



**LABORATORIUM NAPĘDÓW HYDRAULICZNYCH
I PNEUMATYCZNYCH**

**INSTYTUT MASZYN ROBOCZYCH CIĘŻKICH
WYDZIAŁ SAMOCHODÓW I MASZYN ROBOCZYCH
POLITECHNIKA WARSZAWSKA**
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa



Ćwiczenie HP5

Charakterystyka pompy wyporowej

Instrukcja

Opracowanie: dr inż. Michał Makowski

1. Wprowadzenie

Pompy wyporowe charakteryzują się szczelnym oddzieleniem przestrzeni ssawnej (niskiego ciśnienia) od przestrzeni tłocznej (wysokiego ciśnienia). Przemieszczanie cieczy z obszaru niskiego do obszaru wysokiego ciśnienia jest realizowane za pomocą elementów wyporowych. Ruch tych elementów jest zazwyczaj wymuszany przez obrót wału pompy.

Pompy wyporowe można podzielić - w zależności od rodzaju ruchu elementów wyporowych - na dwie grupy: pompy tłokowe i pompy rotacyjne. Do grupy pomp rotacyjnych należą pompy zębate, śrubowe i łopatkowe.

Elementy, których zadaniem jest oddzielenie przestrzeni tłocznej od przestrzeni ssawnej, stanowią rozrząd pompy. W przypadku pomp rotacyjnych elementy wyporowe zazwyczaj spełniają również funkcję elementów rozrządu.

2. Podstawowe pojęcia i zależności

Wydajność jednostkowa pompy q_p (nazywana również geometryczną objętością roboczą V_{gp}) jest cechą konstrukcyjną, która charakteryzuje rozmiary pompy. Jest ona zdefiniowana jako objętość cieczy, jaka teoretycznie jest dostarczana w trakcie jednego obrotu wału pompy (bez strat objętościowych).

Wydajność teoretyczna pompy Q_t [m^3/s] jest to średnie teoretyczne objętościowe natężenie przepływu cieczy podawanej przez pompę idealną (bez strat objętościowych) - uśrednione w przedziale czasu Δt_o odpowiadającym jednemu obrotowi wału. Może ona być obliczona na podstawie zależności

$$Q_t = \frac{q_p}{\Delta t_o} = \frac{q_p \cdot \omega_p}{2\pi} \quad (1.1)$$

gdzie: ω_p – prędkość kątowna wału pompy.

Iloczyn wydajności jednostkowej q_p i prędkości obrotowej $n[s^{-1}]$ wału pompy nazywamy wydajnością teoretyczną Q_t .

Wydajnością rzeczywistą pompy Q_p nazywamy średnie objętościowe natężenie przepływu cieczy dostarczanej przez pompę, uśrednione w przedziale czasu odpowiadającego jednemu obrotowi wału pompy.

Moment teoretyczny na wale pompy idealnej (pracującej bez strat) możemy wyznaczyć jako stosunek iloczynu wydajności teoretycznej i różnicy ciśnień

między wylotem i wlotem pompy (albo: króćcem wyjściowym i wejściowym) do prędkości kątowej wału pompy ω_p .

$$M_t = \frac{Q_t \cdot \Delta_p}{\omega_p} \quad (1.2)$$

Moc doprowadzoną do pompy N_p możemy wyznaczyć jako iloczyn momentu obrotowego na wale pompy M_p i prędkości kątowej wału pompy ω_p .

$$N_p = M_p \cdot \omega \quad (1.3)$$

Moc otrzymana N_{ep} (efektywna, czyli doprowadzona do cieczy opuszczającej pompę) wyznaczana jest na podstawie wydajności rzeczywistej pompy Q_p i różnicy ciśnień tłoczenia i ssania pompy Δ_p :

$$N_{ep} = Q_p \cdot \Delta_p \quad (1.4)$$

Sprawność ogólna pompy η jest definiowana jako stosunek mocy otrzymanej z pompy N_{ep} do mocy doprowadzonej do pompy N_p .

$$\eta = \frac{N_{ep}}{N_p} \quad (1.5)$$

Sprawność objętościowa η_v jest stosunkiem wydajności rzeczywistej Q_p do wydajności teoretycznej Q_t .

$$\eta_v = \frac{Q_p}{Q_t} \quad (1.6)$$

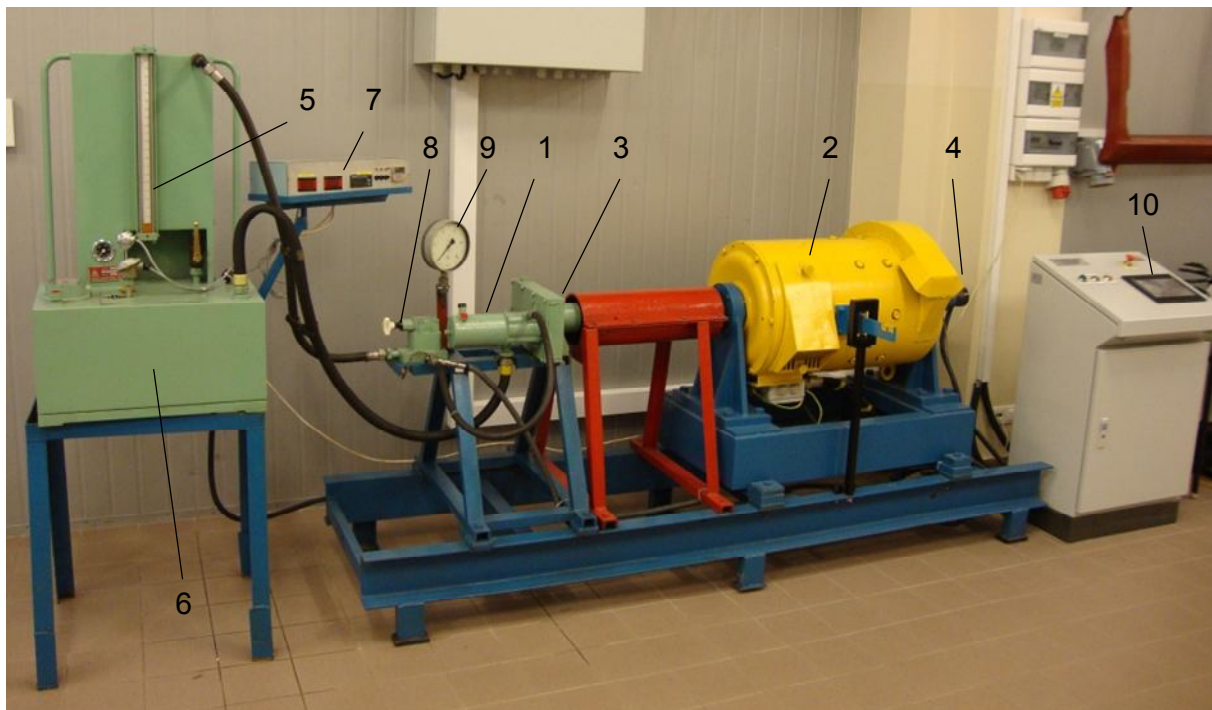
W trakcie ćwiczenia przeprowadzone zostaną badania służące wyznaczeniu charakterystyki pompy wyporowej w zależności od różnicy ciśnień oraz prędkości kątowej wału pompy.

3. Obiekt badań

Obiektem badań jest pompa wyporowa zębata o zazębieniu zewnętrznym, której cechą konstrukcyjną jest stały wydatek jednostkowy $6,25 \text{ cm}^3/\text{obr}$. Czynnikiem roboczym jest olej hydrauliczny, którego lepkość w dużej mierze zależy od temperatury.

4. Stanowisko badawcze

Na rysunku 1.1 przedstawiono stanowisko do badania pomp wyporowych. Pompa (1) napędzana jest silnikiem elektrycznym (2) (którego prędkość obrotowa może być zmieniana). Moment napędowy przekazywany jest za pośrednictwem wału do multiplikatora (3) o przełożeniu $i=0,25$. Korpus silnika (2) jest podparty obrotowo na łożyskach, do korpusu jest przymocowane ramię reakcyjne połączone z czujnikiem siły, który jest zamocowany do ramy stanowiska. Taka zabudowa silnika elektrycznego umożliwia pomiar momentu obrotowego, który w stanach ustalonych jest równy momentowi reakcyjnemu działającemu na obudowę silnika. Prędkość obrotowa silnika mierzona jest za pomocą enkodera (4). Zadawanie żądanej prędkości obrotowej odbywa się poprzez wpisanie odpowiedniej wartości na pulpicie sterowniczym (10).

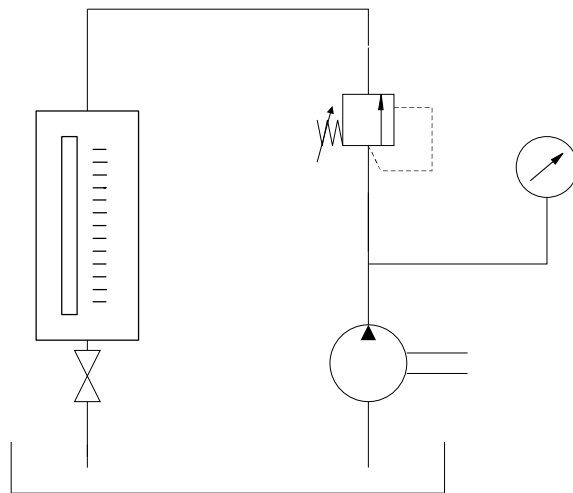


Rys. 1.1. Stanowisko pomiarowe do badań pompy wyporowej

Wydatek rzeczywisty wyznaczany jest na podstawie objętości oleju podanego przez pompę w zmierzonym przedziale czasu. Objętość ta jest mierzona za pomocą wskazań miernicy (5), która wskazuje objętość przetłoczonego oleju. Zbiornik oleju (6) wyposażony jest w grzałkę połączoną z regulatorem temperatury (7). Do regulacji ciśnienia tłoczenia pompy służy sterowany ręcznie zawór przelewowy (8). Wartość

ciśnienia (ściślej wartość nadciśnienia ponad ciśnienie atmosferyczne) wskazuje manometr (9). Jest ono również mierzone za pomocą czujnika ciśnienia. Schemat hydrauliczny stanowiska jest przedstawiony na rys. 1.2.

Prędkość obrotowa silnika elektrycznego (2) zadawana jest poprzez wpisanie żądanej wartości na pulpicie sterowniczym (10). W przypadku nagrzania się oleju do zbyt wysokiej temperatury badania należy przerwać i odciążyć pompę do czasu obniżenia temperatury. (to przenieść dalej do pkt. 5)



Rys. 1.2. Schemat hydrauliczny stanowiska pomiarowego pompy wyporowej

Na rysunku 1.2. przedstawiono schemat hydrauliczny stanowiska badawczego. Zawiera on następujące elementy przedstawione za pomocą symboli hydraulicznych: pompa wyporowa (1), manometr (2) z rurką Bourdona, zawór przelewowy (3) służący do sterowania ciśnieniem tłoczenia (zawór ten jest również zaworem bezpieczeństwa), miernica (4), zawór odcinający (5), który służy do opróżniania miernicy i zbiornik oleju (6).

5. Przeprowadzenie pomiarów

Pomiary należy przeprowadzić przy niewielkich wahaniach temperatur, tak aby zmiana nie przekraczała 5°C . W tym celu przed przystąpieniem pomiarów olej hydrauliczny należy doprowadzić do temperatury podanej przez prowadzącego. Celem podwyższenie temperatury oleju uruchamiamy pompę przy średnim obciążeniu i włączamy grzałkę znajdującą się w zbiorniku. Po osiągnięciu żądanej temperatury oleju przystępujemy do wykonania ćwiczenia. W przypadku nagrzania się oleju podczas badań do zbyt wysokiej temperatury pomiary należy przerwać i odciążyć pompę do czasu obniżenia się temperatury.

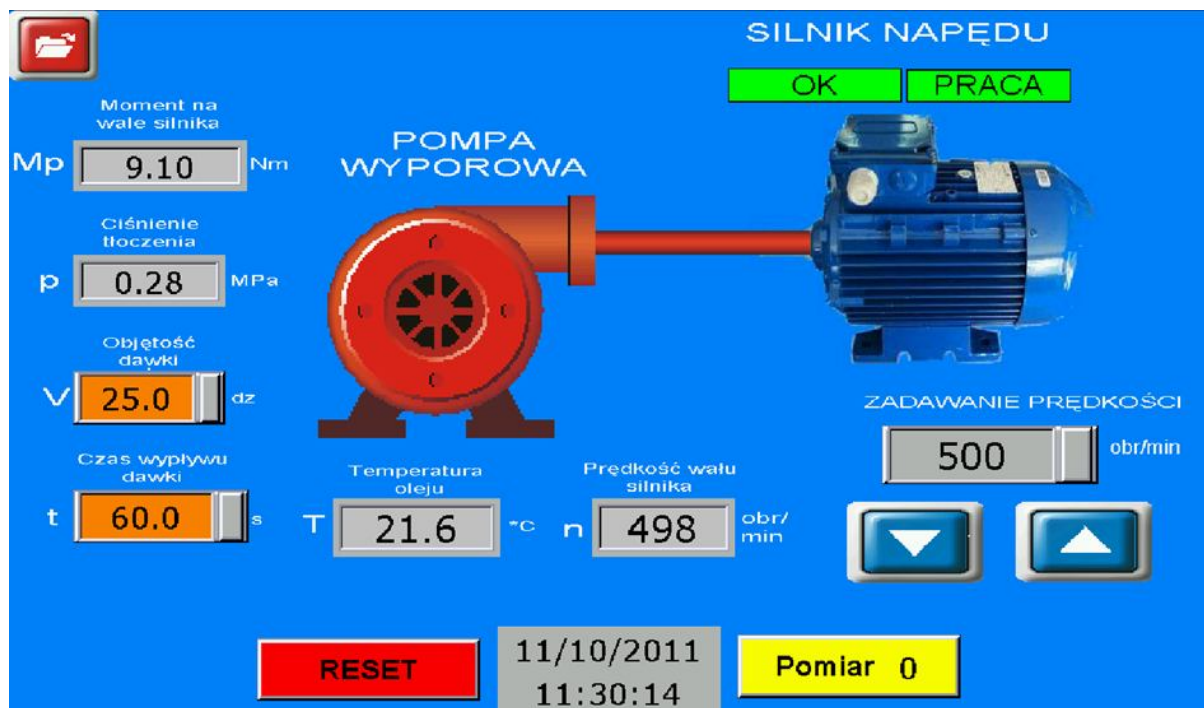
Ćwiczenie składa się z dwóch części:

- badania pompy przy stałej prędkości obrotowej i zmianie ciśnienia tłoczenia;
- badania pompy przy stałym ciśnieniu i zmianie prędkości obrotowej;

Prowadzący podaje wartości ciśnienia i prędkości obrotowej, przy których należy przeprowadzić pomiary, podaje on również wartości graniczne ciśnienia i prędkości obrotowej. W wyznaczonym zakresie należy uzyskać 12 punktów pomiarowych dla każdej serii. W trakcie badań napełniamy miernicę stałą objętością oleju podaną przez prowadzącego i mierzymy czas napełniania, wartości te zapisujemy na pulpicie sterowniczym. Pozostałe wartości, które są mierzone za pośrednictwem urządzeń elektronicznych (tj. ciśnienie, prędkość obrotowa, moment na wale silnika elektrycznego i temperatura), wyświetlane są na ekranie pulpitu sterownika. Po wprowadzeniu danych zapisujemy wyniki pomiarów na nośniku elektronicznym.

6. Pulpit sterowniczy

Pulpit sterowniczy uruchamiamy włącznikiem głównym, po czym wyświetli się ekran pulpitu przedstawiony na rysunku 1.3. Celem uruchomienia napędu pompy wyporowej należy włączyć silnik napędowy przyciskiem „START” (zielony przycisk).



Rys. 1.3. Pulpit sterowniczy stanowiska do badań pompy wyporowej

Gotowość urządzenia do pracy jest sygnalizowana przez zapalenie kontrolki na kolor zielony na ekranie w polu „SILNIK NAPĘDU”. Prędkość obrotową silnika elektrycznego zadajemy przez wprowadzenie żądanej prędkości obrotowej w polu „ZADAWANIE PRĘDKOŚCI”. Wówczas szarych polach pojawia się: prędkość wału silnika w obr/min, moment na wale silnika w Nm i ciśnienie tłoczenia w MPa. Na ekranie wyświetlane jest również pole z temperaturą oleju w zbiorniku w °C.

W polu „Objętość dawki” należy wpisać objętość oleju w dm^3 zmierzoną na miernicy a w polu „Czas wypływu dawki” zmierzony czas wypływu objętości w s. Zapisanie pomiaru następuje przez naciśnięcie pola „Pomiar”, w którym po zapisie danych wyświetla się kolejny numer pomiaru. Przed zapisaniem danych należy upewnić się, że włożyliśmy pamięć przenośną do gniazda USB w pulpicie sterowniczym.

Po przeprowadzeniu pomiarów w polu „ZADAWANIE PRĘDKOŚCI” należy wpisać wartość 0, celem zatrzymania urządzenia. Wyłączamy napęd przyciskiem „STOP” (czerwony przycisk na pulpicie). Na koniec wyłączamy pulpit sterowniczy wyłącznikiem głównym.

7. Opracowanie wyników

Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych punktów pomiarowych należy wykonać następujące wykresy: $M_p = f(n)$, $Q_p = f(n)$, $M_p = f(p)$, $Q_p = f(p)$. Wykorzystując otrzymane punkty pomiarowe w opraciu o punkty pomiarowe należy przeprowadzić odpowiednią aproksymację. Z wykresów odczytujemy wartości M_p i Q_p w serii badań przy stałym ciśnieniu odczytujemy wartości prędkości obrotowej, co 100 obr/min, a przy stałej prędkości obrotowej odczytujemy wartości ciśnienia, co 0,5 MPa. Uzyskane wartości wpisujemy do tabel z wynikami pomiarowymi. Na podstawie zależności przedstawionych podanych w pkt. 2 na początku opracowania wyznaczamy:

- moc na wale pompy N_p ,
- moc otrzymaną N_{ep} ,
- wydajność teoretyczną Q_t ,
- moment teoretyczny na wale pompy M_t ,
- sprawność ogólną pompy η ,
- sprawność objętościową pompy η_v ;

Wyznaczone wartości należy przedstawić w formie tabel i na ich podstawie wykonać wykresy charakterystyk:

- N_p , N_{ep} , Q_p , Q_t , M_p , M_t , η , η_v w funkcji ciśnienia p ,

- N_p , N_{ep} , Q_p , Q_t , M_p , M_t , η , η_v w funkcji prędkości obrotowej wału pompy n ;

8. Literatura

[1] Szydelski Z.: Pojazdy samochodowe. Napęd i sterowanie hydrauliczne. WKiŁ, Warszawa 1993.

[2] Szydelski Z.: Podstawy napędów hydraulicznych, OWPW, Warszawa 1995.

[3] Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny. WNT, Warszawa 2005.