



PIOTR PAWEŁKO  
BARTŁOMIEJ SZYMCZAK

**NAPĘD I STEROWANIE HYDRAULICZNE**  
**PODSTAWY**  
ĆWICZENIA LABORATORYJNE

**Sensory w układach hydraulicznych i  
elektrohydraulicznych**

Materiały przeznaczone są dla studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i  
Mechatroniki

kopiowanie, powielanie, rozpowszechnianie bez wiedzy autora zabronione

SZCZECIN 2021

## 1. Pomiary hydrauliczne

Hydraulika siłowa przetwarza energię ciśnienia cieczy hydraulicznej na energię mechaniczną. Podstawowe parametry pracy układu hydraulicznego to maksymalne ciśnienie oraz natężenie przepływu. Pomiarów tych parametrów układu dokonuje się w różnych przydatkach: awaria układu hydraulicznego, budowa układu hydraulicznego, diagnostyka oraz konserwacja. Dodatkowo podczas obsługi różnego rodzaju maszyn hydraulicznych niekiedy konieczny jest nadzór nad parametrami pracy tego układu. Pozwala to stwierdzić operatorowi czy układ pracuje w sposób prawidłowy, a często również uniknąć sytuacji niebezpiecznych np. przeciążenia układu.

### 1.1 Pomiar ciśnienia - p

Przyrządy do pomiaru ciśnienia (zwane potocznie manometrami) można podzielić na analogowe oraz cyfrowe. Kolejnym kryterium podziału tych przyrządów jest odniesienia ciśnienia wskazywanego:

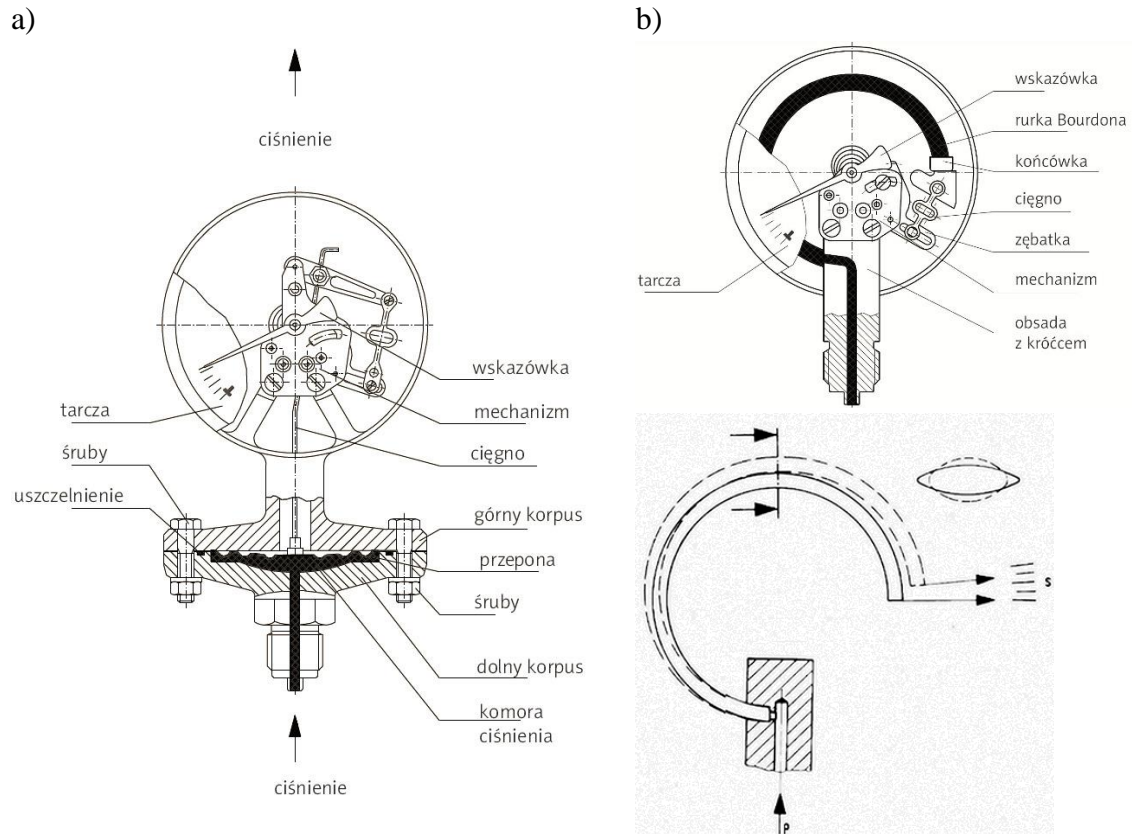
- **absolutne (bezwzględne)** – wskazania przyrządu są odniesione do ciśnienia próżni
- **różnicowe** – wskazują różnicę ciśnień
- **względne** – wskazania przyrządu są odniesione do ciśnienia atmosferycznego

**Ciśnieniomierze względne zwane MANOMETRAMI są najczęściej wykorzystywane w technice hydrauliki siłowej.**

Najczęściej czujniki ciśnienia klasyfikuje się ze względu na rodzaj mierzonego medium (może nim być gaz lub ciecz), technologię wykonania (mechaniczne, elektryczne, półprzewodnikowe), zakres ciśnienia wejściowego itp.

### Mechaniczne czujniki ciśnienia

- a) membranowe - ciśnienie działa na membranę lub mieszek i ich odkształcenie powodowało przesunięcie układu dźwigni sterującej moment obrotowy (rys 1a).
- b) z rurką Bourdona - ciśnienie jest doprowadzane do wewnętrznej przestrzeni rurki Bourdona, przez co jej przekrój staje się bardziej okrągły. Naprężenia powstałe w wyniku tego procesu powodują zwiększenie promienia kształtu „c”. W wyniku tego końcówka rurki przemieszcza się o około dwa lub trzy milimetry. Miarą ciśnienia jest odkształcenie rurki. Liniowe odkształcenie jest przenoszone przez odpowiedni mechanizm na ruch obrotowy – wskazówkę pokazującą wynik na podziałce (rys.1b).



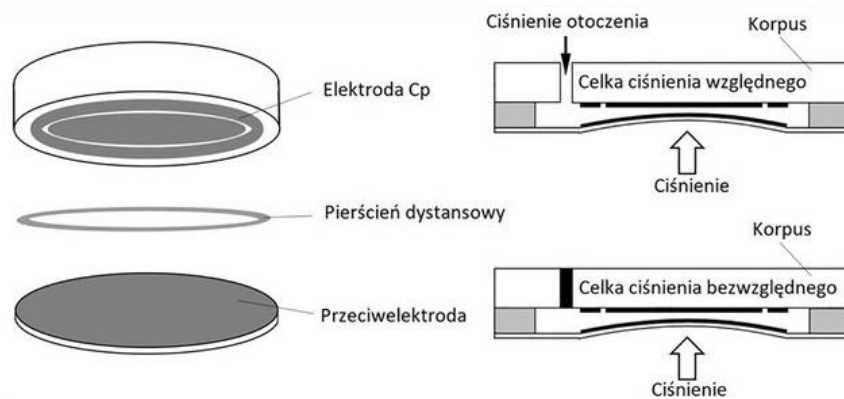
Rys. 1 Budowa manometrów mechanicznych a) membranowy, b) z rurką Burdona

### Elektroniczne czujniki ciśnienia

Współcześnie główny udział w rynku mają sensory półprzewodnikowe.

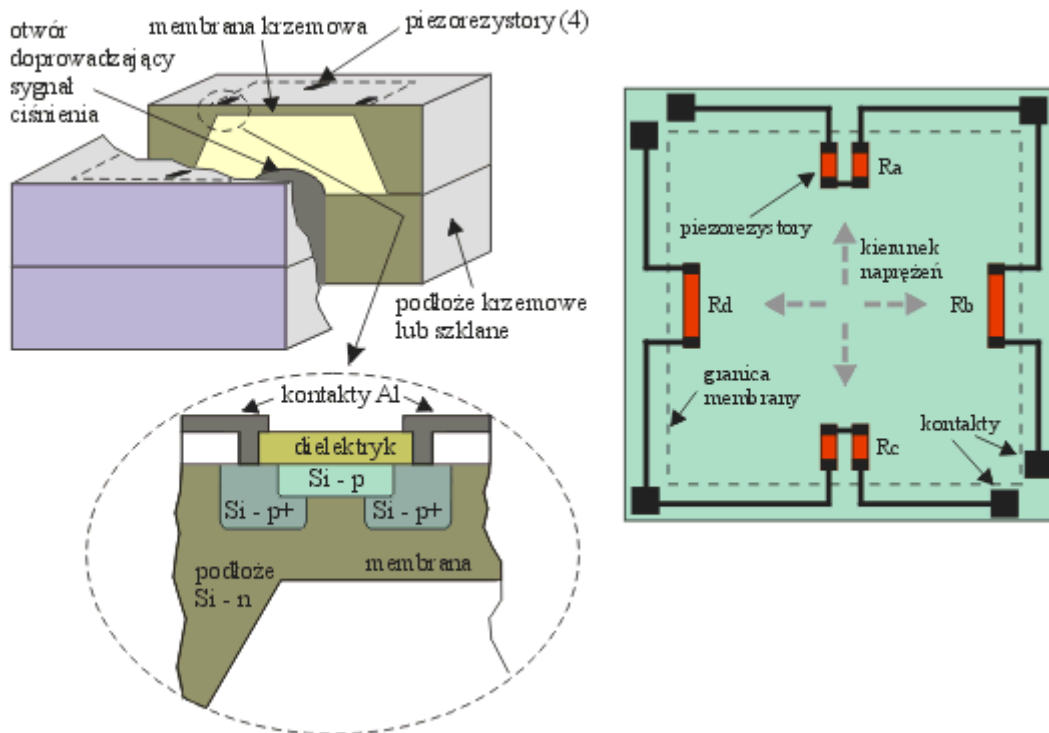
Dwa główne rodzaje omawianych przyrządów to pojemnościowe i piezorezystancyjne czujniki ciśnienia itp.

- **Czujniki pojemnościowe.** Zasadniczą częścią czujników wykorzystujących efekt pojemnościowy jest specjalnie zbudowany kondensator. Górna okładka kondensatora to nieruchoma płytką (elektroda  $C_p$ ), natomiast dolna (tzw. przeciwelektroda) to membrana pomiarowa. Pierścień dystansowy łączy membranę z korpusem podstawy i tym samym definiuje odległość okładek względem siebie w stanie bezciśnieniowym. Po podaniu ciśnienia na membranę pomiarową zmienia się odległość między płytkami, a tym samym pojemność powstałego kondensatora.





Rys. 2 Zasada działania pojemnościowego czujnika ciśnienia

- **Czujniki piezorezystancyjne** wykorzystują efekt zmiany rezystancji materiału pod wpływem działającego ciśnienia. Cechują się dużą trwałością, szerokim zakresem ciśnień i małymi rozmiarami.



Rys. 3 Przekrój i budowa piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia oraz konstrukcja membrany czujnika wraz z rozmieszczeniem piezorezystorów.

Przykłady elektronicznych czujników ciśnienia stosowanych w układach hydraulicznych

a) Wika S20	b) IFM Electronic PN7593
	
<p>Zakresy pomiarowe od 0 ... 1,600 bar Sygnały wyjściowe, np. 4 ... 20 mA, DC 0 ... 10 V, DC 1 ... 5 V i inne</p>	<p>Zakres pomiarowe 0 ... 400 bar Sygnał wyjściowy: sygnał przełączający; sygnał analogowy; IO-Link; (konfigurowalne)</p>

## 1.2 Pomiary przepływu – Q

Przyrządy do pomiaru przepływu dzieli się zasadniczo na kilka grup, wyróżniając m.in. przepływomierze zwężkowe, mechaniczne, masowe oraz przepływomierze elektromagnetyczne, ultradźwiękowe i wirowe. W ramach niektórych z tych grup wprowadza się dalszą klasyfikację. Na przykład przepływomierze zwężkowe to najczęściej **czujniki z kryzą lub zwężką Venturiego**, do grupy mechanicznych zaliczane są m.in. przepływomierze **turbinowe** i łopatkowe, a przepływomierze masowe to z kolei przede wszystkim przepływomierze termiczne i Coriolisa. Każdy z wymienionych typów przepływomierzy ma unikalne cechy, w tym wady i zalety związane z zastosowaniami w konkretnych aplikacjach.

**Zbiorniki pomiarowe.** Najprostszym pomiarem przepływu cieczy jest zastosowanie zbiornika pomiarowego o znanej objętości  $V$  (cylinder pomiarowy) który wypełnia się cieczą w określonym czasie  $t$ . Jest to jeden z najprostszych pomiarów przepływu. Parametr przepływu  $Q$  uzyskuje się z prostego wzoru:  $Q = V / t$  [l/min]. Uzyskana wartość jest wartością średnią z ustalonego czasu pomiaru.



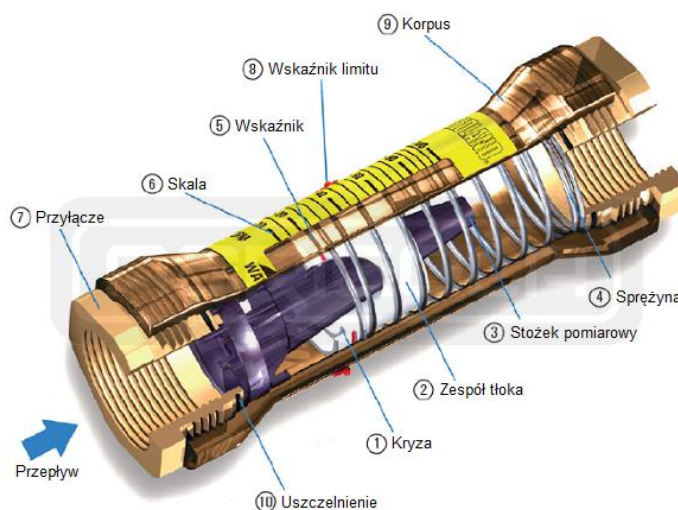
Rys. 4 Cylinder pomiarowy oraz stoper

**Urządzenia wagowe.** Znając gęstość cieczy można przeprowadzić pomiar z użyciem urządzenia wagowego. Zbiornik umieszczany jest na wadze, następuje pomiar ciężaru cieczy  $m$  [kg] w określonym czasie  $t$  [min]. Parametr przepływu  $Q$  uzyskuje się z prostego wzoru:  $Q = m / t$  [kg/min], po przeliczeniu gęstości cieczy można uzyskać przepływ objętościowy. Uzyskana wartość jest wartością średnią z ustalonego czasu pomiaru.



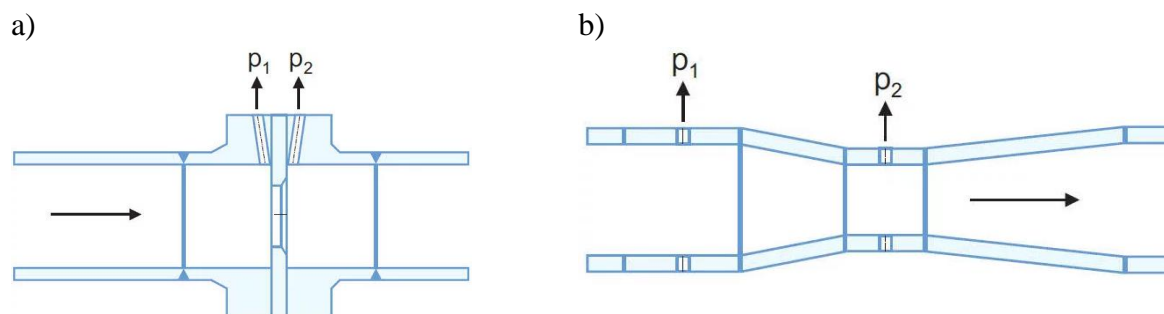
Rys. 5 Waga pomiarowa oraz stoper

**Przeływomierze tłokowe.** Precyzyjnie ukształtowana ostrokrawędziowa kryza (1) umieszczona w zespole tłoka (2), tworzy pierścieniowy otwór wraz ze stożkiem pomiarowym (3). Przepływ cieczy przez przeływomierz wytwarza różnicę ciśnień na kryzie, przesuwając tłok w kierunku przeciwnym do działania sprężyny (4). Tłok porusza się precyzyjnie i bezpośrednio proporcjonalnie do natężenia przepływu. Skalibrowana sprężyna działa przeciwstawnie do kierunku przepływu. Ta sprężyna zmniejsza czułość na lepkość i umożliwia montaż przeływomierza w dowolnej pozycji, nawet odwróconej. Przepływ jest odczytywany przez obserwowanie czerwonej linii wskaźnika przepływu (5) na tłoku w odniesieniu do skalibrowanej skali numerycznej, umieszczonej na zewnętrznej powierzchni przezroczystego korpusu przeływomierza. Mierzona wartość jest wartością chwilową przepływu.



Rys. 6 Rotametr przeływomierz tłokowy o zmiennym przekroju - budowa

**Przeływomierze zwężkowe.** W przeływomierzach zwężkowych wykorzystuje się zjawisko, w którym na skutek wbudowania na prostym odcinku wewnątrz rurociągu elementu spiętrzającego między jego stroną dopływową i odpływową powstaje różnica ciśnień proporcjonalna do natężenia przepływu.

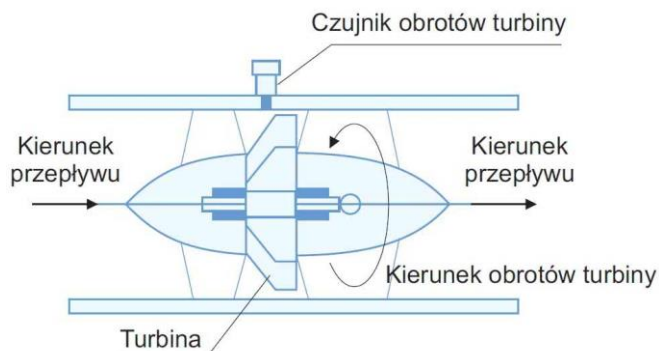


Rys. 7 Przeływomierze zwężkowe: a) z kryzą. B) zwężka Venturiego

**Przeływomierze turbinowe.** Wirnik w przeływomierzu jest poruszany (napędzany) przez przepływające medium, a prędkość jego obrotów jest proporcjonalna do natężenia przepływu. W związku z tym niezbędny jest element umożliwiający pomiar prędkości

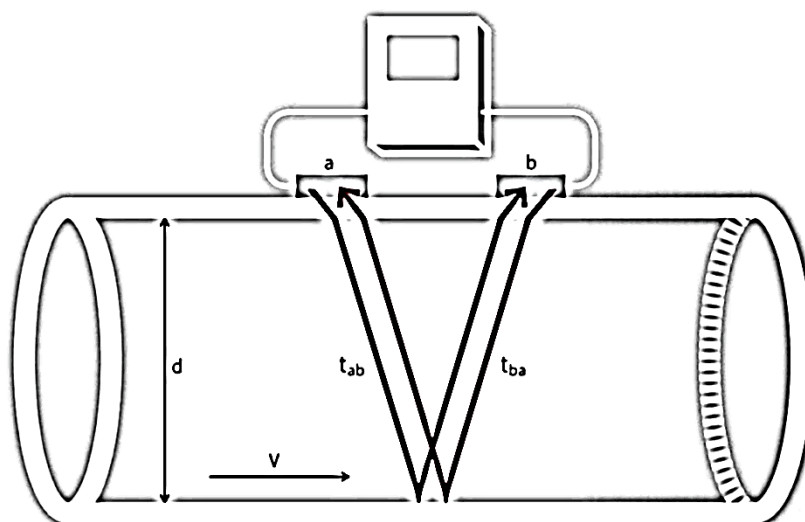


obrotowej wirnika, którym w przepływomierzach turbinowych najczęściej jest czujnik magnetyczny lub optyczny, przetwarzający obroty wirnika na sygnał elektryczny.



Rys. 8 Przepływomierz turbinowy - zasada działania

**Przepływomierze ultradźwiękowe.** Pracują w oparciu o **zasadę różnicy czasu przejścia wiązki ultradźwiękowej**. Działanie urządzenia polega na wysyłaniu i odbieraniu impulsów ultradźwiękowych przez parę sond oraz badaniu różnicy czasu przejścia sygnału. W przepływomierzu najczęściej używa sond montowanych na zewnątrz rurociągu. Sondy generują impulsy, które przechodzą przez ściankę rurociągu. Ciecz przepływająca wewnątrz rurociągu powoduje różnicę w czasie przejścia wiązki sygnału. Przepływomierz mierzy czas przejścia, a następnie oblicza dokładne natężenie przepływu. Kluczową zasadą tej metody pomiarowej jest fakt, że fale dźwiękowe, które przemieszczają się w kierunku zgodnym z ruchem cieczy, mają wyższą prędkość propagacji niż te, które przemieszczają się w kierunku przeciwnym. Różnica czasu przejścia sygnałów jest proporcjonalna do prędkości przepływu cieczy, a więc i do natężenia przepływu.





Rys. 9 Przepływomierz ultradźwiękowy - zasada działania

Sondy *a* i *b* wysyłają i odbierają impulsy ultradźwiękowe. Fale dźwiękowe *ab*, które przemieszczają się w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu cieczy, osiągają wyższą prędkość niż fale *ba*, które poruszają się w kierunku przeciwnym.

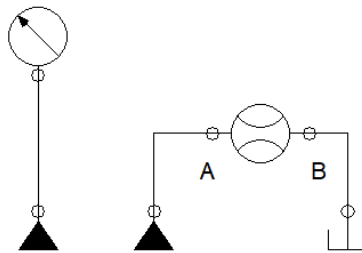
**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie**  
**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki**

Przykłady elektronicznych czujników przepływu stosowanych w układach hydraulicznych

a) Ręczny analizator hydrauliczny Flo-Tech MC 4000	b) STAUFF Flow turbine PPC-04/12-SFM-300-CAL
	
<p>W zestawie:</p> <p><b>Przepływomierz turbinowy</b>, zakres przepływu: 1,5-26 l/min</p> <p><b>Przetwornik ciśnienia</b>, zakres ciśnienia: do 400 bar</p> <p><b>Przetwornik temperatury</b>, zakres do 200 °C</p> <p>Mikrokomputer</p>	<p><b>Przepływomierz turbinowy</b>, zakres przepływu: 8-300 l/min</p> <p><b>Przetwornik ciśnienia</b>, dostępne przyłącze M16x2/Minimes, zakres ciśnienia: do 420 bar</p> <p><b>Przetwornik temperatury</b>, dostępne przyłącze M10x1</p>

**Przebieg ćwiczenia**

- a) Dokonać pomiar parametrów hydraulicznych układu zasilania stanowiska laboratoryjnego wg. schematu



Rys 10 Schemat pomiaru parametrów układu zasilania

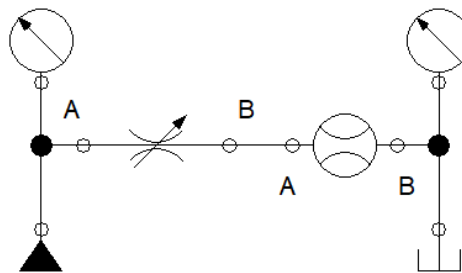
Powtórzyć pomiar natężenia przepływu stosując zbiornik pomiarowy.

Zanotować uzyskane wyniki:

$p$ [bar]	
$Q$ [ $\frac{l}{min}$ ]	



b) Pomiar parametrów dławika hydraulicznego

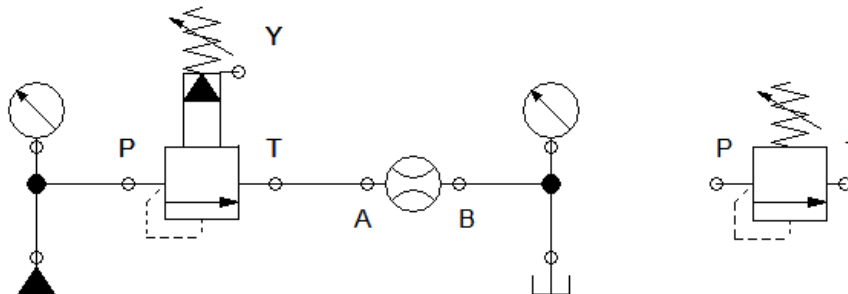


Rys 11 Pomiar parametrów hydraulicznego zaworu dławiącego.

Zanotować uzyskane wyniki:

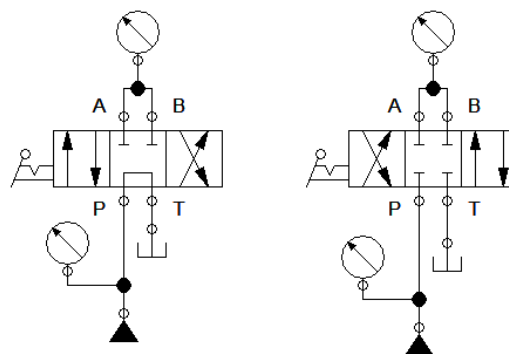
$\Delta p$ [bar]	$Q$ [ $\frac{l}{min}$ ]
60	
58	
56	
54	
52	
50	
40	
30	
20	

c) Pomiar parametrów zaworów przelewowych



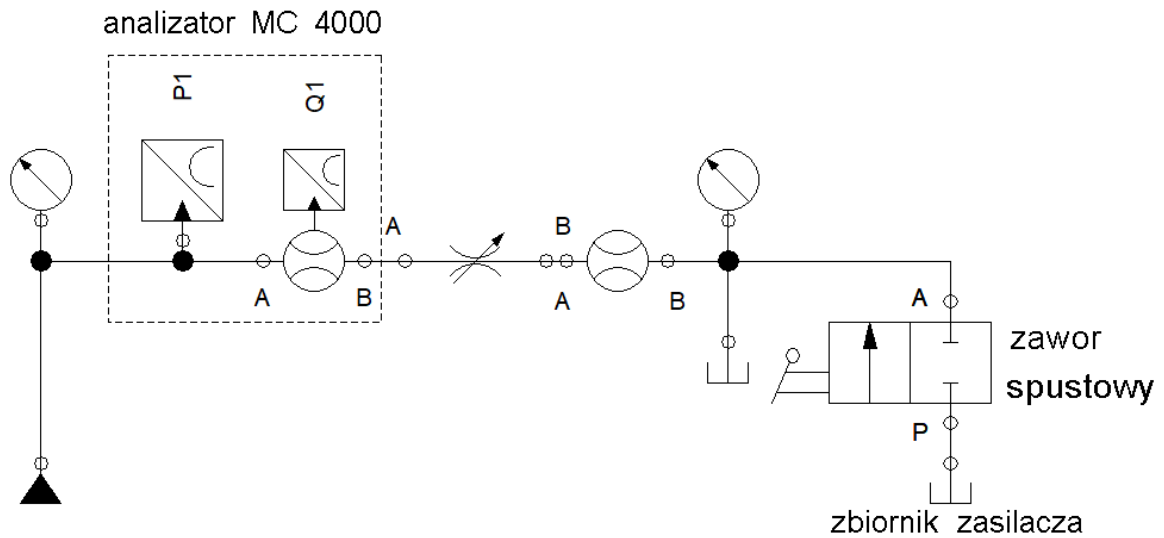
Rys 12 Pomiar parametrów hydraulicznego zaworów przelewowych.

d) Pomiar ciśnienia w liniach hydraulicznych zaworów rozdzielających



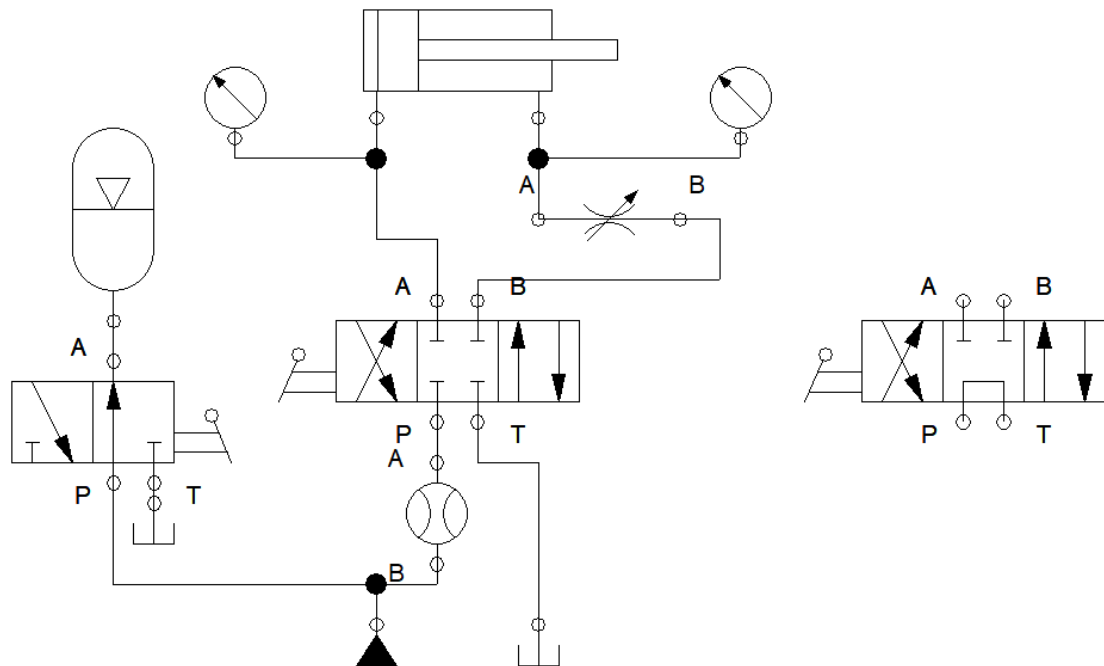
Rys 13 Schemat pomiarów ciśnienia w liniach hydraulicznych zaworów rozdzielających

- e) Pomiarów parametrów hydraulicznych z użyciem analizatora MC4000 i tradycyjnych układów pomiarowych – manometru i przepływomierza tłokowego - porównanie wskazań



Rys 14 Schemat pomiarów parametrów hydraulicznych z użyciem analizatora MC4000 (porównanie wskazań)

- f) Analiza działania układów sterowania bezpośredniego

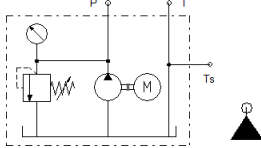


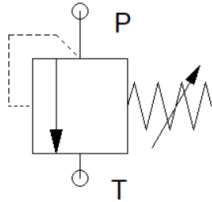

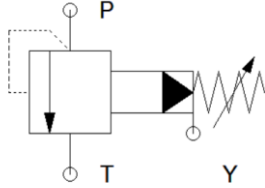

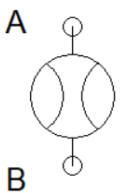

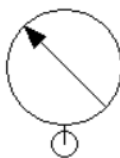



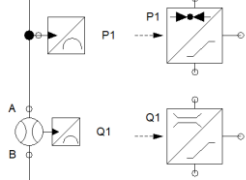

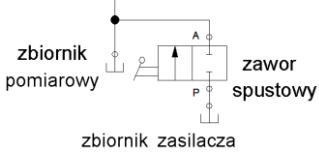

Rys. 15 Schemat pomiarów parametrów układów hydraulicznych

Pomiarów dokonać w dwóch przypadkach - przy naładowanym akumulatorze hydraulicznym i z odłączonym akumulatorem, zanotować spostrzeżenia.

**Elementy użyte w ćwiczeniu**

**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie**  
**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki**

<p>Zasilacz hydrauliczny / Źródło zasilania hydraulicznego</p>		<p>stanowisko</p>
<p>Zawór dławiący nastawny</p>		
<p>Zawór przelewowy nastawny</p>		
<p>Zawór przelewowy nastawny z pilotem</p>		
<p>Przepływomierz tłokowy</p>		
<p>Manometr / wskaźnik optyczny ciśnienia</p>		

<p>Analizator hydrauliczny Flo-Tech MC 4000</p>		
<p>Zbiornik (cylinder) pomiarowy</p>		

Literatura

Wika – <https://www.wikapolska.pl/>

IFM – <https://www.ifm.com>

Automatyka2B - <https://automatykab2b.pl/>