ĆW NR 21

BADANIE POMP WSPÓŁPRACUJĄCYCH SZEREGOWO

Zakres przygotowania przez studentów

1. Zadania, klasyfikacja pomp wirowych i tłokowych
2. Podstawowe parametry charakteryzujące pracę pomp: wysokość ssania, wysokość tłoczenia i wysokość podnoszenia, wydajność, moc i sprawność
3. Zjawisko kawitacji i uderzenia hydrauliczne
4. Współpraca szeregowa pomp o jednakowych i różnych charakterystykach. Przykłady zastosowań.
5. Regulacja wydajności pomp wirowych

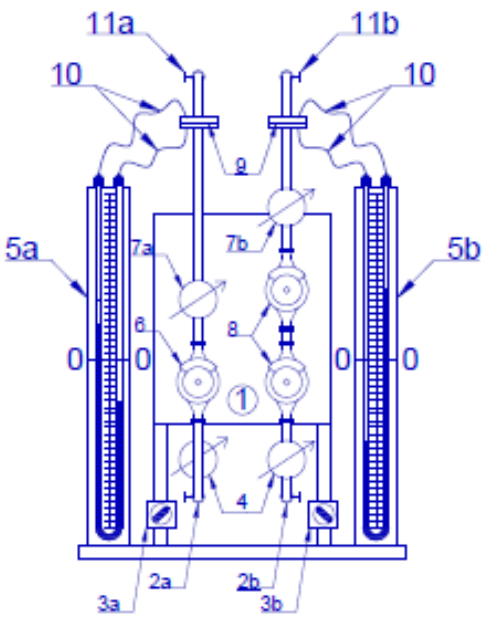
1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania dwóch pomp współpracujących szeregowo, wyznaczenie charakterystyki pracy dla pojedynczej pompy, wyznaczenie charakterystyki zastępczej (łącznej) dwóch pomp połączonych szeregowo i prześledzenie ich przebiegu.

2. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

3. STANOWISKO POMIAROWE

Układ pomiarowy składa się z trzech podobnych pomp (o podobnych charakterystykach); jedna pracuje samodzielnie na jednym rurociągu, a dwie pozostałe względem siebie szeregowo na drugim rurociągu. W rurociągach zamontowano kryzy z kołnierzowym odbiorem ciśnienia wraz z manometrami cieczowymi różnicowymi, manometry sprężynowe do pomiaru ciśnienia na króćcach ssawnych i tłocznych pomp, oraz zawory regulacyjne. W tym układzie pominięto pomiar ciśnienia na króćcu ssącym pompy pracującej pojedynczo a przyjęto do obliczeń ciśnienie ssania takie samo jak przy zespole pomp na drugim rurociągu, ponieważ wszystkie pompy mają podobne charakterystyki i z założeń teoretycznych są identyczne.



Rys.1. Schemat stanowiska do badania pomp połączonych szeregowo.

1. Zbiornik wody, 2a,b. Zawory dławiące,
3a,b. Przełączniki: włącz/wyłącz, 4. Wakuometry,
5a,b. Manometr różnicowy, 6. Pompa odśrodkowa promieniowa,
7a,b. Manometry, 8. Pompy odśrodkowe promieniowe połączone szeregowo,
9. Kryzy pomiarowe, 10. Przewody impulsowe, 11a,b. Zawory dławiące.

4. PRZEBIEG POMIARU

1) Należy zapoznać się z budową stanowiska pomiarowego
2) Dokonać odczytu temperatury otoczenia t_{ot} i ciśnienia otoczenia p_{ot}
3) Dokonać odczytu różnicy poziomów odbioru ciśnienia na tłoczeniu i ssaniu dla pompy pojedynczej i układu pomp
4) Włączyć zasilanie pomp
5) Odkręcić dolny zawór przy pompie (6) oraz całkowicie zdławić przepływ (11a)
6) Odczekać do ustabilizowania się przepływu
7) Dokonać odczytu na manometrze różnicowym (5a) oraz ciśnienia tłoczenia na manometrze sprężynowym tarczowym (7a)
8) Zmniejszyć dławienie na zaworze (11a) w taki sposób, aby wskazania na manometrze (7a) zmniejszyły się o przyjęty krok
9) Powtarzać kroki aż do pełnego otwarcia zaworu dławiącego
10) Zakręcić zawór dławiący i wyłączyć pompę (6)
11) Odkręcić dolny zawór przy układzie pomp (8) oraz całkowicie zdławić przepływ (11b)
12) Odczekać do ustabilizowania się przepływu
13) Dokonać odczytu różnicy ciśnień na manometrze różnicowym (5b) oraz ciśnienia tłoczenia i ssania na manometrze sprężynowym tarczowym (4 i 7b)
14) Zmniejszyć dławienie na zaworze (11a) w taki sposób, aby wskazania na manometrze (7a) zmniejszyły się o przyjęty krok
15) Powtarzać ostatnie kroki aż do całkowitego otwarcia zaworu dławiącego
16) Zamknąć zawór (11b) i wyłączyć układ pomp

5. WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

A) Wartości przyjęte do obliczeń

(wg PN-EN ISO 5167-1:2000 „Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych")

Wykaz oznaczeń:

C - współczynnik przepływu,

d - średnica otworu kryzy (gardzieli) w warunkach roboczych,

D - średnica wewnętrzna rurociągu,

p – bezwzględne ciśnienie statyczne płynu,

q_m - strumień masy,

q_v - strumień objętości,

Re - liczba Reynoldsa,

Re_D - liczba Reynoldsa odniesiona do średnicy rurociągu,

β - przewężenie,

Δp – ciśnienie różnicowe,

ε - liczba ekspansji,

μ - lepkość dynamiczna płynu,

ν - lepkość kinematyczna płynu,

Δz_{poj} – różnica wysokości między króćcem ssawnym i tłocznym dla pompy pojedyńczej,

$\Delta z_{ukł}$ – różnica wysokości między króćcem ssawnym i tłocznym dla układu pomp,

Tabela 1. Wartości przyjęte do obliczeń

t_{ot}	p_{ot}	ρ_{wody}	υ_{wody}	ρ_{cz}	D	d	Δz_{poj}	$\Delta z_{ukł}$
[°C]	[Pa]	[kg/m3]	[m2/s]	[kg/m3]	[m]	[m]	[m]	[m]

B) Wyniki pomiarów

Tabela 2. Wartości zmierzone dla pojedynczej pompy

pomiar	p_t [kPa]	h1 [mm]	h2 [mm]	Δh [mm]

Tabela 3. Wartości zmierzone dla układu pomp połączonych szeregowo

pomiar	p_t [kPa]	h1 [mm]	h2 [mm]	Δh [mm]

C) Obliczenia dla pompy pojedynczej i układu pomp szeregowo

1. Obliczenie różnicy wysokości ciśnień na zwężce pomiarowej [m]

$$\Delta h = h1 - h2$$

Δh - różnica wysokości ciśnienia
$h1$ – wysokość ciśnienia przed kryzą pomiarową
$h2$ – wysokość ciśnienia za kryzą pomiarową

2. Obliczenie ciśnienia z manometru różnicowego [Pa]

$$\Delta p = \Delta h \rho_{cz} g$$

gęstość czynnika, cieczy manometrycznej w warunkach pomiarowych ρ_{cz}=2000 [kg/m3]
przyspieszenie ziemskie - g

3. Obliczenie przewężenia dla kryzy pomiarowej

$$\beta = \frac{d}{D}$$

4. Sprawdzenie parametrów kryzy z normą

Norma PN-EN ISO 5167-1:2000 określa następujące parametry dla kryz z kołnierzowym odbiorem ciśnienia:

$$d \geq 12{,}5\ mm$$

$$50\ mm \leq D \leq 1000\ mm$$

$$0{,}1 \leq \beta \leq 0{,}75$$

$$\mathrm{Re}_D \geq 4000 \text{ i } \mathrm{Re}_D \geq 170\,\beta^2 D$$

5. Założenie początkowej liczby Reynoldsa

$$\mathrm{Re}_D = 10^6$$

6. Obliczenie tymczasowej wartości współczynnika przepływu C (wg PN-EN ISO 5167-1), przy pomocy wzoru uproszczonego

$$C = 0{,}5961 + 0{,}0261\beta^2 - 0{,}216\beta^8 + 0{,}000521\left(\frac{10^6\beta}{Re_D}\right)^{0{,}7} + (0{,}0188 + 0{,}0063A)\beta^{3{,}5}\left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{0{,}3}$$

gdzie D wstawiane w [mm], zaś A:

$$\mathrm{A} = \left(\frac{19000\beta}{\mathrm{Re}_\mathrm{D}}\right)^{0{,}8}$$

7. Liczba ekspansji

Dla płynów nieściśliwych (np. woda) $\varepsilon_1 = 1$

8. Obliczenia przybliżonej wartości strumienia masy qm [kg/s] lub strumienia objętości qv [m3/s]

Strumień masy = wydatek pompy $\dot{Q}$

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}}\varepsilon_1 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\,\Delta p\,\rho_{H_2O}} = \dot{Q}$$

Strumień objętości

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_{H_2O}} = \dot{V}$$

9. Średnia prędkość przepływu [m/s]

$$w = \frac{\dot{Q}}{\pi\, D^2 \rho_{wody}}$$

10. Obliczenia liczby Reynoldsa

$$Re = \frac{4\dot{Q}}{\pi\,\mu D}$$

lub

$$Re = \frac{D\,w}{\vartheta_{wody}}$$

gdzie: D w [m]

11. Sprawdzenie warunku $|Re_D - Re| < 100$

Jeśli warunek nie został spełniony należy powtórzyć kroki zakładając za Re_D wartość liczby Reynoldsa Re wyliczoną w kroku poprzednim.

12. Teoretyczna manometryczna wysokość podnoszenia

$$H_{man}{}^{t} = \frac{p_t - p_s}{\rho_{wody}\, g} + \Delta z$$

p_s – ciśnienie na ssaniu, w tym przypadku =0 [Pa]
Δz – różnica poziomów między króćcem ssawnym i tłocznym [m]

13. Manometryczna wysokość podnoszenia

$$H_{man} = H_{man}{}^{t} \frac{\rho_{wody}}{\rho_{wody\ n}}$$

$\rho_{wody\ n}$ – gęstość wody w warunkach normalnych =1000 [kg/m3], (odniesiona jest do słupa wody o temperaturze 4°C i gęstości 1000 kg/m^3 odpowiadającego jednemu metrowi słupa wody dającemu ciśnienie 0,1 kG/cm^2)

14. Obliczenie teoretycznego wydatku zespołu pomp połączonych szeregowo $\dot{Q} = \dot{Q}_{1+1}$

15. Obliczenie manometrycznej wysokości podnoszenia zespołu pomp połączonych szeregowo [m]

$$H_{man\ 1+1} = 2 * H_{man\ 1}$$

16. Przygotowanie na jednym wykresie
a) charakterystyki rzeczywistej pojedynczej pompy dla warunków pomierzonych,
b) układu pomp połączonych szeregowo dla warunków pomierzonych,
c) układu pomp połączonych szeregowo dla warunków teoretycznych.

6. TABELE OBLICZENIOWE

W sprawozdaniu powinien być zawarty pełen przykład obliczeniowy dla jednego, wybranego pomiaru, zaznaczonego w tabeli.
W tabelach obliczeniowych należy zawrzeć obliczenia dla wszystkich kolejnych pomiarów.

7. WNIOSKI

Wnioski (nawiązujące do celu ćwiczenia, zawierające ocenę poprawności pomiaru, analizę otrzymanych wyników, dodatkowe uwagi dotyczące najważniejszych parametrów występujących w ćwiczeniu, porównanie charakterystyk pomp - **szczególnie charakterystykę dla zespołu pomp z charakterystyką zastępczą dla zespołu pomp**)

8. LITERATURA PODSTAWOWA DO ĆWICZENIA

1. **Jankowski F.: Pompy i wentylatory w inżynierii sanitarnej, Arkady Warszawa 1975**
2. **Stępniewski M: Pompy, WNT, Warszawa 1985**
3. **Pomiary cieplne cz. 2.: Praca pod redakcją zbiorową, WNT, Warszawa 1993**

4. Kołodziejczyk L.: Pomiary w inżynierii sanitarnej, Arkady Warszawa 1980
5. Termodynamika - Laboratorium Miernictwa Cieplnego pod redakcją W. Pudlika, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1993
6. Kotlewski F.: Pomiary w technice cieplnej, WNT, Warszawa 1972
7. Skrypty uczelniane PS i innych ośrodków akademickich, związane tematycznie z ćwiczeniami

PN-EN ISO 5167-1:2000 Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych - Kryzy, dysze i zwężki Venturiego wbudowane w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym

PN-90/M-44000 Przenośniki cieczy - Terminologia i podział

PN-81/M-44001 Pompy wirowe i ich układy - Wielkości charakterystyczne - Nazwy, określenia, symbole i jednostki miar

PN-88/M-34801.05 Pomocnicze urządzenia cieplne w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach - Pompy układów ciepłowniczych - Wymagania i badania

wody użytkowej - Wymagania, badania, oznakowanie

PN-68/M-44003 Pompy wirowe i wyporowe - Zespoły i elementy - Nazwy i określenia

PN-M-44015:1997 Pompy - Ogólne wymagania i badania