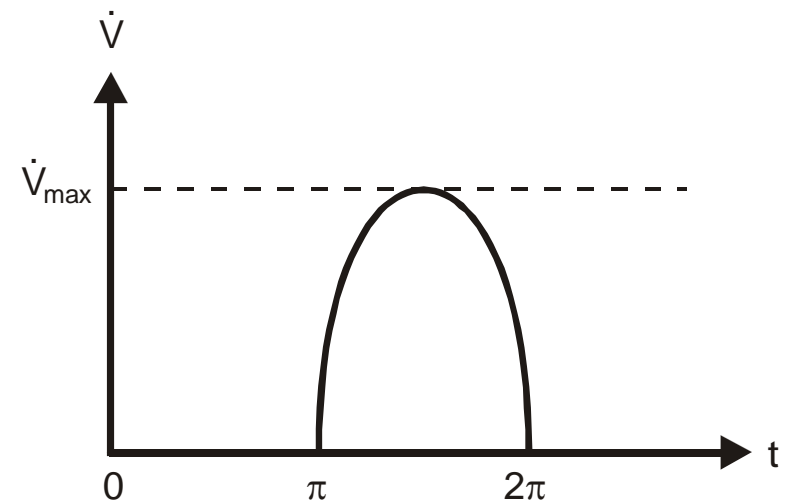
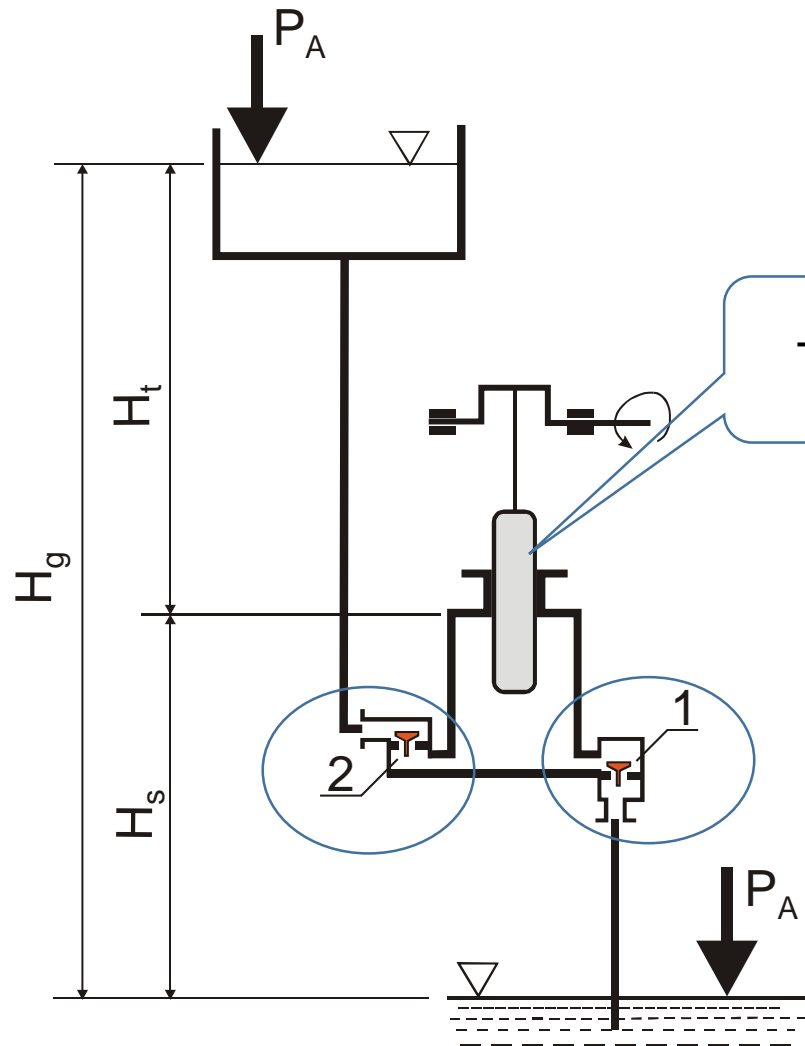
Pompy – maszyny przepływowe, stosowane do transportu cieczy, doprowadzające do cieczy dodatkową energię, niezbędną do pokonania różnicy wysokości między punktem poboru i odbioru oraz oporów hydraulicznych w rurociągu.

Pierwszą pompę działającą na zasadzie tłoka skonstruował grecki matematyk i wynalazca Ktesibios w III w. p.n.e.



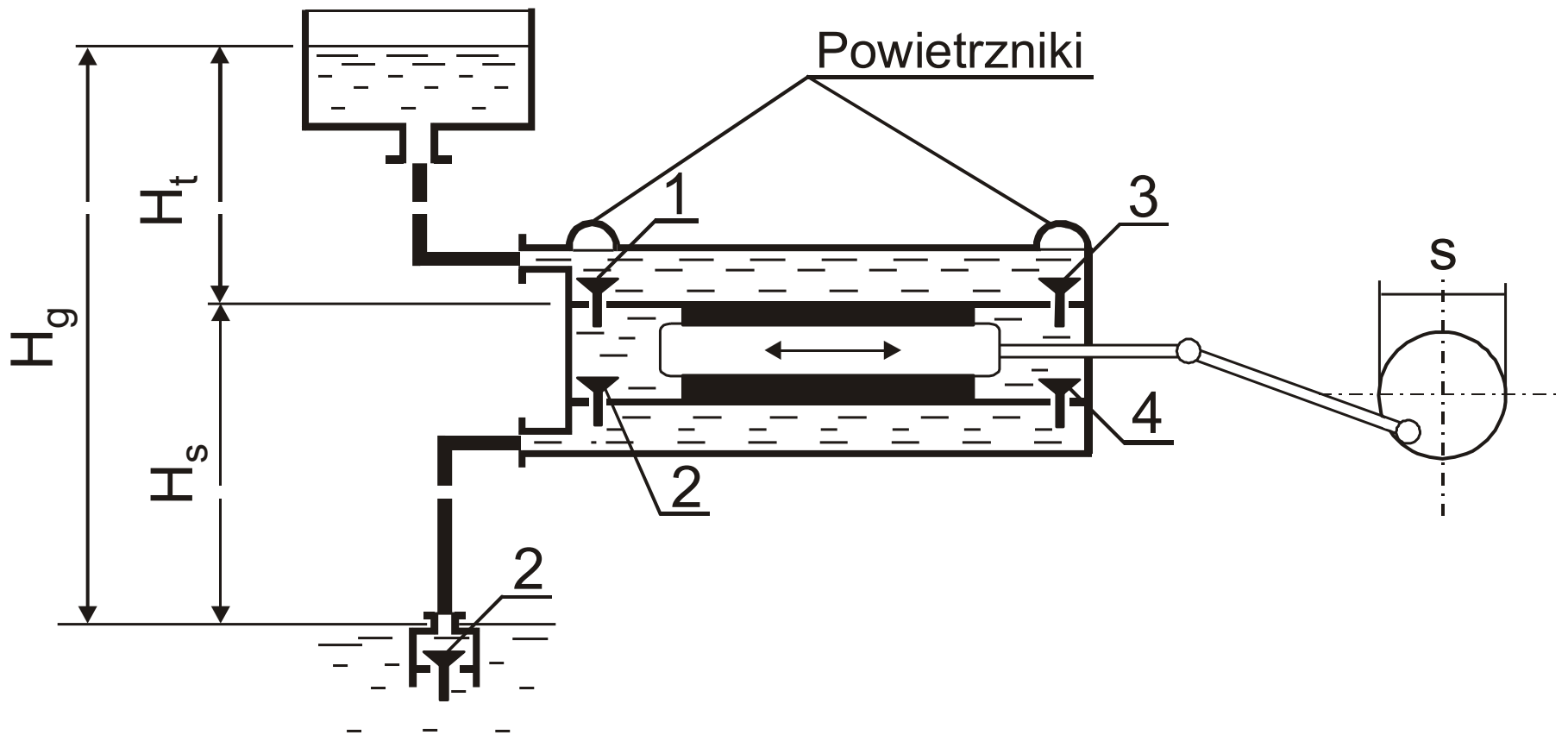
Pompy tłokowe

Pompa tłokowa jednostronnego działania



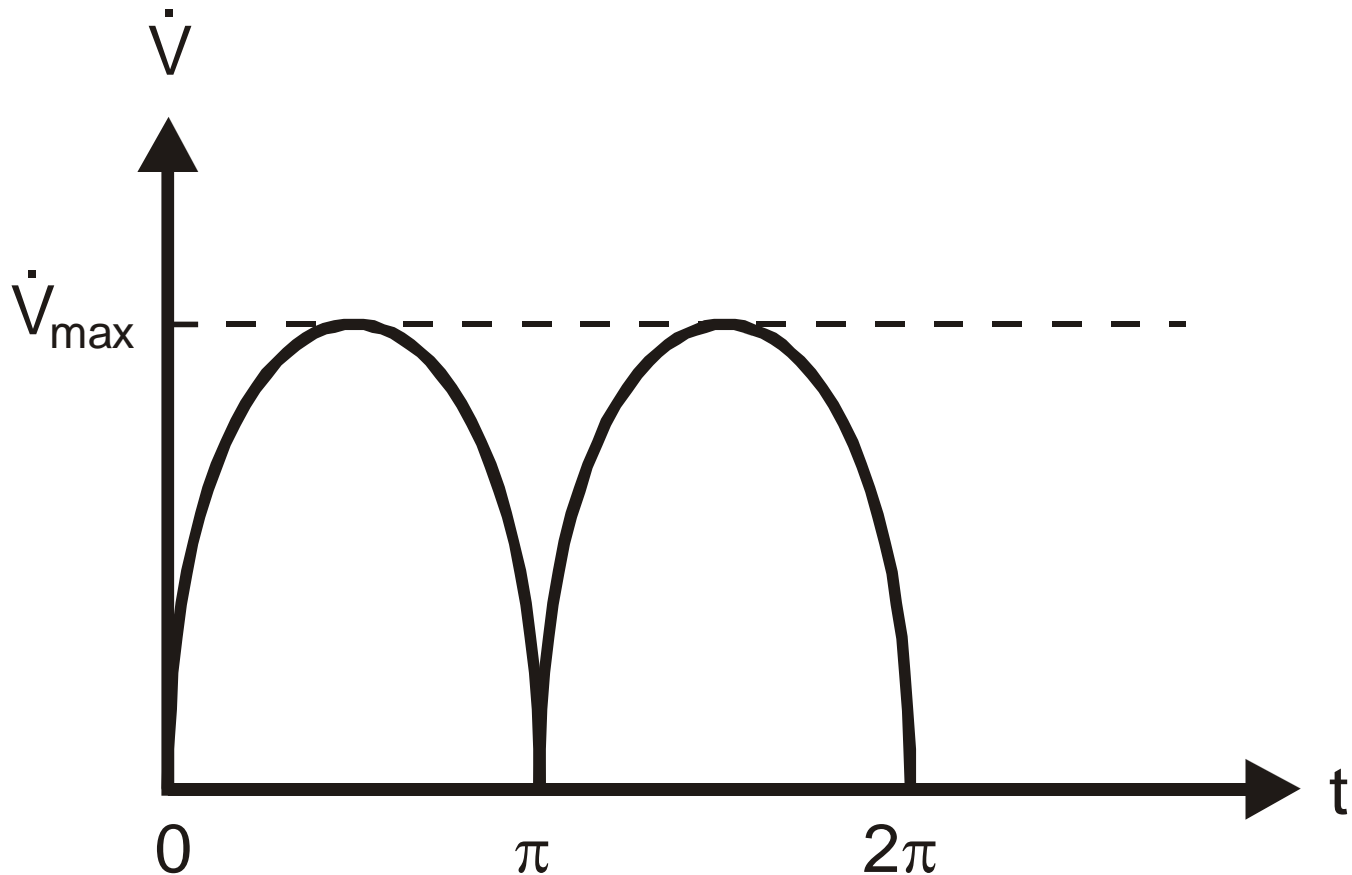
Pompy tłokowe

Pompa tłokowa dwustronnego działania



Pompa tłokowa dwustronnego działania

Strumień objętości cieczy pompowanej za pomocą pompy tłokowej dwustronnego działania jest bardziej równomierny w czasie, ale i tak nie jest stały.



Pompa tłokowa dwustronnego działania

Teoretyczny strumień objętości

Przy suwie w lewo $V_c = A_t s$

Przy suwie w prawo $V_c = (A_t - A_{\text{prow}})s$

Wydajność pompy

$$\dot{V}_{\text{teoret}} = (2 A_t - A_{\text{prow}})s n$$

Rzeczywista wydajność pompy **jest mniejsza** od wartości teoretycznej.

Jest to spowodowane:

- nieszczelnościami pomiędzy tłokiem a obudową oraz na zaworach
- desorpcją rozpuszczonych gazów przy zmniejszonym ciśnieniu
- częściowym odparowaniem cieczy w suwie ssącym.

Pompa tłokowa dwustronnego działania

Sprawność objętościowa

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_{\text{rzecz}}}{\dot{V}_{\text{teoret}}} \quad (\text{w granicach } 0,90\text{-}0,98)$$

Sprawność hydrauliczna

$$\eta_{\text{hydr}} = \frac{H_u}{H_c}$$

Gdzie:

H_u – użyteczna wysokość podnoszenia (tłoczenia)

H_c – całkowita wysokość podnoszenia (tłoczenia)

Pompa tłokowa dwustronnego działania

Pompa musi wykonać następujące czynności:

- przetransportować ciecz na pewną wysokość geometryczną: $H_g = H_s + H_t$
- pokonać opory przepływu w rurociągu złożonym z odcinka ssącego i tłoczącego, które można wyrazić jako pewną wysokość $h_{Rr} = h_{Rs} + h_{Rt}$
- pokonać opory w samej pompie, wyrażone jako pewną wysokość h_{Rp}
- nadać cieczy odpowiednią prędkość (pokonać siły bezwładności w cieczy) h_b

Pompy tłokowe

Całkowita wysokość podnoszenia, jaką musi wytworzyć pompa:

$$H_c = H_g + h_{Rr} + h_{Rp} + h_b$$

Wysokość użyteczna $H_u = H_g + h_{Rr}$

Sprawność hydrauliczna

$$\eta_{hydr} = \frac{H_g + h_{Rr}}{H_g + h_{Rr} + h_{Rp} + h_b}$$

Jeśli **sprawność mechaniczna** (straty energii w samej pompie na łożyskach czy dławikach), to

całkowita sprawność pompy:

$$\eta_{og} = \eta_V \eta_{hydr} \eta_{mech} \quad (0,65-0,9)$$

Pompy tłokowe

Ciśnienie działające na tłok podczas suwu tłoczenia:

$$p_t = p_A + H_t \rho g + h_{Rt} \rho g + h_{bt} \rho g$$

Wysokość, na jaką tłoczona jest ciecz:

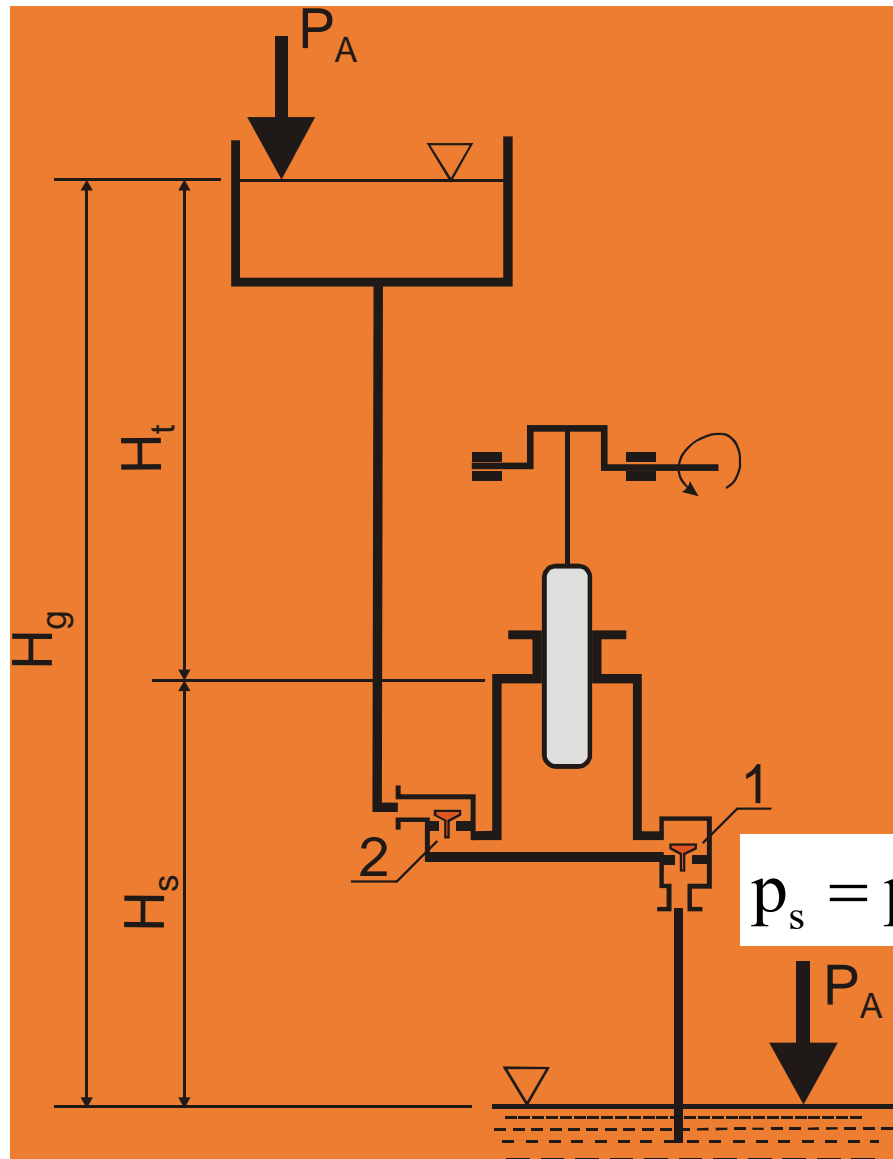
$$H_t = \frac{p_t - p_A}{\rho g} - h_{Rt} - h_{bt}$$

Ciśnienie działające na tłok podczas suwu ssania:

$$p_s = p_A - P^0 - H_s \rho g - h_{Rs} \rho g - h_{bs} \rho g$$

Wysokość ssania:

$$H_s = \frac{p_A - P^0 - p_s}{\rho g} - h_{Rs} - h_{bs}$$



Pompy tłokowe

Zdefiniujmy **wielkości charakterystyczne dla całej instalacji** od punktu zasilania pompy aż do zbiornika odbiorczego:

- **różnica ciśnień w obu suwach**, tj. podczas suwu ssania i suwu tłoczenia:

$$p_k = p_t - p_s$$

- **wysokość geodezyjna** (geometryczna):

$$H_g = H_t + H_s$$

Gdy ciśnienia w zbiornikach zasilającym i odbiorczym są inne niż atmosferyczne i wynoszą odpowiednio: p_d oraz p_g

to wprowadza się tzw. **statyczną wysokość podnoszenia**:
$$H_{st} = H_g + \frac{p_g - p_d}{\rho g}$$

- **Opory przepływu** w całej instalacji składają się z części w rurociągu ssącym i części w rurociągu tłoczącym:

$$h_{Rr} = h_{Rt} + h_{Rs}$$

Pompy tłokowe

c.d.

- **Opór stawiany przez pompę** oznaczmy symbolem: h_{rp}
- Ostatnim wyrażeniem jest **wysokość konieczna do pokonania bezwładności cieczy**:

$$h_b = h_{bt} + h_{bs}$$

Całkowita wysokość podnoszenia:

$$H_c = \frac{p_t - p_s}{\rho g} + h_{rp} = \frac{p_k}{\rho g} + h_{rp} =$$
$$= \frac{p_g}{\rho g} + H_t + h_{Rt} + h_{bt} - \frac{p_d}{\rho g} + \frac{P^0}{\rho g} + H_s + h_{Rs} + h_{bs} + h_{rp}$$

$$H_c = H_{st} + h_{Rr} + h_b + h_{rp}$$

Wysokość użyteczna:

$$H_u = H_{st} + h_{Rr}$$

Rodzaje pomp

- **pompy odśrodkowe (wirowe)**
- pompy membranowe
- pompy krzywkowe
- pompy zębate
- pompy śrubowe
- pompy perystaltyczne
- pompy dozujące
- pompy higieniczne (sanitarne)
- pompy chemoodporne
- pompy magnetyczne i wiele innych...

Pompy wirowe

Najistotniejszą część pompy wirowej stanowi wirnik obracający się w obudowie pompy.



Pompy wirowe

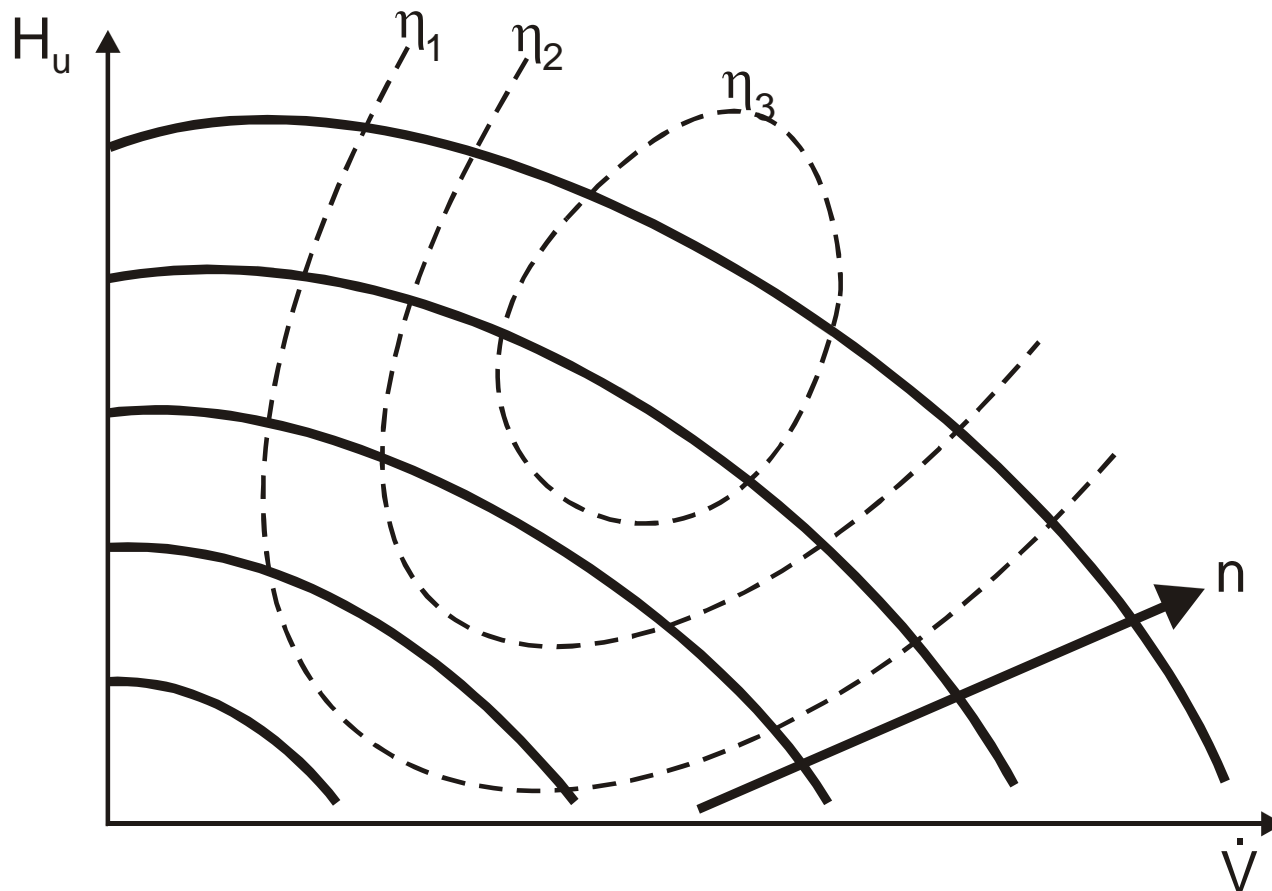


Pompy wirowe



Pompy wirowe

Wydajność pompy wirowej zależy od częstości obrotowej wirnika „n”.



Pompy wirowe

Opory rurociągu h_{Rr}

równanie Darcy-Weisbacha

$$h_{Rr} = \lambda \frac{L}{d} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{op\ m} \frac{w^2}{2g}$$

Jeśli prędkość cieczy wyznaczamy ze strumienia objętości:

$$h_{Rr} = \lambda \frac{16 \dot{V}^2 L}{2 \pi^2 g d^5} + \sum \xi_{op\ m} \frac{16 \dot{V}^2}{2 \pi^2 g d^4}$$

$$\lambda_m = \lambda \frac{16}{2 \pi^2 g d^5}$$

$$\xi_1 = \sum \xi_{op\ m} \frac{16}{2 \pi^2 g d^4}$$

$$h_{Rr} = (\lambda_m L + \xi_1) \dot{V}^2$$

$$h_{Rr} = \xi \dot{V}^2$$

współczynnik oporu sieci,
[s²/m⁵]

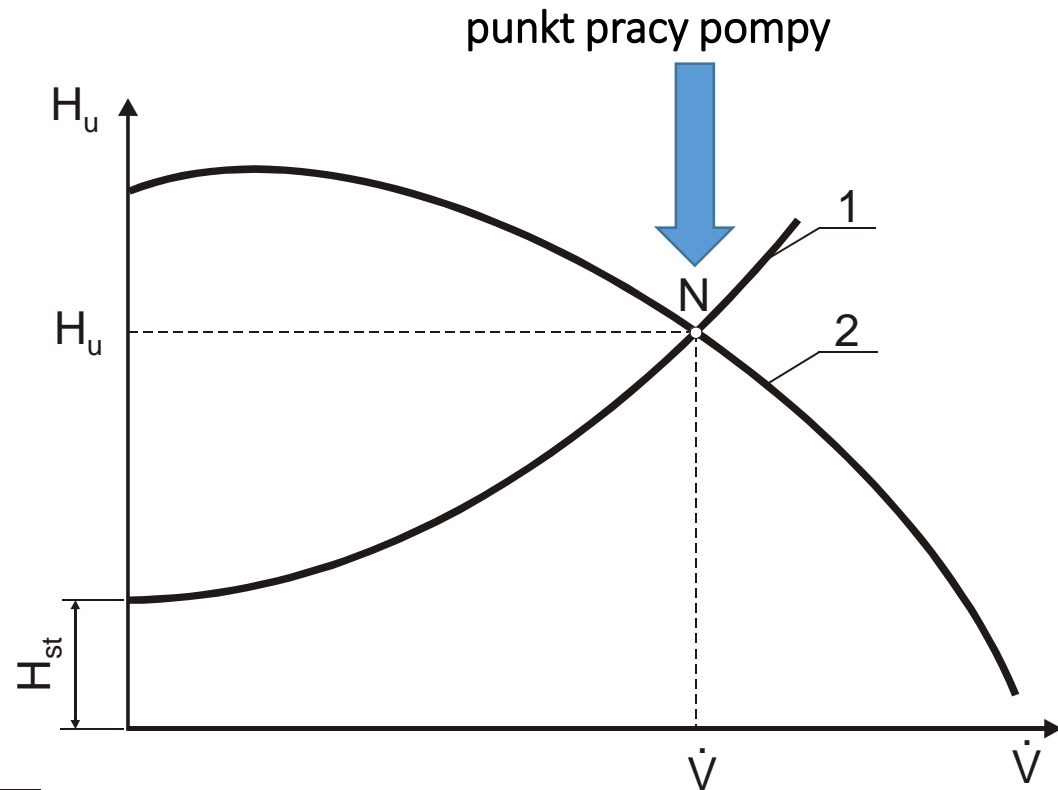
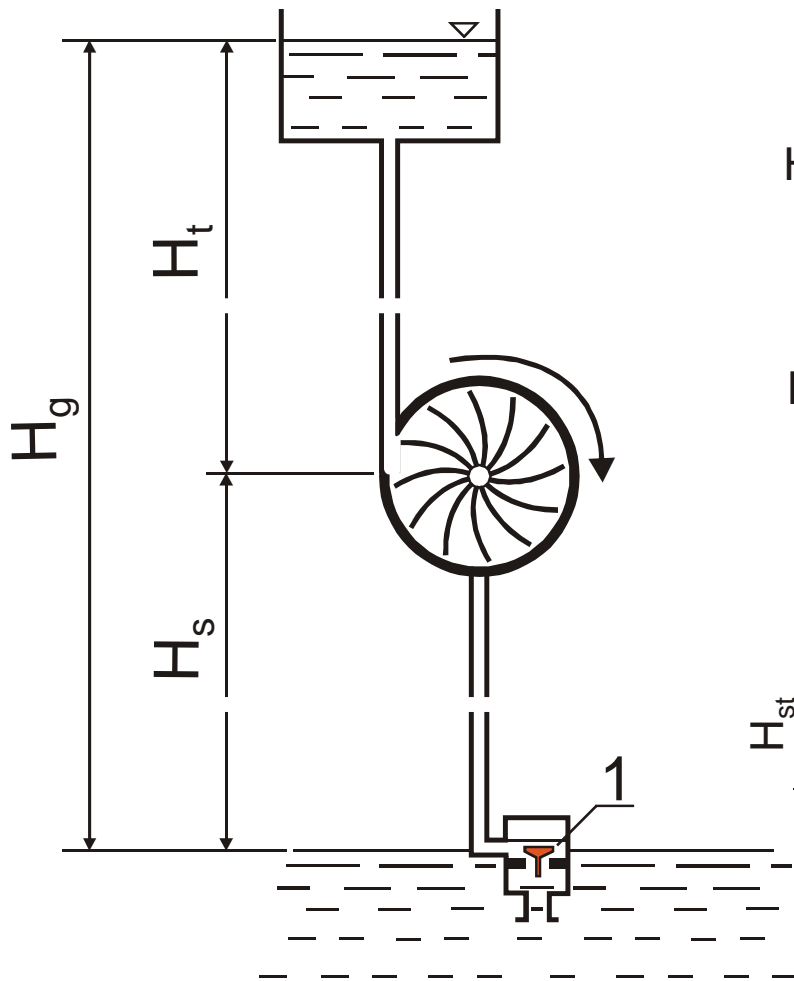
$$H_u = H_{st} + \xi \dot{V}^2$$

Równanie charakterystyki sieci

Pompy wirowe

- Pracę pompy charakteryzują związki strumienia objętości tłoczonej cieczy (wydajności) z wytwarzanym ciśnieniem, z zapotrzebowaniem na moc i ze sprawnością działania.
- Szczególne znaczenie ma **charakterystyka pompy** – wiąże wytwarzane ciśnienie ze strumieniem objętości – jest łączona z **charakterystyką sieci** (instalacji, w której przepływa medium).
- **Charakterystyka pompy** (podawana przez producenta) jest najczęściej paraboliczna. H_u – ciśnienie wytwarzane przez pompę (i przekazywane sieci) stosownie do strumienia objętości.
- **Charakterystyka sieci** jest dokładnie paraboliczna – ciśnienie dynamiczne i opory przepływu są proporcjonalne do kwadratu strumienia objętości. H_u – całkowite zapotrzebowanie ciśnienia, niezbędne do uzyskania wymaganego przepływu w instalacji.

Pompy wirowe



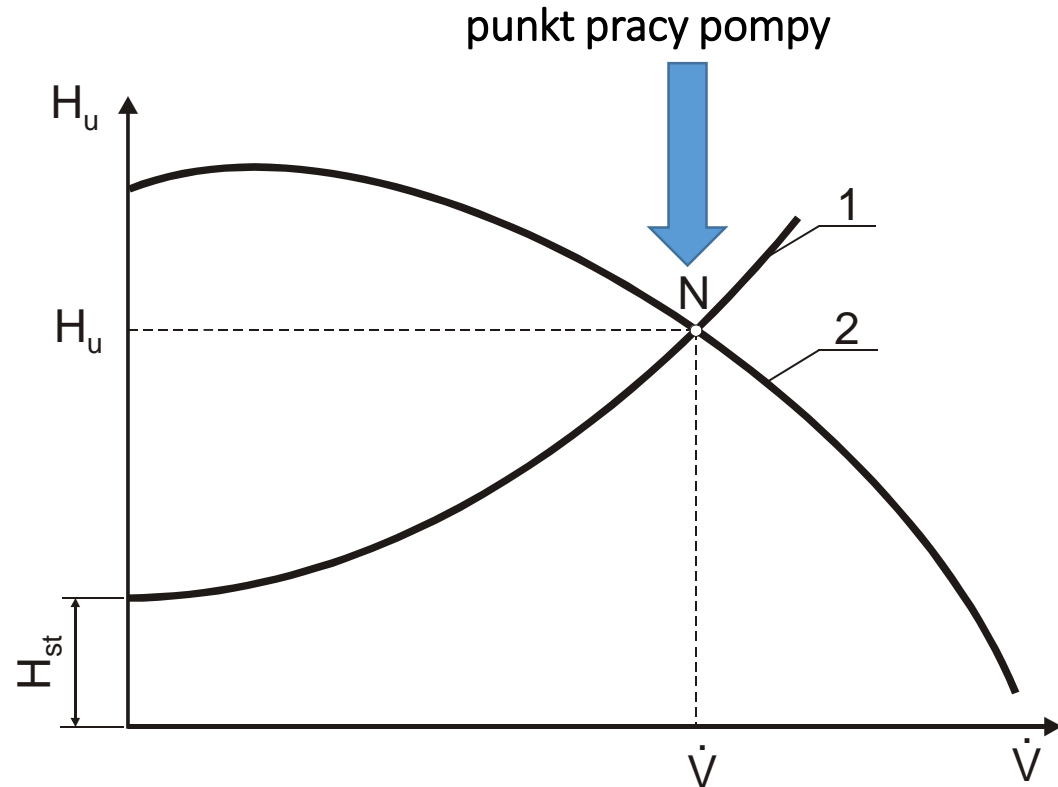
Punkt pracy pompy określa natężenie przepływu i ciśnienie konieczne do jego uzyskania.

Pompy wirowe

Jedynie przy wydajności odpowiadającej punktowi pracy pompy użyteczna wysokość podnoszenia pompy jest równa wysokości oporów danej sieci.

Zwykle wydajność pompy jest zasadniczą wielkością każdej instalacji. Według niej oblicza się i dobiera odpowiednią pompę.

Pompa jest właściwie dobrana wtedy, gdy jej punkt pracy leży w pobliżu najlepszej jej sprawności.



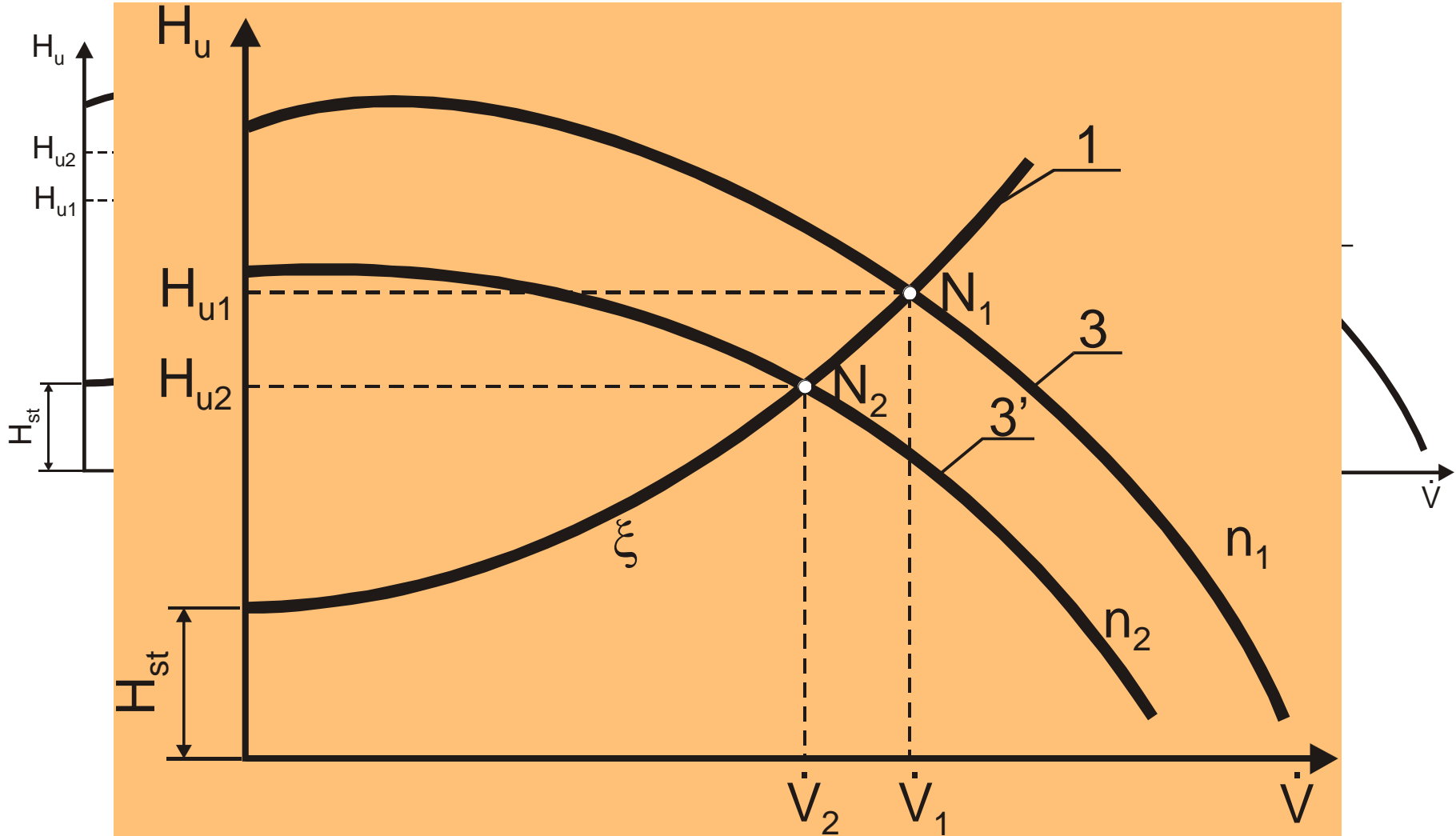
Pompy wirowe

Zmiana położenia punktu pracy pompy poprzez:

- zmianę kształtu linii 1 (charakterystyka sieci):
 - zmianę współczynnika oporu sieci ξ
 - zmianę wysokości statycznej H_{st} (geometrycznej H_g)

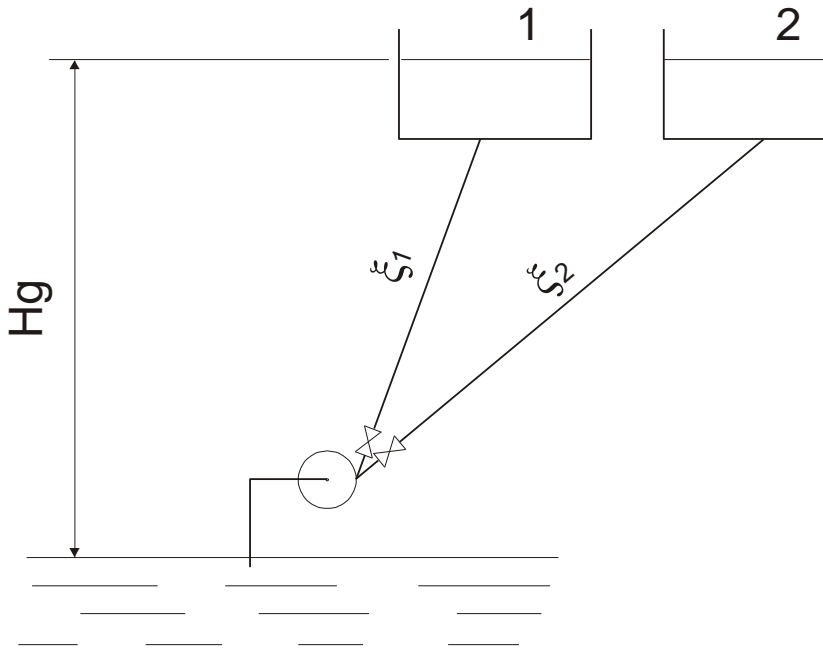
- Zmianę kształtu linii 2 (charakterystyka pompy):
 - zmianę częstości obrotowej wirnika

Pompy wirowe



Pompy wirowe

Dwa równoległe połączone zbiorniki na tej samej wysokości...

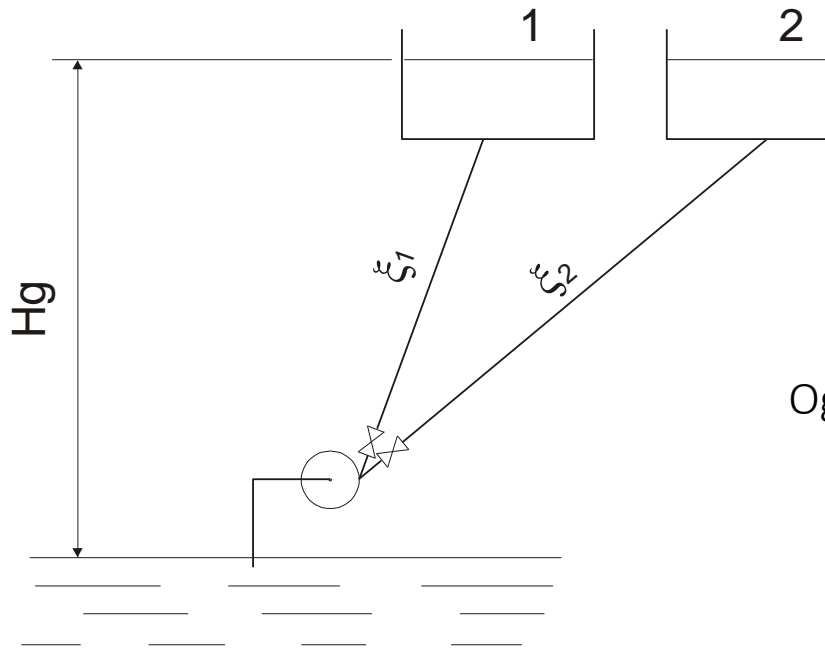


Problemy:

- Należy opisać zastępczą charakterystykę sieci za pomocą jednego równania
- Należy określić punkt pracy pompy
- Należy obliczyć jaki będzie strumień cieczy płynący do każdego ze zbiorników

Pompy wirowe

Dwa równoległe połączone zbiorniki na tej samej wysokości



Tylko dla sieci 1: $Hu_1 = H_g + \xi_1 \dot{V}_1^2$

Tylko dla sieci 2: $Hu_2 = H_g + \xi_2 \dot{V}_2^2$

Dla całej sieci: $Hu_{og} = H_g + \xi_{og} \dot{V}_{og}^2$

Ogólna wydajność pompy:

$$\dot{V}_{og} = \dot{V}'_1 + \dot{V}'_2$$

Zastępczy ogólny współczynnik oporu sieci

Charakterystyka sieci z każdym ze zbiorników (zasilanych jednocześnie):

Dla zbiornika 1: $Hu_{og} = H_g + \xi_1 \dot{V}'_1{}^2$

Dla zbiornika 2: $Hu_{og} = H_g + \xi_2 \dot{V}'_2{}^2$

Pompy wirowe

Dokonując przekształceń:

$$\sqrt{\frac{Hu_{og} - H_g}{\xi_{og}}} = \sqrt{\frac{Hu_{og} - H_g}{\xi_1}} + \sqrt{\frac{Hu_{og} - H_g}{\xi_2}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\xi_{og}}} = \sqrt{\frac{1}{\xi_1}} + \sqrt{\frac{1}{\xi_2}}$$

Skąd:

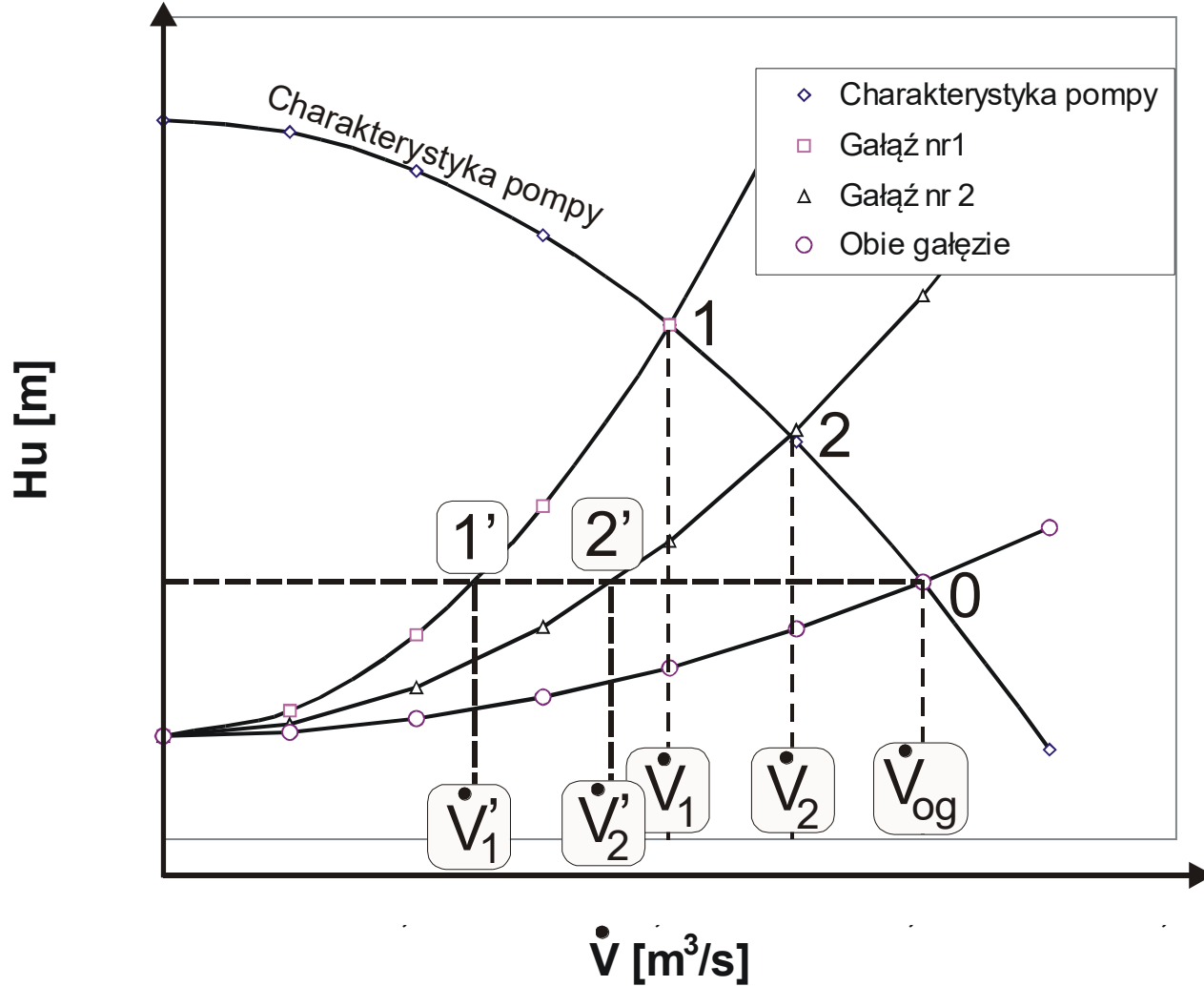
$$\xi_{og} = \frac{\xi_1 \xi_2}{\left(\sqrt{\xi_1} + \sqrt{\xi_2}\right)^2}$$

Zastępczy ogólny
współczynnik oporu sieci

Przy większej liczbie gałęzi połączonych równoległe:

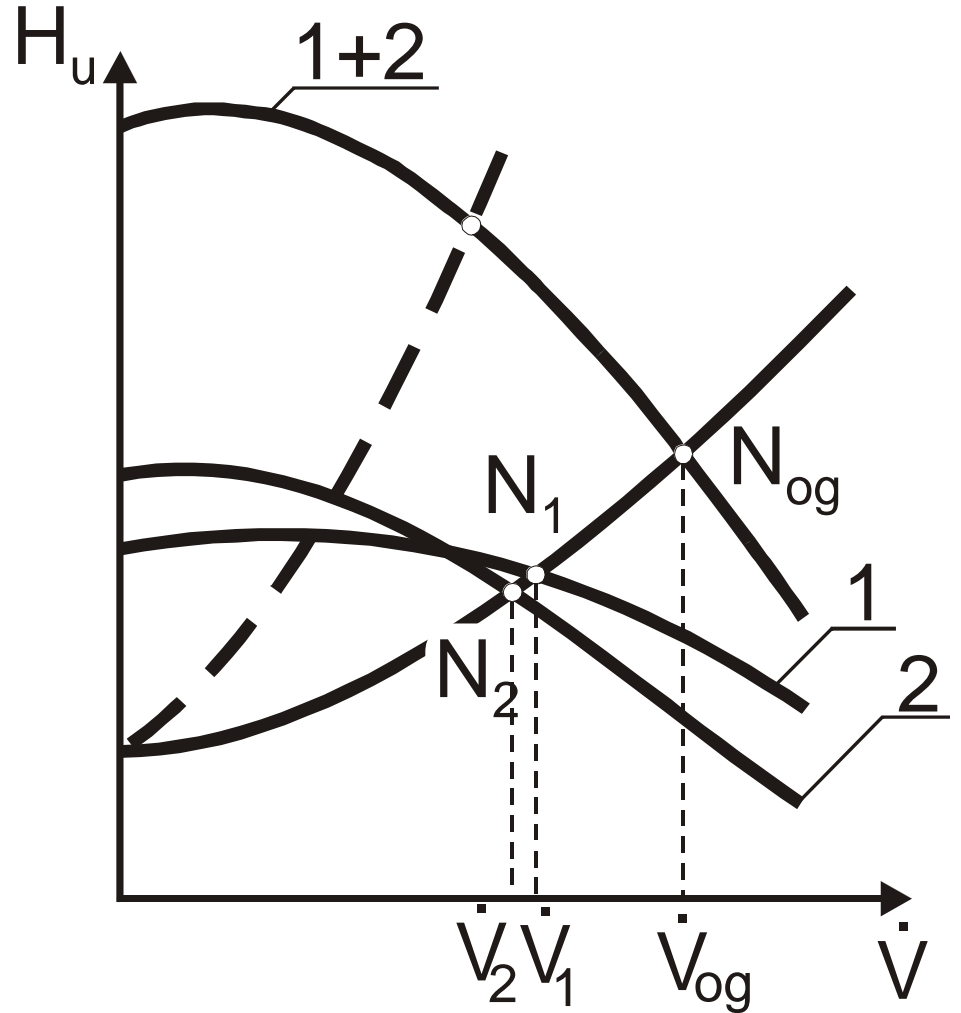
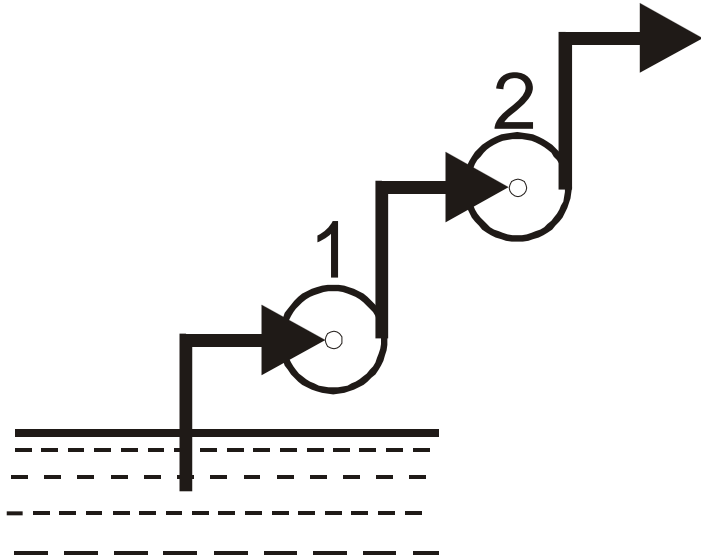
$$\xi_{og} = \frac{1}{\sum \left(\frac{1}{\sqrt{\xi_i}} \right)^2}$$

Pompy wirowe



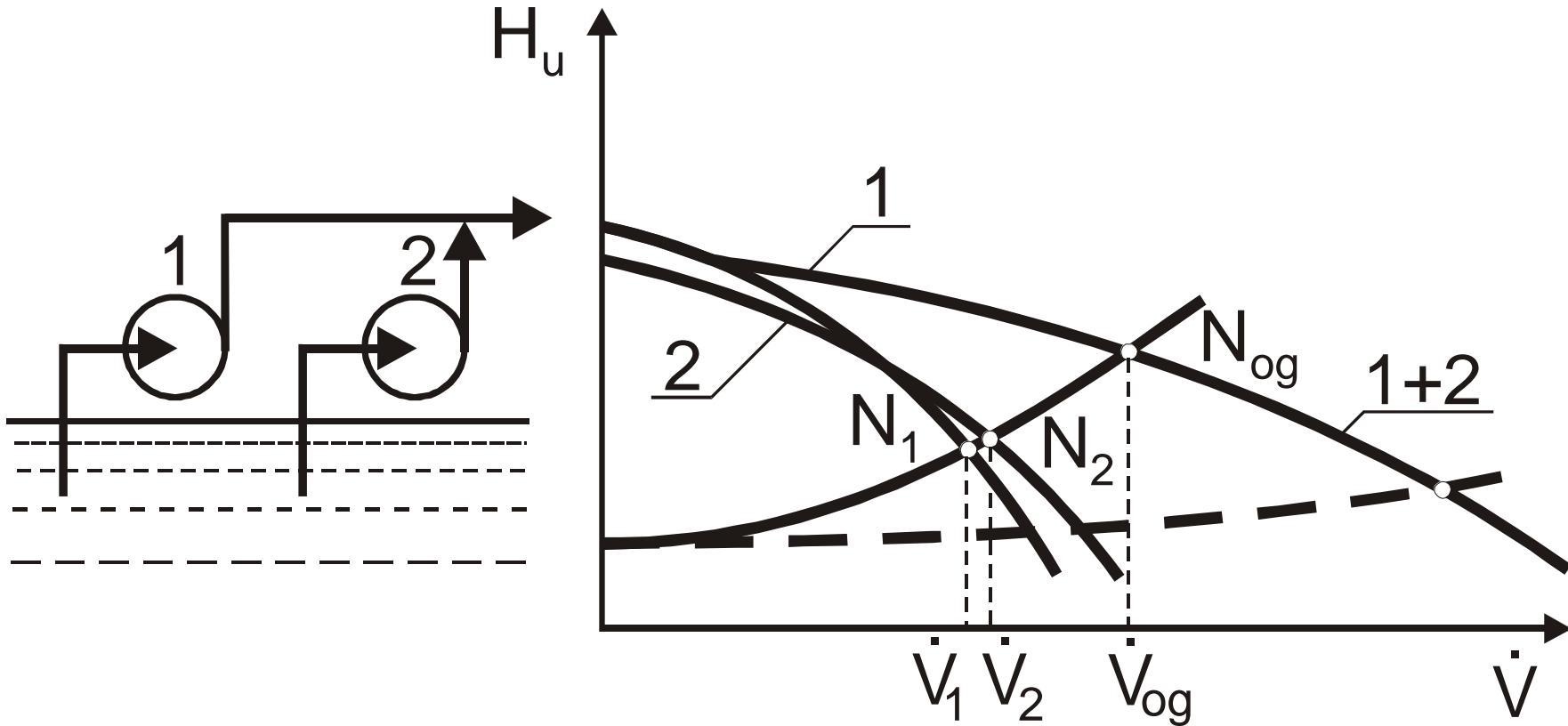
Pompy wirowe

Dwie pompy do jednego zbiornika
(połączenie szeregowe – wytworzenie
zwiększonej wysokości podnoszenia)



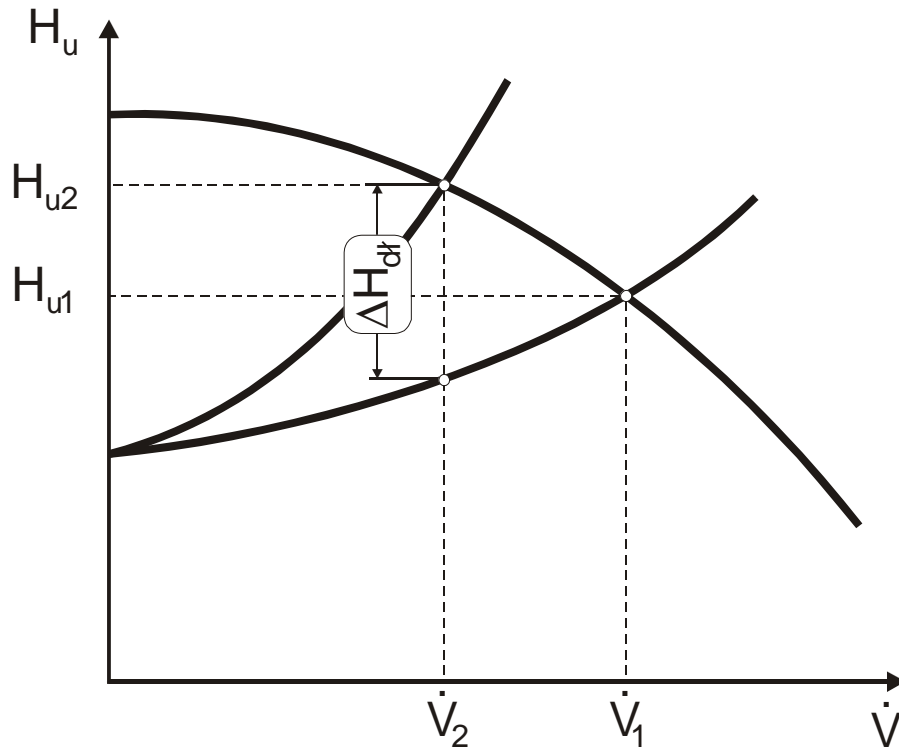
Pompy wirowe

Dwie pompy do jednego zbiornika
(połączenie równoległe – zwiększenie
wydajności)



Pompy wirowe

W praktyce przemysłowej regulację (zmniejszenie) wydajności pompy najłatwiej wykonać przez zdławienie na zaworze. Ale czy to się opłaca?



Strata mocy związana z dławieniem:

$$\Delta N_{dl} = \frac{\dot{V}_2 \rho g \Delta H_{dl}}{\eta_{og}}$$

Pompy wirowe

Najbardziej ekonomicznym sposobem jest stosowanie silników o zmiennej częstotliwości obrotowej.

Zmiana częstotliwości obrotowej powoduje zmianę strumienia cieczy opisaną równaniem:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Zmianę wysokości użytecznej podnoszenia:

$$\frac{H_{u1}}{H_{u2}} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

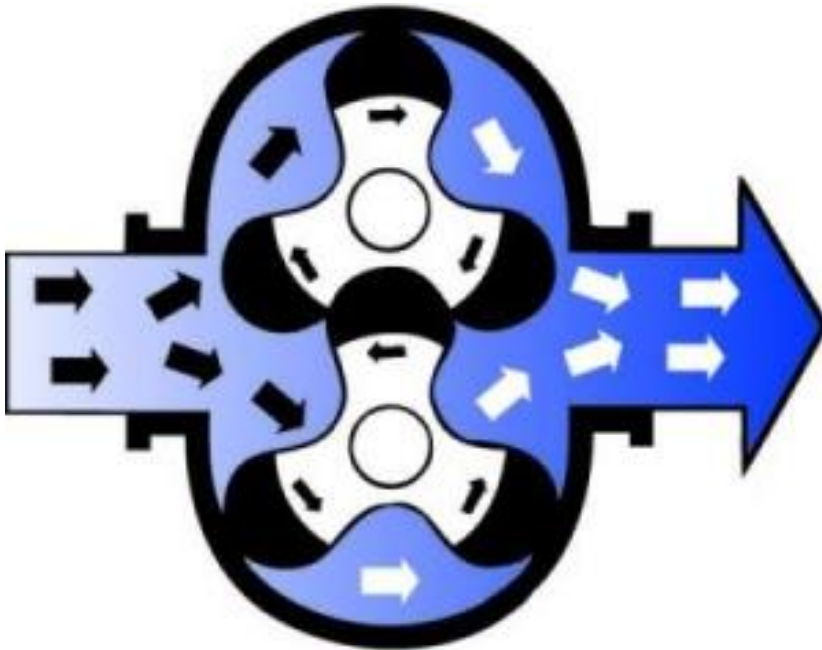
Zmianę zużycia mocy:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

Pompy

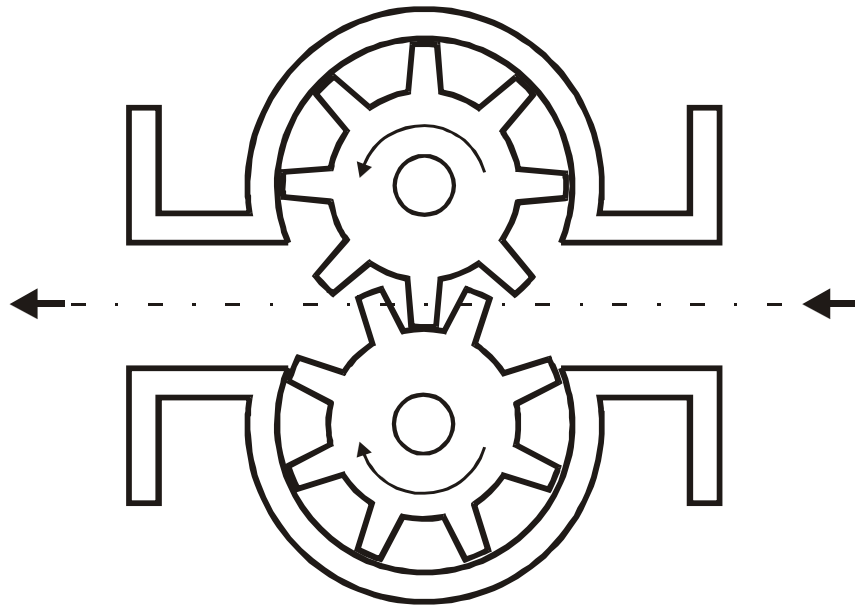
Przykłady różnych rozwiązań konstrukcyjnych pomp

- Pompy rotacyjne krzywkowe

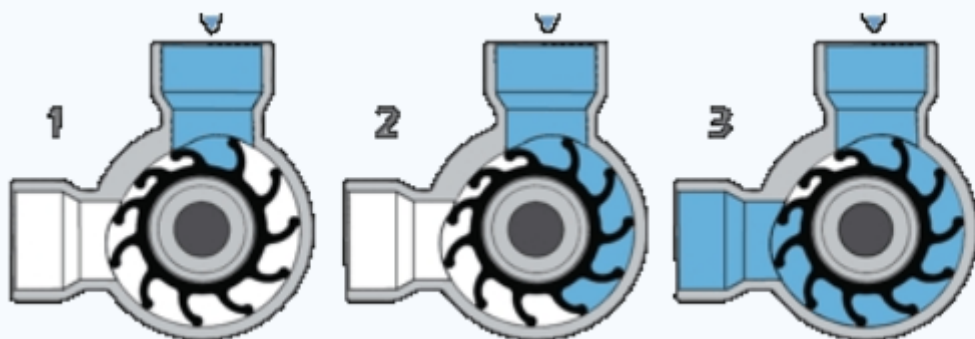


Pompy

Pompa rotacyjna zębata



Pompy z elastycznym wirnikiem



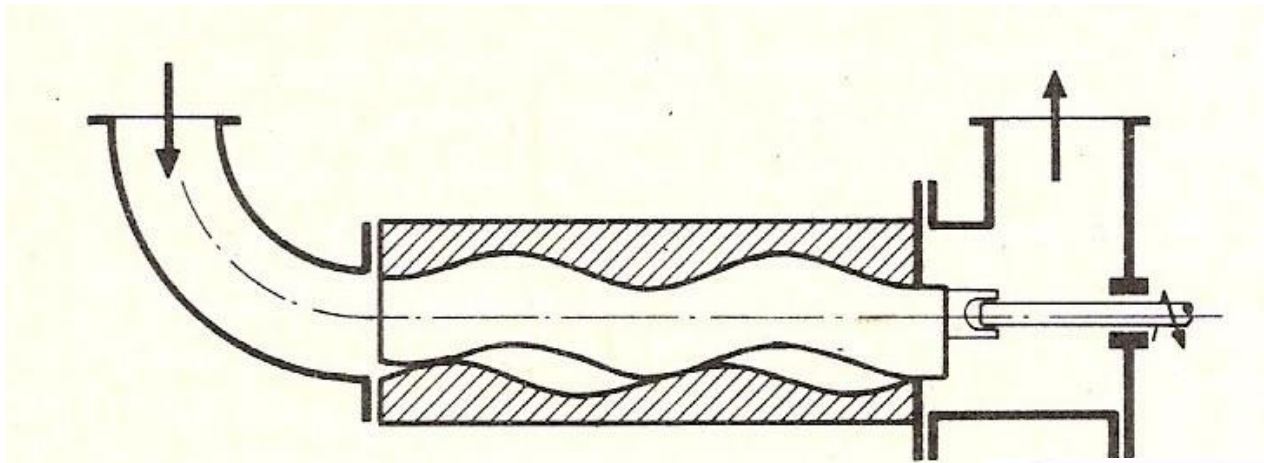
Łopatki elastycznego wirnika opuszczając obszar krzywizny przewężenia komory pompy prostują się powiększając objętość luki międzyłopatkowej. Dzięki temu powstaje podciśnienie i następuje zasysanie cieczy do pompy.

Obracający się wirnik transportuje czynnik od strony ssawnej do strony tłocznej. W czasie obrotu wirnika ilość cieczy pomiędzy łopatkami pozostaje stała. Dzięki swojej konstrukcji, pompy z elastycznym wirnikiem mogą przenosić stosunkowo duże zanieczyszczenia stałe.

W momencie gdy łopatki elastycznego wirnika ponownie wchodzi w obszar krzywizny, zginają się powodując wypieranie cieczy z przestrzeni międzyłopatkowej.

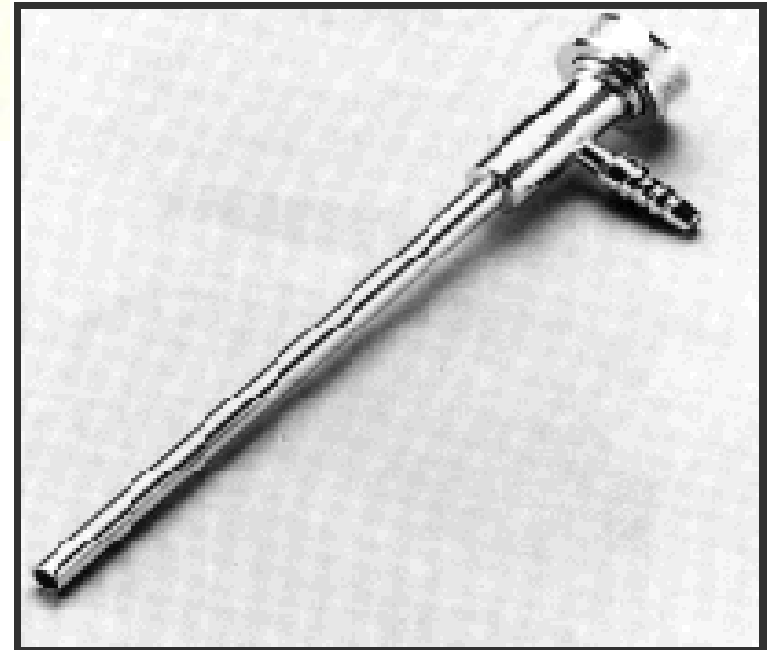
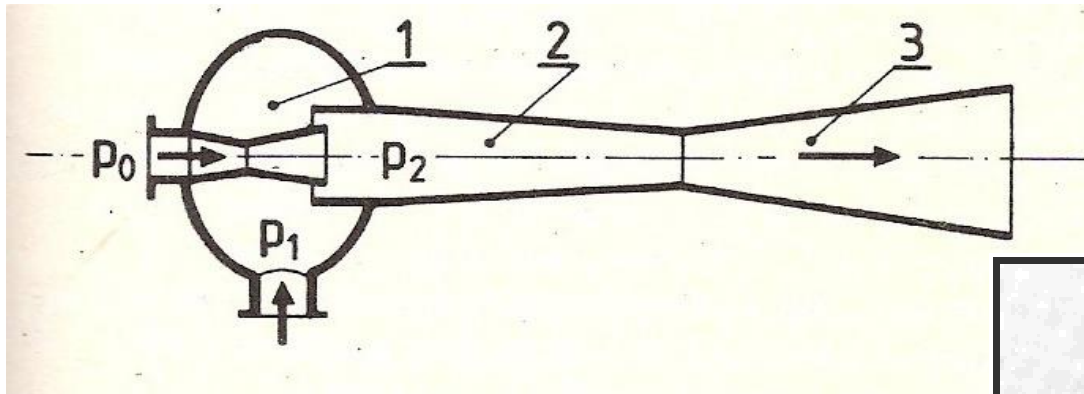
Pompy

➤ Pompy śrubowe



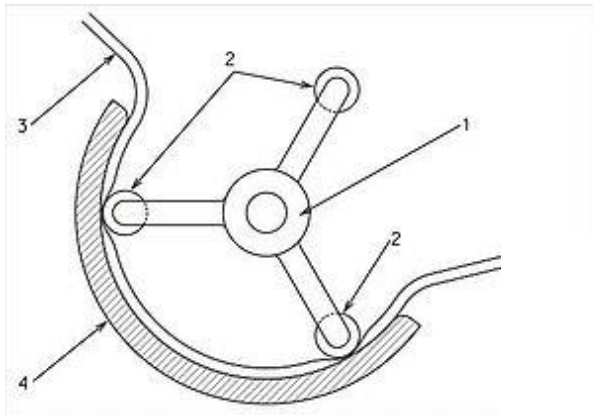
Pompy

➤ Pompy strumieniowe



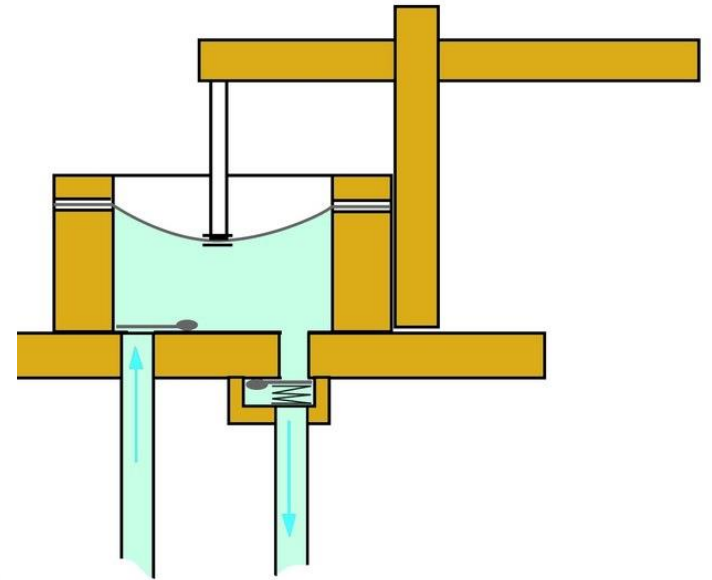
Pompy

➤ Pompy perystaltyczne



Pompy

➤ Pompy membranowe



Przesyłanie gazów

Do transportu gazów wykorzystujemy sprężarki, dmuchawy i wentylatory. Różnice konstrukcyjne wynikają z konieczności wytworzenia odmiennych różnic ciśnień pomiędzy wlotem do aparatu i wylotem z rurociągu.

- **wentylatory** charakteryzują się przyrostem ciśnienia do około 13 kPa,
- **dmuchawy** charakteryzują się przyrostem ciśnienia w zakresie 13-300 kPa,
- **sprężarki** charakteryzują się przyrostem ciśnienia większym niż 300 kPa.

Inny podział – oparty na tzw. stopniu sprężania ε

- wentylatory $\varepsilon < 1,1$
- dmuchawy $1,1 < \varepsilon < 3$
- sprężarki $3 < \varepsilon < 12$

Przesyłanie gazów

Podczas planowania instalacji tłoczących gazy należy uwzględnić następujące dane:

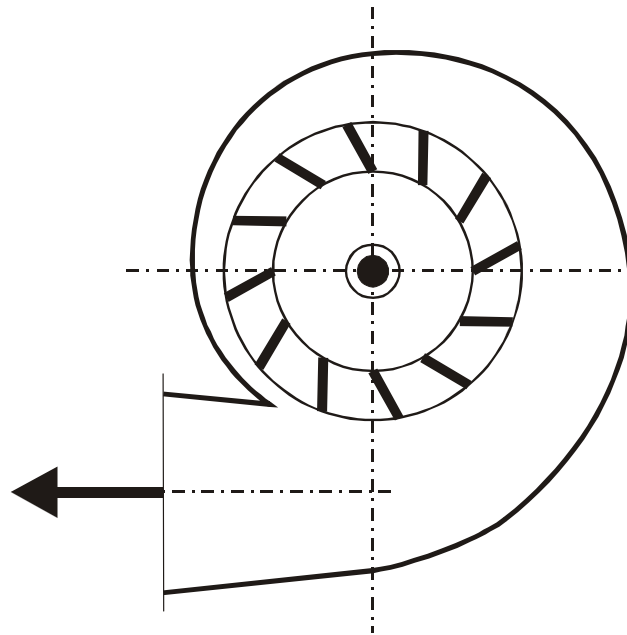
- 1) właściwości tłoczonego gazu, wielkości strumienia gazu, wielkość sprężu,
- 2) rodzaj konstrukcji, charakterystykę sprężarki,
- 3) charakterystykę sieci rurociągów,
- 4) zapotrzebowanie na moc, napęd, możliwość przeciążania,
- 5) wielkość miejsca na zabudowę,
- 6) wielkość urządzeń pomocniczych (przewodów, zbiorników, urządzeń zabezpieczających warunki bhp, układ smarujący i chłodzący).

Wentylatory



Przesyłanie gazów

Wentylator promieniowy



Przesyłanie gazów

