



Politechnika Wroclawska

Pomiar pompy wirowej

Instrukcja do ćwiczenia nr 20

Badanie maszyn - laboratorium

Opracował: dr inż. Andrzej Tatarek

1. Wstęp

Pompami nazywamy maszyny, służące do podnoszenia cieczy z poziomu niższego na poziom wyższy lub też do przetłaczania cieczy z przestrzeni o ciśnieniu niższym do przestrzeni o ciśnieniu wyższym. Działanie ich polega na wytworzeniu różnicy ciśnień pomiędzy stroną ssawną a stroną tłoczną pompy.

2. Cel pomiaru

Celem pomiaru jest wyznaczenie wielkości charakteryzujących pracę pompy wirowej i sporządzenie jej krzywych charakterystycznych (charakterystyk).

$H = f(q_v)$ – charakterystyka przepływu;

$P = f(q_v)$ – charakterystyka mocy;

$\eta_o = f(q_v)$ – charakterystyka sprawności;

gdzie:

q_v – wydajność objętościowa pompy, m^3/s ;

H – użyteczna (efektywna) wysokość podnoszenia pompy, m;

P – moc dostarczona – moc na wale pompy, kW;

η_o – sprawność całkowita (ogólna) pompy;

3. Stanowisko pomiarowe

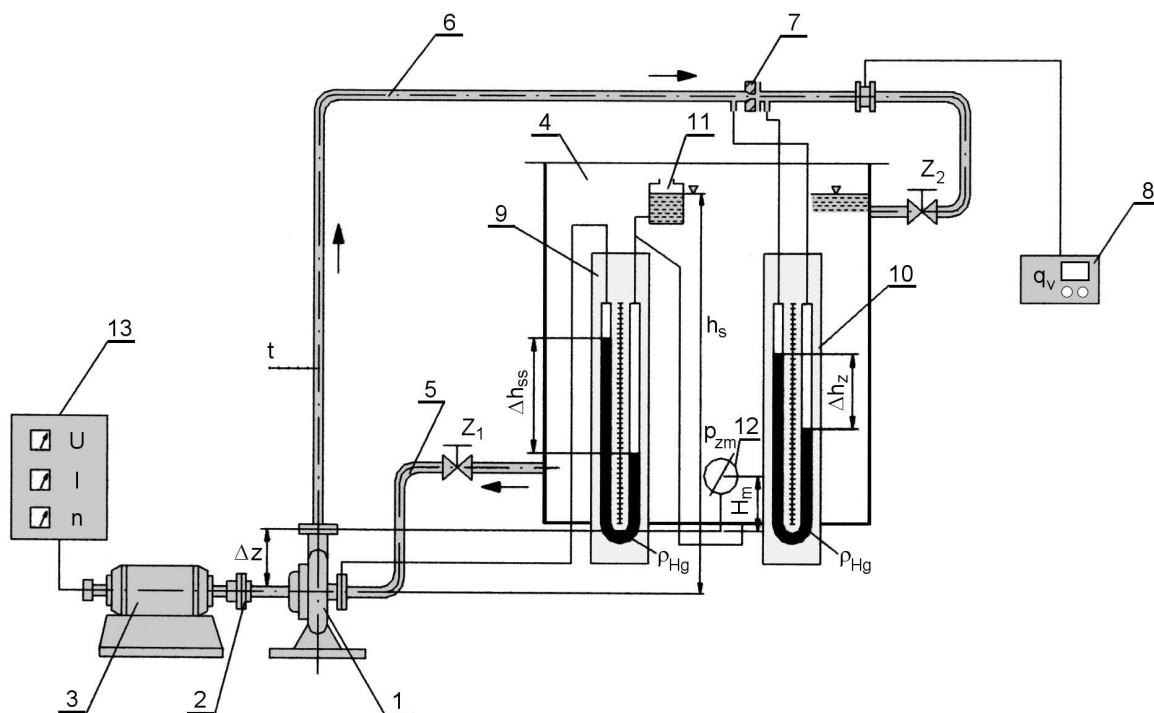
Stanowisko pomiarowe (rys. 1) składa się z agregatu pompowego (pompa i silnik napędowy), zbiornika głównego (4) oraz układu rurociągów, armatury i przyrządów pomiarowych. Całość tworzy układ obiegowy (zamknięty) umożliwiający krążenie wody w przypadku pracy pompy.

Pompa (1) napędzana jest silnikiem prądu stałego (3) typu szeregowo-bocznikowego, którego obroty reguluje się przy użyciu sterownika tyrystorowego (13). Układ przepływowy tworzą: pompa (1) zbiornik główny (4), atmosferyczny (tj. bezciśnieniowy), zawierający $2 m^3$ wody, rurociąg ssawny (5) z zasuwą odcinającą (Z_1) oraz rurociąg tłoczny z zaworem regulacyjnym (Z_2).

Stanowisko wyposażone jest w aparaturę pomiarową umożliwiającą pomiar wszystkich wielkości wchodzących w zakres badania. Do króćca ssawnego pompy przyłączony jest rtęciowy manometr hydrostatyczny (9) do pomiaru ciśnienia na wlocie do pompy. Do króćca tłoczego pompy przyłączono manometr sprężynowy (12) do pomiaru ciśnienia na wylocie. Ponad punktem odbioru ciśnienia tłoczenia zainstalowano termometr szklany do pomiaru temperatury wody. W rurociąg tłoczny (6) wmontowano kryzę ISA (7) oraz przepływomierz typu „Ursflux” (8) ze ścieżką wirów do pomiaru strumienia objętości. Różnicowy manometr rtęciowy (10) podłączony do zwężki pomiarowej tworzą zespół przepływomierza zwężkowego. Naczynie poziome (11) dołączone do prawego ramienia manometru (9) zapewnia znany poziom wody nad rtęcią, którego znajomość jest

niezbędna dla określenia ciśnienia na ssaniu pompy i jednocześnie dzięki połączeniu ze zbiornikiem głównym (4) spełnia funkcję wodowskazu („zero” skali umieszczonej na naczyniu (11) znajduje się na wysokości króćca ssawnego).

Na płycie czołowej sterownika tyrystorowego (13) obok urządzeń manipulacyjnych znajduje się woltomierz i amperomierz oraz wskaźnik liczby obrotów – przyrządy umożliwiające wyznaczenie mocy pobieranej przez silnik i momentu na wale pompy.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

1 – pompa, 2 – sprzęgło, 3 – silnik elektryczny, 4 – zbiornik wodny, 5 – rurociąg ssawny, 6 – rurociąg tłoczny, 7 – zwężka pomiarowa, 8 – przepływomierz „Ursaflux” ze ścieżką wirów, 9 – hydrostatyczny manometr rtęciowy do pomiarów ciśnienia na wlocie do pompy, 10 – hydrostatyczny manometr rtęciowy do pomiaru różnicy ciśnień na zwężce, 11 – naczynie poziome, 12 – manometr sprężynowy do pomiaru ciśnienia na wylocie z pompy, 13 – sterownik tyrystorowy

4. Metodyka przeprowadzenia pomiarów

Badania należy rozpocząć od ustalenia się warunków pracy pompy i przepływu cieczy. Okres ten trwa od momentu zmiany pracy pompy do chwili, gdy wszystkie przyrządy pomiarowe wskazują ustalone wielkości. Przy najczęściej stosowanej dławieniowej regulacji natężenia przepływu badanie przeprowadza się dla różnych położenia zaworu (Z_2) na tłoczeniu.

Pomiary rozpoczynamy dla maksymalnego otwarcia zaworu dławiącego (Z_2) na rurociągu tłocznym dla $n=3000$ obr/min i odczytujemy na przyrządach pomiarowych następujące wielkości

(q_v , Δh_{ss} , p_{zm} , Δh_z , U , I , t) oraz wielkości stałe (H_m , Δz). Powyższe wielkości zaznaczone są na (rys. 1). Po zapisaniu odczytanych wartości wielkości mierzonych, zmniejszamy obroty do np. $n=2600$ obr/min i odczytujemy ponownie powyższe wielkości. Pomiary przeprowadzamy następnie przy tym samym położeniu zaworu dla obrotów n równych np. 2200, 1800, 1600, 1200, 800. Potem przy obrotach $n=3000$ dławimy odpowiednio zaworem (Z_2) tak aby uzyskać $3/4$ wydatku maksymalnego q_v (odczytanego na przepływomierzu (8)). Dalej robimy pomiary dla takich samych liczb obrotów jak w pierwszej serii pomiarów. Dalsze serie pomiarów dokonywane są dla nastawień zaworu (Z_2) takich, aby przy $n=3000$ obr/min osiągnąć $1/2$ względnie $1/4$ maksymalnego wydatku q_v . Przeprowadzamy także pomiary dla całkowitego zamknięcia zaworu (Z_2).

5. Obliczanie wielkości charakterystycznych

Obliczanie tzw. użytecznej lub efektywnej wysokości podnoszenia H pompy:

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho_{H_2O} \cdot g} + \Delta z + \frac{(c_2^2 - c_1^2)}{2g}, \quad \text{m} \quad (1)$$

gdzie:

p_1 – ciśnienie absolutne na ssaniu, Pa;

p_2 – ciśnienie absolutne na tłoczeniu, Pa;

Δz – różnica poziomów pomiędzy króćcem wlotowym a króćcem wylotowym pompy, m;

c_1 – prędkość średnia wody w króćcu wlotowym pompy, m/s;

c_2 – prędkość średnia wody w króćcu wylotowym pompy, m/s;

ρ_{H_2O} – gęstość wody w warunkach pomiaru, kg/m^3 ;

g – przyspieszenie ziemskie; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

Ciśnienia absolutne p_1 i p_2 obliczamy ze wzorów:

$$p_1 = p_{ot} + h_s \cdot \rho_{H_2O} \cdot g - \Delta h_{ss} \cdot (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) \cdot g, \quad \text{Pa} \quad (2)$$

$$p_2 = p_{ot} + H_m \cdot \rho_{H_2O} \cdot g + p_{2m}, \quad \text{Pa} \quad (3)$$

gdzie:

p_{ot} – ciśnienie otoczenia, Pa;

Δh_{ss} – różnica poziomów cieczy manometrycznej w manometrze hydrostatycznym (9) przy króćcu ssawnym, m;

h_s – różnica poziomów cieczy w zbiorniku (4) i króćca ssawnego, m;

H_m – różnica poziomów między króćcem tłocznym a manometrem sprężynowym (12), m;

p_{2m} – ciśnienie wskazane przez manometr (12) w króćcu tłocznym, Pa;

ρ_{Hg} – gęstość rtęci w warunkach pomiaru, kg/m^3 ;

ρ_{H_2O} – gęstość wody w warunkach pomiaru, kg/m^3 ;

g – przyspieszenie ziemskie; $g=9,81 \text{ m/s}^2$;

Dla naszych warunków pomiarowych przyjmujemy, że $c_1 = c_2$ ponieważ średnice rurociągów ssawnego i tłoczego są równe. Użyteczną wysokość podnoszenia pompy H obliczamy ze wzoru (1).

Sprawność pompy obliczamy ze wzoru:

$$\eta_o = \frac{P_u}{P}, \quad (4)$$

Moc dostarczoną P do napędu pompy, która jest mocą pobieraną przez pompę lub sprzęgło obliczamy ze wzoru:

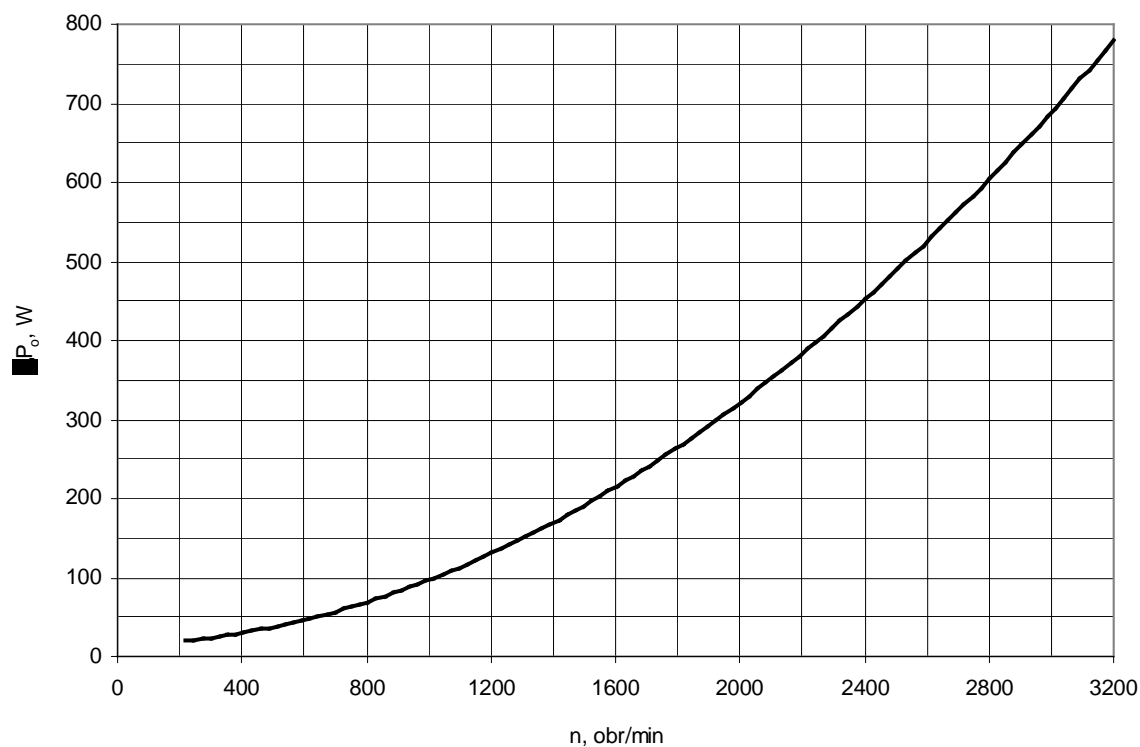
$$P = U \cdot I - \Delta P_o(n), \quad \text{W} \quad (5)$$

gdzie:

U – napięcie na zaciskach twornika silnika elektrycznego, V;

I – natężenie prądu pobieranego przez silnik, A;

$\Delta P_o(n)$ – straty biegu jałowego w zależności od obrotów silnika, W; stratę wyznacza się na podstawie wykresu na rys. 2;



Rys. 2. Straty biegu jałowego ΔP_o w zależności od obrotów silnika n

Obliczanie mocy użytecznej P_u , która jest mocą potrzebną do podniesienia w czasie jednej sekundy, bez strat, objętości cieczy (o gęstości ρ) równej liczbowo rzeczywistej wydajności pompy q_v na użyteczną wysokość podnoszenia H .

$$P_u = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot q_v \cdot H, \quad \text{W} \quad (6)$$

Sprawność ogólną pompy η_o obliczamy uwzględniając wzory (4), (5) i (6).

Wartość natężenia przepływu q_v odczytujemy bezpośrednio z przepływomierza wirowego (8) oraz obliczamy zgodnie z normą PN-EN ISO 5167-1:

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_z}{\rho_{H_2O}}}, \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (7)$$

gdzie:

C – współczynnik przepływu; dla kryzy zainstalowanej na rurociągu $C=0,603$;

β – przewężenie; $\beta = \frac{d_k}{D}$, gdzie: d_k – średnica otworu kryzy, D – średnica rurociągu;

ε – liczba ekspansji; dla wody $\varepsilon=1$;

A_o – pole przekroju otworu zwężki, m^2 ;

ρ_{H_2O} – gęstość wody w warunkach pomiaru, kg/m^3 ;

Δp_z – różnica ciśnień statycznych na zwężce, Pa;

6. Sporządzanie charakterystyki pompy

Pomiary i obliczenia są podstawą do sporządzenia wykresów, przedstawionych na rys. 3. Na (rys. 3) naniesiono (oznaczone liczbami 1, 2, 3, 4) zależności $H = f(q_v)$ dla poszczególnych położzeń zaworu regulacyjnego (Z_2). Wykreślone krzywe charakteryzują opory hydrauliczne w układzie. Do wykreślenia w układzie współrzędnych (q_v , H) linii stałych η_o , n , P należy sporządzić wykresy pomocnicze:

$$\eta_o = f(q_v) \quad (\text{rys. 3a}),$$

$$n = f(q_v) \quad (\text{rys. 3b}),$$

$$P = f(q_v) \quad (\text{rys. 3c}),$$

W celu wykreślenia linii $n=\text{const}$ potrzebne są krzywe pomocnicze $n = f(q_v)$, przedstawione na rys. 3b, ważne przy poszczególnych położeniach zaworu regulacyjnego, oznaczonych liczbami 1, 2, 3, 4. Na rys. 3b pokazano przykład kreślenia linii $n=2000$ obr/min.

Wykresy na rysunkach 3a i 3b powinny mieć jednakowe podziałki na osi odciętych. W podobny sposób nanosi się na wykres (na rys. 3) linie $P=\text{const}$ i $\eta_o=\text{const}$, posługując się wykresami

pomocniczymi $P = f(q_v)$ (rys. 3c) i $\eta_o = f(q_v)$ (rys. 3a). Wykresy te są sporządzone dla poszczególnych położenia zaworu regulacyjnego (Z_2) i mają na osi odciętych taką samą podziałkę jak wykres na rysunku 3.

Na rysunku pokazano przykładowo kreślenie linii $P=3$ kW, $\eta_o=50$ %. Wykres $H = f(q_v)$ z naniesionymi liniami stałych η_o , n , P nazywamy charakterystyką pompy.

Wielkości stałe, które należy uwzględnić podczas sporządzania sprawozdania.

$d_k=31,4$ mm – średnica otworu kryzy;

$D=50$ mm – średnica rurociągu;

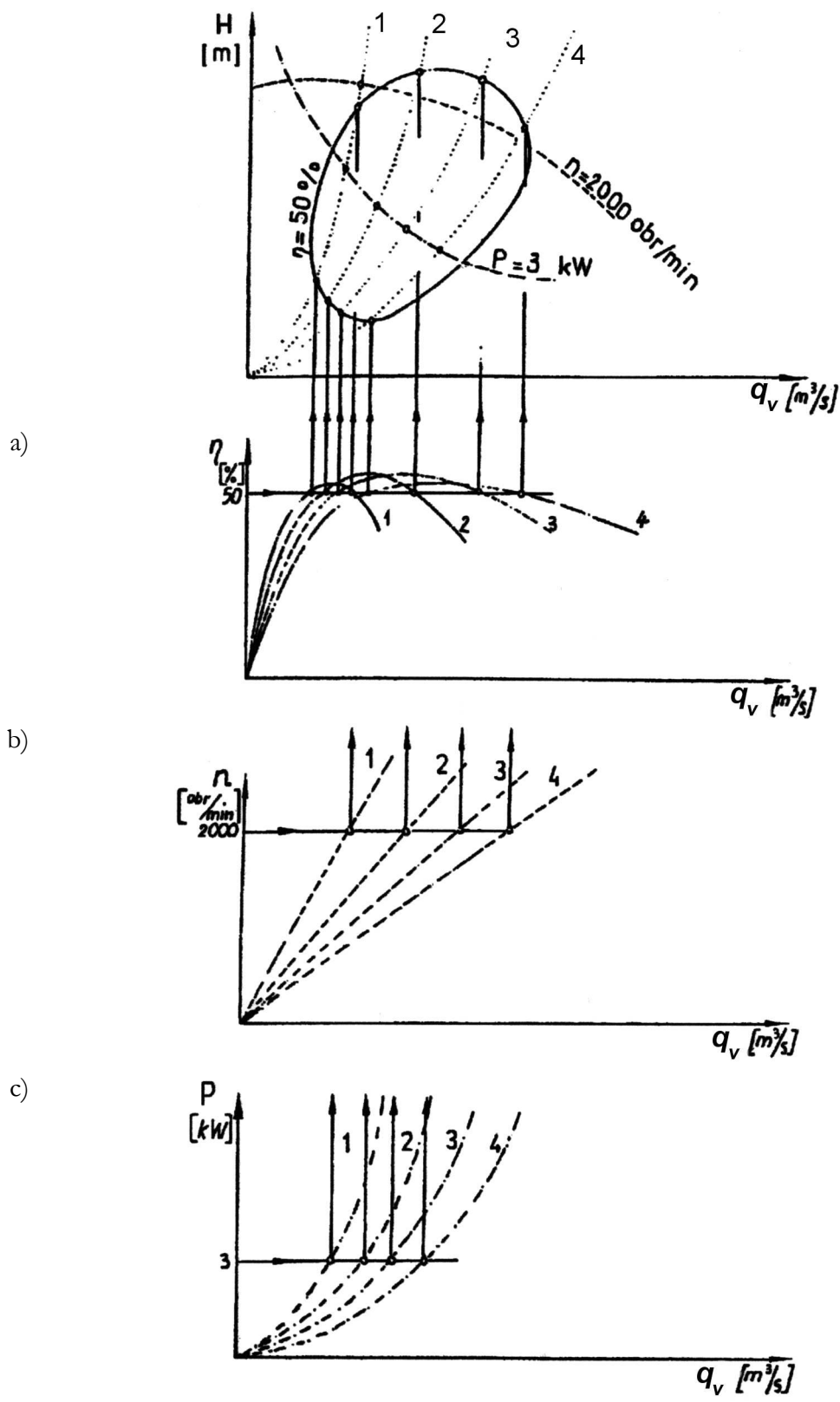
$C=0,603$ – współczynnik przepływu dla kryzy zainstalowanej na rurociągu;

$\epsilon=1$ – współczynnik ściśliwości dla wody;

$\Delta z=0,15$ m – różnica poziomów pomiędzy króćcem wlotowym a króćcem wylotowym pompy;

$H_m=0,645$ m – różnica poziomów między króćcem tłocznym a manometrem sprężynowym;

$h_s=1,849$ m – różnica poziomów cieczy w zbiorniku i króćcu ssawnym.



Rys. 3. Charakterystyka pompy

