

## STANOWISKO LABORATORYJNE DO POMIARU PARAMETRÓW ELEMENTÓW I UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

### Streszczenie

*W Laboratorium Systemów Hydrotronicznych (LSH) przeprowadza się pomiary parametrów urządzeń hydraulicznych, w celu wyznaczenia ich charakterystyk statycznych i dynamicznych, identyfikacji parametrycznej i sprawności oraz do celów diagnostycznych. Laboratorium wyposażone zostało w elektroniczne przyrządy pomiarowe, które umożliwiają szybki, dokładny i jednoczesny pomiar kilku parametrów, rejestrację ich wartości średnich, maksymalnych i minimalnych, wskazania różnicy wartości dwóch parametrów, zapamiętywanie wielkości pomiarowych, wyznaczanie krzywych pomiarowych, tworzenie protokołu pomiarowego, drukowanie danych lub ich przesyłanie do przetwarzania komputerowego.*

### WSTĘP

W Laboratorium Systemów Hydrotronicznych (LSH) Zakładu Urządzeń Mechatronicznych (ZUM) na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn (WMiBM) Politechniki Świętokrzyskiej (PŚk.) w Kielcach przeprowadza się pomiary parametrów urządzeń hydraulicznych, w celu wyznaczenia ich charakterystyk statycznych i dynamicznych oraz identyfikacji parametrycznej i sprawności, które wykorzystuje się następnie w pracach badawczych i diagnostyce urządzeń hydraulicznych [1], [2]. Do podstawowych zadań pomiarów urządzeń hydraulicznych należy:

- pomiar wielkości fizycznych (ciśnienia, różnicy ciśnień, natężenia przepływu, temperatury, częstotliwości), wyświetlenie i rejestracja wyników pomiaru,
- przesyłanie wyników pomiaru do dalszego przetworzenia: protokolowania, archiwizacji i wizualizacji graficznej,
- opracowanie matematyczne wyników pomiaru,
- wykorzystanie wyników pomiaru do oceny stanu napędów hydraulicznych.

W badaniach laboratoryjnych obowiązują następujące wymagania:

- badania powinny być przeprowadzone w jasnym, czystym, suchym, ogrzewanym, oświetlonym i przewiewnym pomieszczeniu o temperaturze  $+20 \pm 5^\circ\text{C}$ ,
- parametry kontrolne (ciśnienie, natężenie przepływu, temperaturę, prędkość obrotową) należy zmieniać płynnie, podobnie jak w warunkach eksploatacyjnych,
- przyrządy kontrolne (manometry, przepływomierze, termometry, obrotomierze itp.) powinny być dobrane do zakresów zmienności mierzonych parametrów,
- przyrządy pomiarowe nie powinny mieć większego błędu od zalecanych dokładności pomiaru dla danego parametru,
- do hydraulicznych układów pomiarowych należy włączyć zawór bezpieczeństwa zabezpieczający przed wzrostem ciśnienia powyżej wartości dopuszczalnej,
- temperatura cieczy hydraulicznej (oleju) w czasie pomiaru powinna być stała, temperatura jest kontrolowana w określonych punktach pomiarowych,
- wyniki pomiarów należy rejestrować po osiągnięciu warunków stanu ustalonego, dokonując serii odczytów w jednakowym przedziale czasu dla wszystkich mierzonych wielkości,
- za wynik pomiarów wielkości fizycznych przyjmuje się średnią arytmetyczną ze wszystkich pomiarów,

- należy wykonać odpowiednią liczbę odczytów wielkości mierzonych tak, aby ich rozkład w całym badanym zakresie był jednokowy,
- wszystkie wyniki pomiarów oraz wyniki obliczeń oparte na tych pomiarach należy przedstawić w formie graficznej.

### 1. PRZYRZĄDY I UKŁADY POMIAROWE

Sprawdzenie i kontrolę działania napędów hydraulicznych przeprowadza się na stanowiskach laboratoryjnych lub w warunkach eksploatacyjnych za pomocą przenośnych zestawów pomiarowych [3]. Elektroniczne systemy pomiarowe stosowane w diagnostyce napędów hydraulicznych składają się z przetworników pomiarowych, elektronicznego urządzenia pomiarowego, programu komputerowego i oprzyrządowania. System pomiarowy służy do przetwarzania sygnałów, z przetworników pomiarowych na informacje do wyświetlania i zapamiętywania, z możliwością ich dalszego przetwarzania, wyznaczania krzywych pomiarowych, tworzenia protokołu pomiarowego, drukowania danych lub ich przesyłania do komputera. Programy komputerowe wyposażone są także w dodatkowe funkcje umożliwiające: określenie warunków pomiaru (np. zakres temperatury oleju, różnicy ciśnień), powiększanie odcinka krzywej pomiarowej i przeprowadzenie identyfikacji pomiarów. Zaletą zestawów pomiarowych jest równoczesny pomiar kilku wielkości fizycznych: ciśnienia, różnicy ciśnień, temperatury, objętościowego lub masowego natężenia przepływu, częstotliwości obrotów. Przenośne przyrządy pomiarowe, oprócz rejestracji aktualnych wartości parametrów z częstotliwością  $1\text{--}100\text{ ms}^{-1}$ , mogą także odczytywać ich wartości średnie, maksymalne i minimalne, a także różnice ze wskazań dwóch przetworników tego samego typu (np. różnicę ciśnień).

#### 1.1. Zestaw pomiarowy HMG 3000

Przyrząd pomiarowy HMG 3000 firmy Hydac umożliwia jednoczesny pomiar 10 wielkości fizycznych (8 kanałów analogowych, 2 wejścia cyfrowe) [4]. Do pomiarów wykorzystuje się przetworniki analogowe z wyjściowym sygnałem prądowym ( $0\text{--}20\text{ mA}$ ,  $4\text{--}20\text{ mA}$ ) i sygnałem napięciowym ( $0\text{--}5\text{ V}$ ,  $1\text{--}5\text{ V}$ ,  $0\text{--}10\text{ V}$ ,  $0\text{--}50\text{ V}$ ), 1 wejście do pomiaru napięcia  $-10\text{--}+10\text{ V}$ , cyfrowy sygnał częstotliwościowy od  $1\text{ Hz}$  do  $30\text{ kHz}$ . Stała probkowania pomiaru wynosi od  $0,1$  do  $1\text{ ms}$ . Dla każdego przetwornika pomiarowego można ustawić odpowiedni zakres pomiarowy, np. dla ciśnienia od  $0$  do  $40\text{ MPa}$ , temperatury od  $-25$  do  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . W każdym aktywnym kanale pomiarowym można zarejestrować średnie, minimalne i

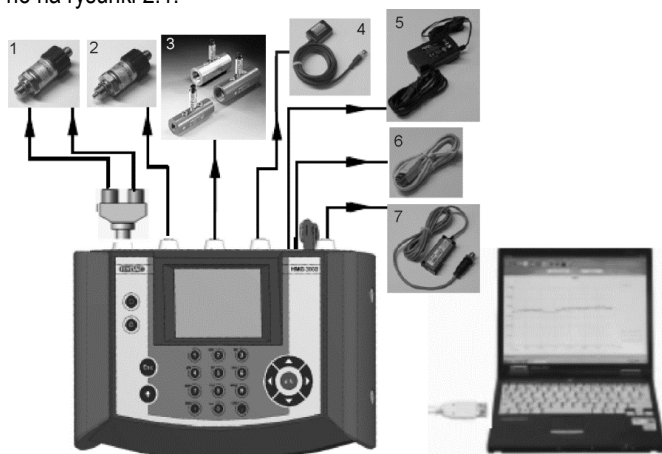
maksymalne wartości mierzonych parametrów. Przyrząd pomiarowy HMG 3000, oprócz podstawowej funkcji pomiarowej, polegającej na wyświetlaniu wartości mierzonej, ma także trzy funkcje specjalne:

- pomiar wartości szczytowych przy bardzo szybkich zmianach ciśnienia, występujących przy uderzeniach hydraulicznych i pulsacjach przepływu,
- pomiar z protokołem, polegający na uchwyceniu wartości pomiarowych, ich zapamiętaniu i wydrukowaniu w postaci tablicy,
- pomiar z krzywą pomiarową, polegający na uchwyceniu wartości pomiarowych, ich zapamiętaniu i wydrukowaniu w postaci krzywej pomiarowej.

Przyrząd pomiarowy HMG 3000 spełnia funkcję kilku mierników pomiarowych: ciśnieniomierza, przepływomierza, obrotomierza i termometru, dlatego musi być wyposażony w specjalne przetworniki pomiarowe z odpowiednim oprzyrządowaniem i oprogramowaniem HMGWIN 3000 lub CMWIN na stanowiskach komputerowych. Z przyrządem pomiarowym HMG 3000 mogą współpracować różne przetworniki pomiarowe firmy HYDAC:

- przetworniki ciśnienia typu: HDA 4000 (0,5%, 0,3%) dla górnego zakresu ciśnienia: 0,6; 1,6; 6,0; 10,0; 25,0; 40,0 i 60,0 MPa,
- przetwornik temperatury typu: ETS 4000 dla zakresu temperatury od -25 do 100 °C,
- przetworniki przepływu (przepływomierze turbinkowe) typu: EVS 3000 dla zakresów pomiarowych: 6...60 l/min; 40...600 l/min; 15...350 l/min,
- czujnik (sonda) prędkości obrotowej typu: HDS 1000 z zestawem folii refleksyjnych.

Zestaw adaptacyjny umożliwia realizację różnych kombinacji pomiarowych przydatnych szczególnie w diagnostyce napędów hydraulicznych. Łatwość przyłączenia przetwornika do układu hydraulicznego wynika z zastosowania złązek adaptacyjnych (*minimes*). Przyrząd pomiarowy HMG 3000 umożliwia bezpośrednie drukowanie wyników oraz ich przesyłanie do komputera w celu ich dalszej obróbki graficznej i matematycznej. Widok zestawu pomiarowego HMG 3000 z przetwornikami ciśnienia (*pressure transducers*), przetwornikiem temperatury (*temperature transducer*), przetwornikami przepływu objętościowego (*volume transducers*), czujnikiem prędkości obrotowej (*speed sensor*) oraz modulem sygnału wejściowego (UVM 3000 module to connect input signals), zasilaczem (*power supply*) i kablem USB (USB connection) zamieszczono na rysunku 2.1.



**Rys. 1.** Widok zestawu pomiarowego HMG 3000: 1 – przetworniki ciśnienia, 2 – przetwornik temperatury, 3 – przetwornik przepływu, 4 – moduł do podłączenia sygnału wejściowego, 5 – zasilacz, 6 – kabel połączeniowy USB, 7 – czujnik prędkości obrotowej [4]

## 1.2. Zestaw pomiarowy Multi-Handy 2042

Przyrządy pomiarowe typu Multi-Handy firmy Hydrotechnik są elektronicznymi przyrządami do pomiaru ciśnienia statycznego, ciśnienia szczytowego, różnicy ciśnień, temperatury, objętościowego i masowego natężenia przepływu, częstotliwości obrotów [5]. Widok zestawu pomiarowego Multi-Handy 2042 zamieszczono na rysunku 2. Firma Hydrotechnik produkuje również takie elektroniczne przyrządy pomiarowe, jak: Multi-Handy 3010, Multi-Handy 3050, Multi-Test 4020, Multi-System 5000, których możliwości pomiarowe są porównywalne z przyrządem HMG 3000 firmy HYDAC.



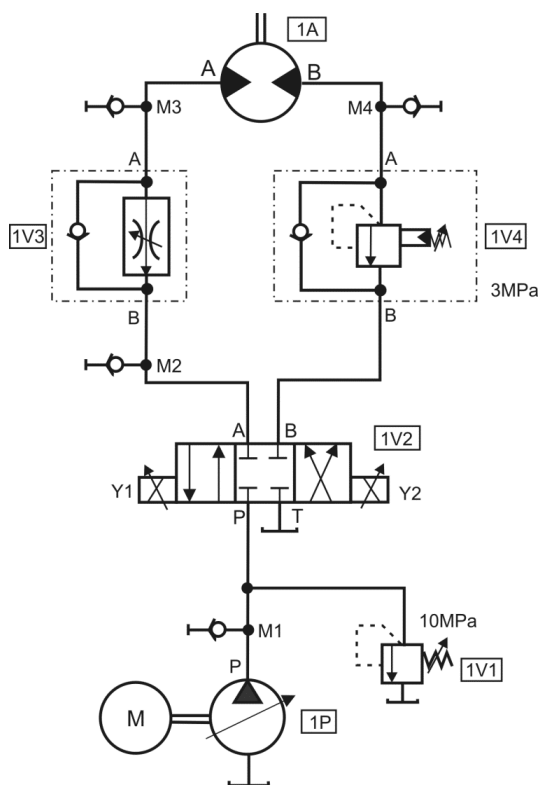
**Rys. 2.** Widok zestawu pomiarowego Multi-Handy 2042 [5]

Przyrząd Multi-Handy 2045 ma dwa kanały pomiarowe do podłączenia dwóch przetworników pomiarowych z wyjściowym sygnałem analogowym od 0 do 20 mA lub od 4 do 20 mA. Ogranicza to ilość pomiarów prowadzonych równocześnie. Do pomiaru natężenia przepływu i prędkości obrotów z wyjściowym sygnałem częstotliwościowym służy dodatkowy przetwornik częstotliwościowo – prądowy (F/I). Do przyrządu pomiarowego Multi-Handy 2045 można podłączyć przetworniki pomiarowe innych firm pod warunkiem wyprowadzenia sygnału analogowego od 0 do 20 mA lub od 4 do 20 mA przy zasilaniu prądem o napięciu od 14,4 do 30 VDC. Z przyrządem pomiarowym Multi-Handy 2042 mogą współpracować różne przetworniki pomiarowe firmy Hydrotechnik, np.:

- przetworniki ciśnienia typu HD dla zakresów pomiarowych: 0...6; 0...20; 0...40; 0...60 MPa,
- przetwornik temperatury typu HT dla zakresu pomiarowego od -50 do 200°C,
- przepływomierze turbinkowe typu RE3 dla zakresów pomiarowych: 7,5...75; 15...300; 25...600 l/min,
- przepływomierze turbinkowe typu RE4 dla zakresów pomiarowych: 1,0...10; 7,7...75; 15...300; 25...600 l/min,
- przepływomierze zębate typu GFM dla zakresów pomiarowych: 0,005...1; 0,05...5; 0,2...30; 0,7...70 i 3,0...300 l/min.
- sonda obrotowa typu DS03 z zestawem folii refleksyjnych.

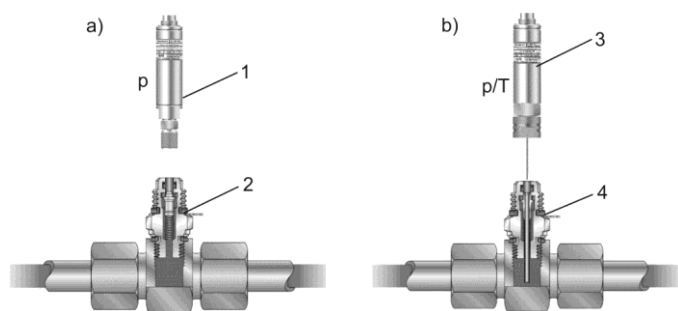
## 2. PUNKTY POMIAROWE W UKŁADACH HYDROSTATYCZNYCH

Na rysunku 3 zamieszczono schemat układu hydraulicznego zgodny z normą PN-ISO 1219-2, na którym wyszczególnione zostały punkty pomiarowe ciśnienia M1-M4 typu „minimes”.



Rys. 3. Schemat układu hydraulicznego z wyszczególnionymi punktami pomiarowymi ciśnienia M1-M4 typu „minimes” [3]

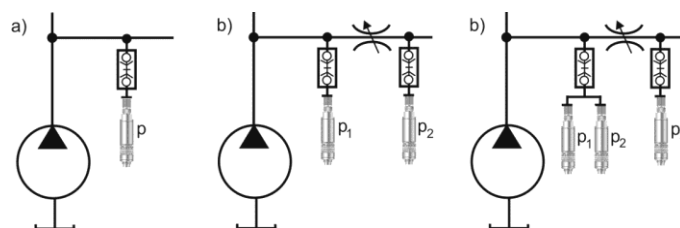
Miejsca pomiaru ciśnienia w układach hydraulicznych zależą od wymagań regulacyjnych i potrzeb badawczych i diagnostycznych. W punkcie M1 mierzy się ciśnienie zasilania pompy 1P ustalone zaworem przelewowym 1V1, w punktach M2 i M3 mierzy się różnice ciśnień na regulatorze przepływu 1V3, a w punkcie M4 mierzy się ciśnienie na wylocie silnika 1A ustalone ciśnieniowym zaworem hamującym 1V4. Punkt pomiarowy ciśnienia z wykorzystaniem przetwornika  $p$  i złączki pomiarowej ciśnienia typu „minimes” zamieszczono na rysunku 4a, a punkt pomiarowy ciśnienia i temperatury z wykorzystaniem przetwornika  $p/T$  oraz złączki pomiarowej ciśnienia i temperatury typu „minimes” zamieszczono na rysunku 4b.



Rys. 4. Punkty pomiarowe: a) ciśnienia  $p$ , b) ciśnienia i temperatury  $p/T$ : 1 – przetwornik ciśnienia  $p$ , 2 – złączka pomiarowa (minimes) ciśnienia, 3 – przetwornik ciśnienia i temperatury  $p/T$ , 4 – złączka pomiarowa (minimes) ciśnienia i temperatury

Na rysunku 2.5 zamieszczono typowe miejsca pomiaru ciśnienia w układach hydraulicznych: pomiar ciśnienia  $p$  w jednym miejscu (rys. 5a), pomiar różnicy ciśnień  $\Delta p = p_1 - p_2$  w dwóch miejscach

(rys. 5b), pomiar różnicy ciśnień  $\Delta p = p_{12} - p_3$  w dwóch miejscach z uśrednieniem ciśnienia  $p_{12} = (p_1 + p_2)/2$ .

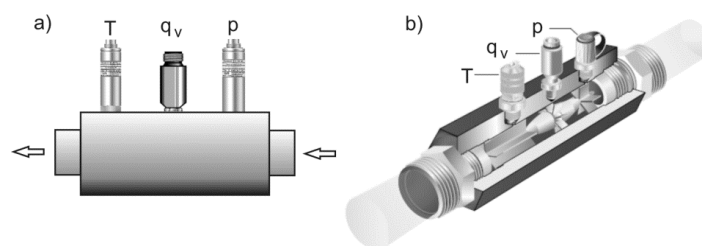


Rys. 5. Pomiar ciśnienia w jednym miejscu (a), w dwóch miejscach (b) i (c)

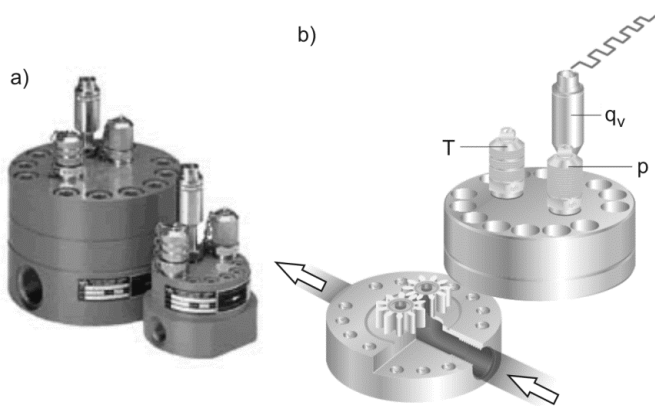
Do pomiaru objętościowego natężenia przepływu (strumienia objętości) w układach hydraulicznych stosowane są przepływomierze o różnej zasadzie działania. Rodzaje przepływomierzy stosowanych w układach hydraulicznych:

- Przepływomierze komorowe, których zasada pomiaru polega na przetłaczaniu określonej objętości płynu o niezmienniej objętości i ich zliczaniu. Do tych przepływomierzy należą: przepływomierz z tłokiem pierścieniowym, przepływomierz nieckowy, przepływomierz z tłokiem wahliwymi, przepływomierz zębaty, przepływomierz z tłokami owalnymi, przepływomierz śrubowy.
- Przepływomierze wirnikowe, których zasada pomiaru polega na zliczaniu częstotliwości obrotów lub prędkości obrotów wirnika. Do tych przepływomierzy należą: przepływomierz z tłokiem śrubowym i przepływomierz turbinowy.
- Przepływomierze pływakowe, w których wykorzystuje się zmianę strumienia przepływu w zależności od spadku ciśnienia w miejscu dławienia. Pozorny ciężar pływaka równoważony jest siłą ciężkości lub siłą sprężyny. Przepływomierz pływakowy o swobodnie wirującym pływaku nazywany jest rotometrem.
- Przepływomierze zwężkowe, określane jako dławieniowe, działają na zasadzie spadku ciśnienia. W przepływomierzach tych do pomiaru ciśnienia różnicowego (różnicy ciśnień) stosuje się kryzy lub dysze (znormalizowane lub Venturiego).

Do pomiaru objętościowego natężenia przepływu  $q_v$  ( $m^3/s$ ,  $l/min$ ) w układach hydraulicznych wykorzystuje się najczęściej przepływomierze zębate (komorowe) i turbinkowe (wirnikowe) z przetwornikami częstotliwościowymi, w których natężenie przepływu jest proporcjonalne do częstotliwości obrotu elementu roboczego przepływomierza,  $f \sim q_v$ . Sygnał częstotliwości  $f$  (Hz) jest następnie przetwarzany w przetworniku  $f/i$  na sygnał prądowy  $i$  (4-20 mA), tak więc w przyrządzie pomiarowym mierzy się pośrednio  $q_v(i)$ . Przepływomierze umożliwiają pomiar natężenia przepływu  $q_v$ , ciśnienia  $p$  i temperatury  $T$ . Na rysunku 6 zamieszczono schemat i przekrój przepływomierza turbinowego, a na rysunku 7 widok i przekrój przepływomierzy zębatych.

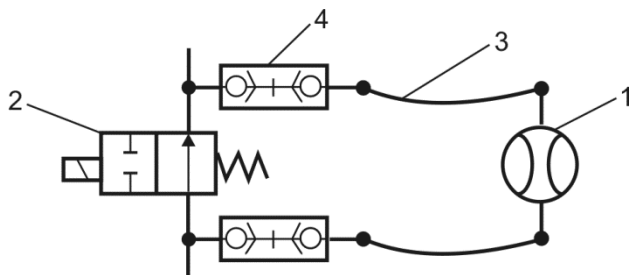


Rys. 6. Schemat (a) i przekrój (b) przepływomierza turbinowego (Hydrotechnik) [5]



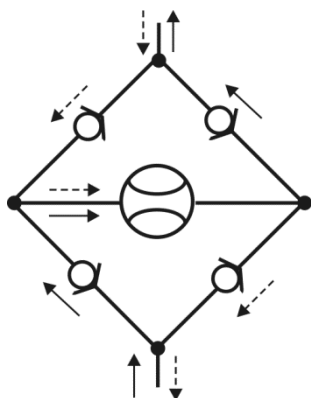
**Rys. 7.** Widok (a) i przekrój (b) przepływomierza zębatego (Hydro-technik) [5]

Przepływomierze nie są włączane bezpośrednio do przewodów zasilających układu hydraulicznego, tylko na ich odgałęzieniu, równoległe do miejsca pomiaru natężenia przepływu. Przepływomierze włącza się do układu hydraulicznego przewodami elastycznymi. Na rysunku 8 zamieszczono schemat włączenia przepływomierza do układu hydraulicznego z zaworem odcinającym 2/2 normalnie otwartym, zamykanym elektromagnetycznie.



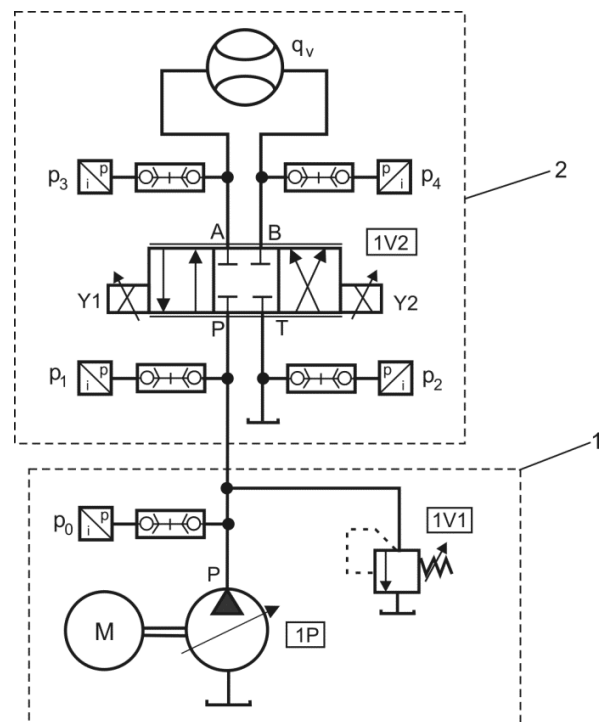
**Rys. 8.** Schemat włączenia przepływomierza do układu hydraulicznego: 1 - przepływomierz, 2 - zawór odcinający 2/2 normalnie otwarty, 3 - przewód elastyczny, 4 - szybkozłączki [3]

Ponieważ przepływomierze mają zwykle jeden kierunek przepływu, dlatego dla umożliwienia pomiaru natężenia przepływu w dwóch kierunkach włącza się przepływomierz do hydraulicznego układu Graetza. Schemat hydraulicznego układu Graetza z przepływomierzem i zaworami zwrotnym zamieszczono na rysunku 9.



**Rys. 9.** Schemat hydraulicznego układu Graetza z przepływomierzem

Schemat układu pomiarowego charakterystyk statycznych proporcjonalnego zaworu rozdzielającego zamieszczono na rysunku 10.



**Rys. 10.** Schemat układu pomiarowego charakterystyk statycznych proporcjonalnego zaworu rozdzielającego: 1 - zasilacz hydrauliczny, 2 - układ pomiarowy [3]

## WNIOSKI

Warunki eksploatacji napędów hydrostatycznych mają wpływ na ich pracę, trwałość i niezawodność działania. Wysokie wymagania dotyczące sprawności i dokładności realizowanych zadań, duży koszt maszyn i urządzeń oraz bezpieczeństwo pracy powodują, że niezbędna jest szybka i wiarygodna informacja o stanie technicznym napędów hydraulicznych. Taką informację można uzyskać podczas pomiaru diagnostycznego podstawowych parametrów hydromechanicznych (ciśnienia, natężenia przepływu i temperatury oleju), elektrycznych (częstotliwości, natężenia, napięcia i mocy prądu) oraz akustycznych (natężenia hałasu emitowanego przez elementy hydrauliczne). Celem diagnostyki jest określenie zdolności do pracy, stanu zużycia, nieprawidłowości działania, uszkodzenia lub awarii urządzenia hydraulicznego. Diagnostyka napędu hydraulicznego wymaga zwykle od kilku do kilkunastu pomiarów parametrów hydromechanicznych, elektrycznych i akustycznych, a także ciągłej obserwacji jego działania w czasie eksploatacji. Zaprezentowane w pracy elektroniczne zestawy pomiarowe i metody pomiaru można stosować w badaniach elementów i układów hydraulicznych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dindorf R. pod red. Hydraulika i Pneumatyka. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2003.
2. Dindorf R.: Napędy płynowe. Podstawy teoretyczne i metody obliczania napędów hydrostatycznych i pneumatycznych. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2009
3. Dindorf R., Woś. P.: Przetworniki i układy pomiarowe w systemach hydraulicznych i pneumatycznych. Monografia M63. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.
4. Przyrząd pomiarowy HMG-3000. Hydac.
5. Przyrząd pomiarowy Multi-Handy 2042. Hydrotechnik.

# LABORATORY STATION TO THE MEASUREMENTS OF THE PARAMETERS OF HYDRAULIC ELEMENTS AND SYSTEMS

## *Abstract*

*In the Laboratory of Hydrotronic Systems (LHS) the measurements of parameters of the hydraulic devices are carried out to determine static and dynamic characteristics for identification of parameters and efficiency as well as for diagnostic purposes. The laboratory has been equipped with the electronic measurement instruments, which enable quick, precise and simultaneous measurements of several parameters, recording their average, maximal and minimal values, displaying the difference between two parameters, storing the measurement values, determination of the measurement curves, creation of the measurement reports, data printing or transferring them for the computer processing.*

Autorzy:

**Dindorf Piotr** - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel. +48 413424481, dindorf@tu.kielce.pl

**Woś Piotr** - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel. +48 41 3424504, wod@tu.kielce.pl