

Zajęcia laboratoryjne
Napęd Hydrauliczny

Instrukcja do ćwiczenia nr 9

**Sterowanie odbiornikiem hydraulicznym
z rozdzielaczem typu Load-sensing**

Opracowanie: M. Stosiak, K. Towarnicki

Wrocław 2016

Wstęp teoretyczny

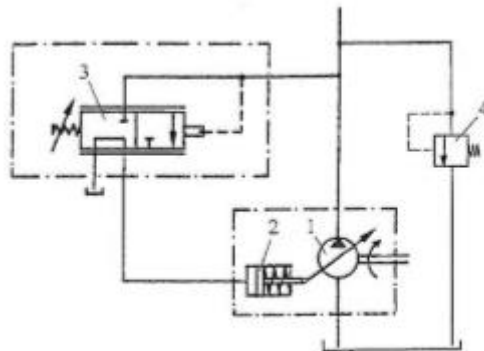
Układ Load Sensing (w skrócie LS) to układ hydrauliczny posiadający dodatkowo sprzężenie zwrotne od obciążenia oraz system samoczynnie regulujący chwilowe parametry pracy obiegu (lub obiegów) w zależności od zapotrzebowania odbiorników lub zadanych warunków pracy. Rozróżnia się wiele odmian układów LS, o budowie i właściwościach zależnych od takich czynników, jak:

- czy obieg jest otwarty, czy zamknięty,
- rodzaj konstrukcji zastosowanego rozdzielacza,
- czy pompa jest o stałej, czy zmiennej wydajności.

Napędy maszyn i urządzeń posiadających układy LS znacznie ułatwiają ich sterowanie, zwiększają ich wydajność technologiczną, przy zbliżonej do 30% oszczędności energii. Konwencjonalne układy hydrauliczne charakteryzuje moc potrzebna do napędu poszczególnych odbiorników i moc tracona z różnych przyczyn. W takim układzie wyróżnia się trzy rodzaje strat energetycznych:

- straty na skutek tzw, *interferencji obciążeń* [5] wynikających z faktu, że pompa tłoczy ciecz pod ciśnieniem p niezbędnym do pracy najbardziej w danej chwili obciążonego odbiornika. Z tego powodu na drodze między pompą a mniej obciążonymi odbiornikami występują straty ciśnienia przez dławienie, których nie można wyeliminować w układzie hydraulicznym z jedną pompą.
 - straty spowodowane nadmiarem wydajności pompy. Powstałe wskutek odprowadzenia nadmiaru cieczy tłoczonej przez pompę do zbiornika przez zawór przelewowy ZP układu dławieniowego.
 - straty spowodowane nadmiernym ciśnieniem tłoczenia pompy. Ciśnienie to wynika z nastawy zaworu przelewowego ZP, która musi być wyższa od sumy maksymalnie możliwego ciśnienia pracy odbiorników i strat ciśnienia przy przepływie z pompy do odbiornika.
- Głównym powodem budowy i wprowadzenia układów LS jest całkowita lub chociaż częściowa eliminacja wyżej wymienionych strat. Można to osiągnąć za pomocą trzech rodzajów regulatorów:

- A. Regulator I rodzaju, charakteryzujący się pracą według zasady $p = \text{const}$, powoduje eliminację straty mocy wynikającej z nadmiaru wydajności pompy. Schemat regulatora został przedstawiony poniżej na rys. 1.

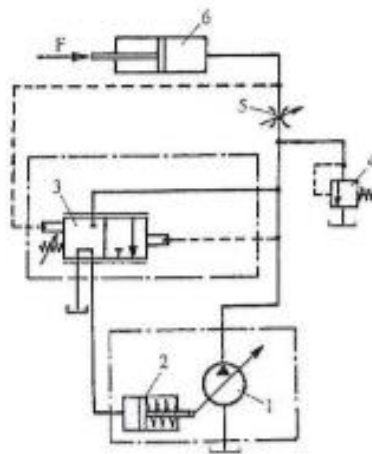


Rys. 1 Schemat regulatora I rodzaju stosowanego w układach Load Sensing. 1 - Pompa o zmiennej wydajności, 2 – siłownik, 3 - kompensator ciśnienia, 4 – Zawór przelewowy. [5]

Jego działanie polega na otwarciu przez kompensator 3 natychmiastowego połączenia między przewodem tłocznym pompy a siłownikiem 2 odpowiedzialnym za zmniejszenie

wydajności pompy do poziomu zapotrzebowania przez odbiorniki. Dzieje się to, gdy wydajność pompy jest większa od zapotrzebowania odbiorników, co powoduje wzrost ciśnienia w przewodzie tłocznym pompy ponad wartość ciśnienia p_k , na które nastawiony jest kompensator 3. Gdy zapotrzebowanie odbiorników wzrasta ponad wydajność pompy, kompensator 3 łączy siłownik 2 ze zbiornikiem pod wpływem siły sprężyny, a sprężyna w siłowniku powoduje zwiększenie wydajności pompy aż do zapewnienia wymaganego zapotrzebowania odbiorników i powrotu kompensatora do położenia neutralnego. Dzięki temu nadmiar cieczy tłoczony przez pompę nie jest odprowadzany przez zawór przelewowy do zbiornika. Na skutek tego rozwiązania zawór przelewowy 4 staje się w rzeczywistości jedynie zaworem bezpieczeństwa, gdyż przestaje pełnić swoją dotychczasową funkcję zaworu przelewowego.

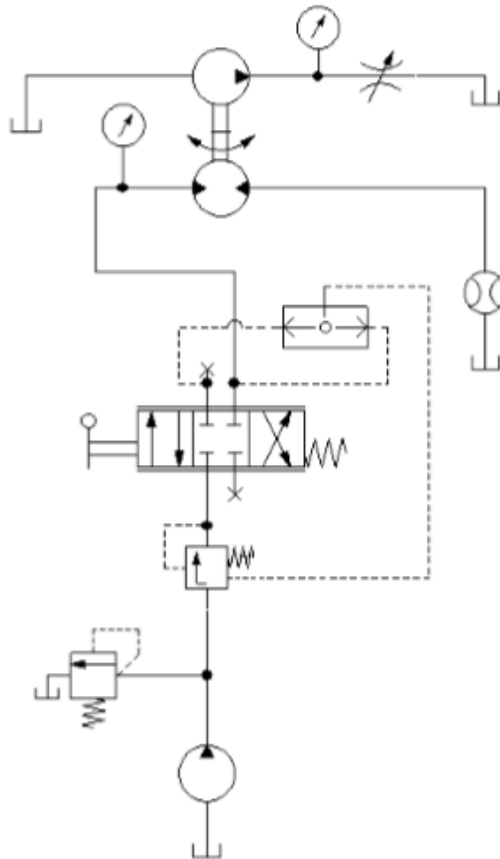
- B. Regulator II rodzaju, charakteryzujący się pracą według zasady $\Delta p = \text{const}$, powoduje eliminację straty mocy wynikającej z nadmiaru wydajności pompy oraz zmniejszenie strat spowodowanych nadmiernym ciśnieniem pompy. Schemat regulatora został przedstawiony poniżej na rys. 2.



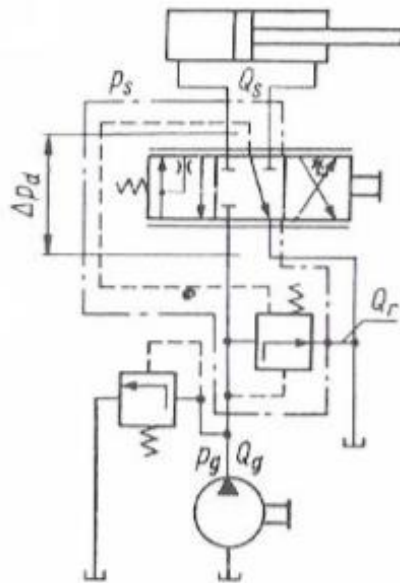
Rys. 2 Schemat regulatora II rodzaju stosowanego w układach Load Sensing. 1 – Pompa o zmiennej wydajności, 2 – Siłownik, 3 – Zawór różnicowy [5]

Jego działanie polega na oddziaływaniu zaworu różnicowego 3 za pośrednictwem siłownika 2 na wydajność pompy 1. Na zawór różnicowy 3 inaczej zwany regulatorem II rodzaju działa wypadkowa trzech sił – sprężyny, ciśnienia w przewodzie tłocznym pompy (tzn. przed dławikiem) i ciśnieniem za dławikiem. Dzięki temu utrzymywana jest stała wartość spadku ciśnienia na dławiku, wynosząca ok.5% szczytowej wartości ciśnienia w układzie. Ciśnienie w przewodzie tłocznym pompy w układzie jest zmienne, zależne od obciążenia odbiornika. W niektórych sytuacjach powoduje wzrost ciśnienia do wartości na którą jest nastawiony zawór przelewowy, co prowadzi na straty na przelew do zbiornika. Aby do tego nie doszło, należy wprowadzić dodatkowe ograniczenie w postaci regulatora I rodzaju albo zaworu odcinającego, odpowiedzialnego za ograniczenie wartości jednego z sygnałów ciśnieniowych sterujących wydajnością pompy. Dzięki temu regulator II rodzaju ustawia maksymalne ciśnienie w przewodzie tłocznym zbliżone do wartości najbardziej obciążonego odbiornika, a jednocześnie nie dopuszcza do odprowadzania nadmiaru wydajności pompy przez zawór przelewowy do zbiornika. W tym przypadku zawór przelewowy staje się również zaworem bezpieczeństwa. Podsumowując regulator II rodzaju w pełni eliminuje straty spowodowane nadmiarem wydajności pompy oraz

Zamiast zaworu dławiącego używa się również rozdzielacza, w którym istnieje możliwość przesuwania suwaka w sposób ciągły. Może to być rozdzielacz proporcjonalny lub rozdzielacz sterowany dźwignią z możliwością uzyskiwania położeń pośrednich (tzw. rozdzielacz dławiący). W układach LS można sterować zarówno kierunkiem ruchu jak i prędkością odbiornika hydraulicznego, która nie jest zależna od obciążenia ale jedynie od wychylenia dźwigni rozdzielacza. Rysunki 4 oraz 5 przedstawiają przykładowe rozwiązania układów LS. W pierwszym z nich zawór różnicowy włączono szeregowo oraz zastosowano przełącznik obiegu. W drugim natomiast zastosowano rozdzielacz o większej liczbie dróg, a zawór różnicowy włączono równolegle.

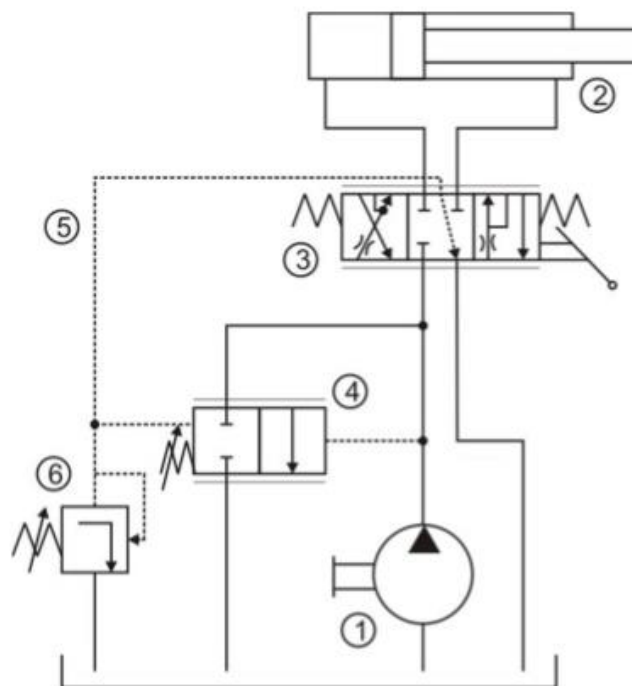


Rys. 4 Schemat układu hydraulicznego Load Sensing z wykorzystaniem zaworu różnicowego włączonego w układ szeregowo



Rys. 5 Schemat układu hydraulicznego Load Sensing z wykorzystaniem zaworu różnicowego włączonego w układ równoległy [4]

Kolejnym układem z pompą o stałej wydajności będącym układem LS jest układ z zaworem sterowanym ciśnieniem przedstawionym na rys. 6.

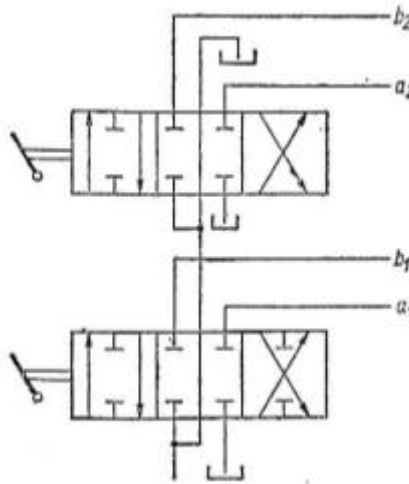


Rys. 6 Układ LS z pompą o stałej wydajności i jednym odbiornikiem. 1 – Pompa o stałej wydajności, 2 – Siłownik, 3 – Rozdzielacz, 4 – Zawór sterowany ciśnieniem (waga ciśnieniowa), 5 – Przewód LS, 6- Zawór bezpieczeństwa. [1]

Za sterowanie prędkością siłownika 2 odpowiada pięciodrogowy trójpołożeniowy rozdzielacz 3, który pełni rolę dławika pomiarowego dla wagi ciśnieniowej 4, pozwalającej na utrzymanie stałego spadku ciśnienia na rozdzielaczu. Przepływ na nastawionej szczelinie rozdzielacza powoduje spadek ciśnienia na dławiku równoważny wartości nastawionej sprężyny na wadze ciśnieniowej. Nadmiar cieczy tłoczonej przez pompę przepływa przez wagę ciśnieniową do zbiornika. Na wyjściu z pompy ciśnienie osiąga wyższą wartość od ciśnienia na wejściu do siłownika, przekazywanego przez dodatkową drogę rozdzielacza i tzw. przewód load sensing 5. Zmiana obciążenia wywołująca zmianę wartości ciśnienia nie wpływa (w warunkach ustalonych) na ustawione natężenie przepływu, czyli prędkość odbiornika zależna jest od stopnia przesterowania rozdzielacza. Położenie środkowe rozdzielacza (praca jałowa pompy) łączy przewód load sensing ze zbiornikiem oraz przewód tłoczny pompy również zostaje połączony ze zbiornikiem. Ciecz tłoczona przez pompę przekazywana jest do zbiornika przez wagę ciśnieniową pod ciśnieniem ok. 10-20 bar, powodując niewielkie straty. Wynika to z podłączenia do przewodu load sensing zaworu maksymalnego ograniczającego ciśnienia.

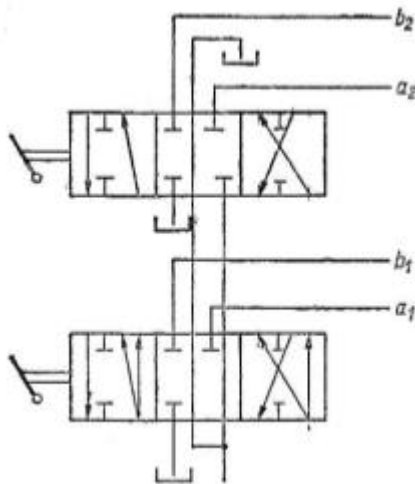
Układy Load Sensing służą do sterowania układów z jednym odbiornikiem lub wieloma odbiornikami. Do sterowania kilkoma odbiornikami używa się rozdzielaczy wielosekcyjnych, które łączy się na dwa sposoby:

- a) w układzie szeregowym – ciecz tłoczona przez pompę zasila poszczególne sekcje szeregowo. Przesunięcie pojedynczego suwaka z pozycji neutralnej powoduje odcięcie od zasilania kolejne suwaki. Sterowanie dowolną liczbą odbiorników (odbiorników tyle, ile sekcji) odbywa się przez każdorazowe włączenie tylko jednego odbiornika.



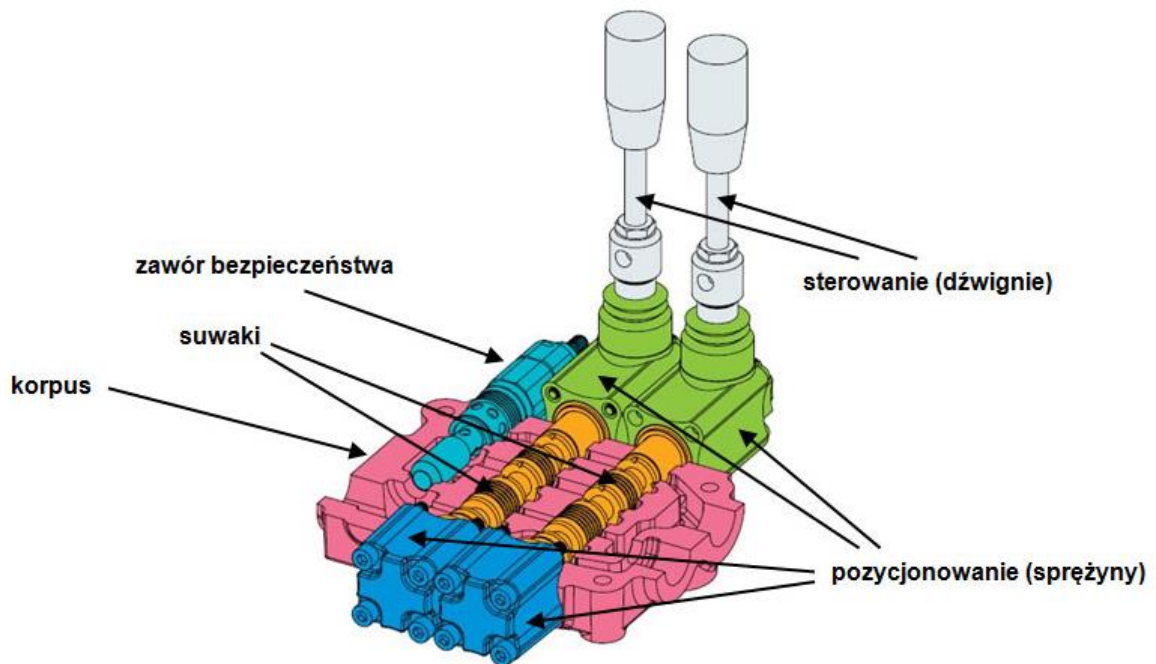
Rys. 7 Rozdzielacz wielosekcyjny w układzie szeregowym [2]

- b) w układzie równoległym – ciecz tłoczona przez pompę zasila równolegle wszystkie sekcje, umożliwia włączenie wszystkich odbiorników równocześnie. Taka możliwość występuje głównie teoretycznie, gdyż w rzeczywistości pierwszy poruszy się odbiornik najmniej obciążony (potrzebujący najmniejszego ciśnienia do pracy), a potem kolejne aż do ostatniego najbardziej obciążonego.

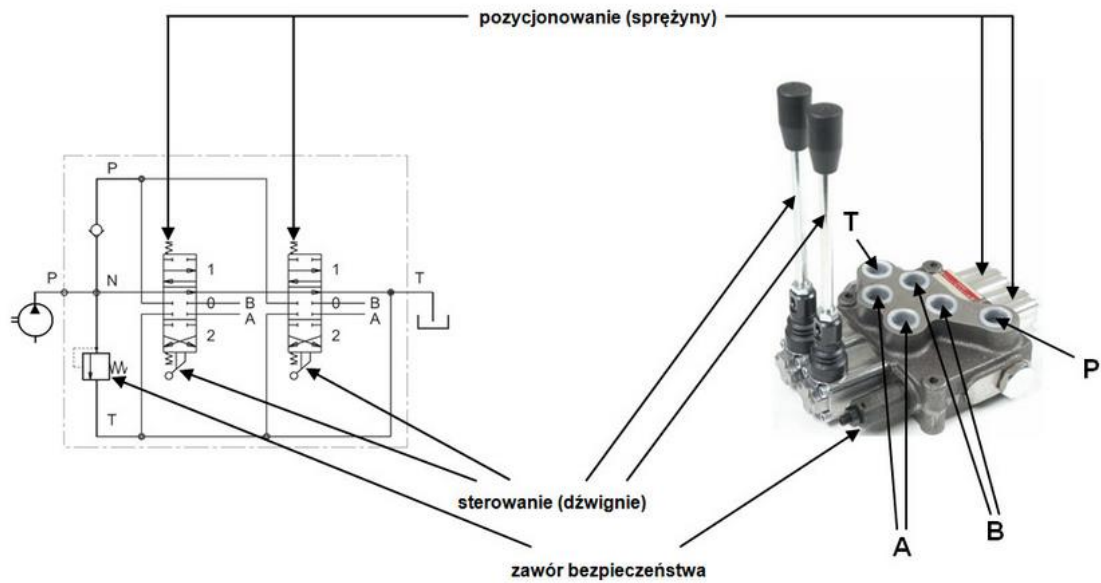


Rys. 8 Rozdzielacz wielosekcyjny w układzie równoległym [2]

Rozdzielacze wielosekcyjne stosowane są w wielu urządzeniach m.in. w koparkach, maszynach drogowych, maszynach rolniczych, dźwigach, wózkach widłowych i innych. Poniżej przedstawiono przykład rozdzielacza wielosekcyjnego.



Rys. 9 Budowa rozdzielacza dwusekcyjnego [6]



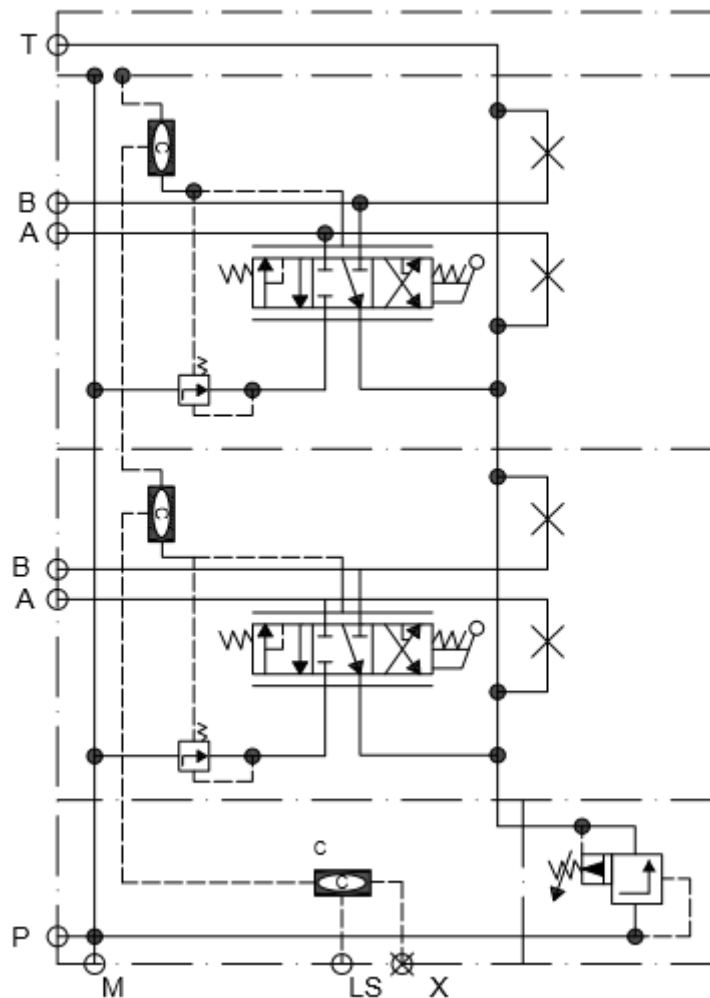
Rys. 10 Schemat hydrauliczny z odniesieniem do elementów rozdzielacza dwusekcyjnego [6]

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie zależności między obciążeniem silnika hydraulicznego, a jego prędkością obrotową dla układu „z wycuciem obciążenia” - Load Sensing.

Przebieg ćwiczenia

Poniżej przedstawiono schemat rozdzielacza REXROTH-SIBMA SP-2506-00, który będzie wykorzystywany na zajęciach. W tym rozdzielaczu zastosowano połączenie w układzie równoległym.

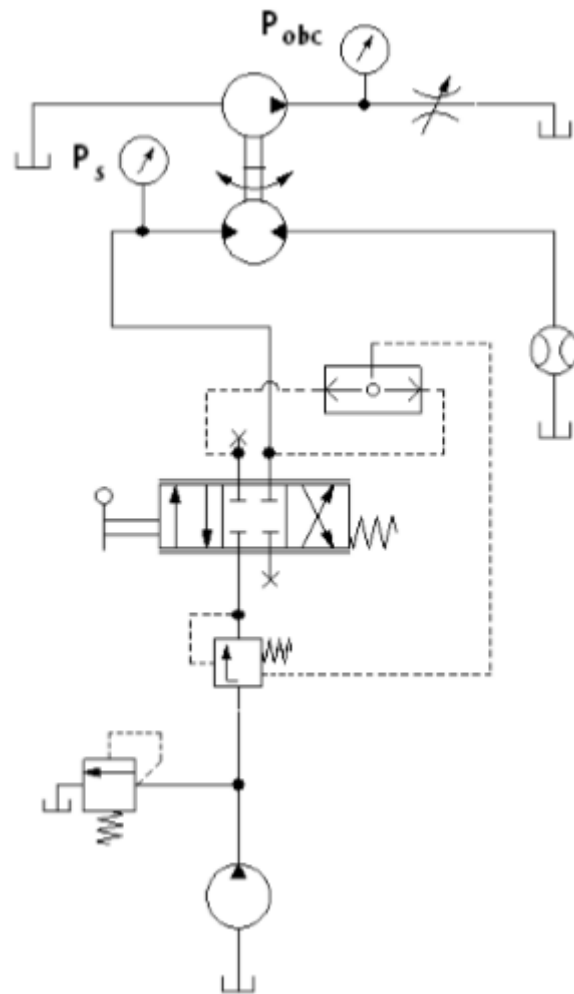


Rys. 11 Symbol graficzny rozdzielacza dwusekcyjnego do podłączenia na zajęciach

Podczas realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

a) Zmontować układ hydrauliczny przedstawiony na rysunku 12. Zaobserwować zmiany prędkości silnika w zależności od wychylenia dźwigni rozdzielacza. Wykonać następujące czynności:

1. Otworzyć zawór dławiący obciążenia oraz uruchomić pompę.
2. Ustawić wychylenie dźwigni rozdzielacza na 10° (należy zwrócić szczególną uwagę na to żeby silnik miał poprawny kierunek obrotów!!!)
3. Stopniowo zwiększać obciążenie silnika (za pomocą zaworu dławiącego w układzie obciążenia)
4. Dla każdego obciążenia silnika zmierzyć ciśnienie przed silnikiem p_s oraz ciśnienie obciążenia p_{obc}
5. Dla każdego obciążenia silnika zmierzyć natężenie przepływu cieczy płynącej przez silnik Q_s (rejestrując czas zmiany napełnienia się zbiornika o określoną wartość (na przykład 0,5 litra) oraz dzieląc zmianę objętości przez czas)
6. Punkty 3 do 5 powtórzyć dla wychylenia dźwigni rozdzielacza 12° .



Rys. 12. Schemat hydrauliczny układu LS wykorzystanego w badaniach.

Wytyczne do sprawozdania

W sprawozdaniu należy sporządzić wykres obrazujący zależności między prędkością obrotową silnika hydrostatycznego, a momentem obrotowym na wałku tego silnika dla układów Load Sensing przy różnych położeniach dźwigni rozdzielacza. Do obliczeń należy przyjąć chłonność jednostkowa silnika równą $q_s=5 \text{ cm}^3/\text{obr}$. W tabeli pomiarowej powinny znaleźć się dla każdego punktu pomiarowego następujące wielkości:

a) Ciśnienie przed silnikiem p_s [MPa]

b) Ciśnienie obciążenia p_{obc} [MPa]

c) Wzrost objętości zbiornika V [dm^3]

d) Czas po którym nastąpiła zmiana objętości t [s]

e) Natężenie przepływu cieczy płynącej przez silnik Q_s [dm^3/min] liczone ze wzoru:

$$Q_s = \frac{V}{t}$$

f) Teoretyczną prędkość obrotową silnika n_s [obr/min] liczoną ze wzoru:

$$n_s = \frac{Q_s}{q_s}$$

g) Moment na wałku silnika M_s [Nm] liczony ze wzoru

$$M_s = \frac{q_s p_s}{2\pi}$$

Sprawozdanie należy wykonać w formie elektronicznej i zakończyć je wnioskami.

Uwaga!!!

Wszystkie obliczenia powinny być wykonywane po sprowadzeniu jednostek do układu SI.

Tabela Pomiarowa

Lp.	p_s [MPa]	p_{obc} [MPa]	V [dm^3]	t [s]	Q_s [dm^3/min]	n_s [obr/min]	M_s [Nm]

Literatura:

1. Gozdalik M., *Agregat hydrauliczny z nienastawną pompą z regulowanym napędem elektrycznym*, Hydraulika i Pneumatyka, Wrocław 2009
2. Stępniewski Z. *Napęd i sterowanie hydrauliczne w pojazdach i samojezdnych maszynach roboczych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980
3. Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny, tom I elementy* Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2003
4. Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny, tom II układy* Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2003
5. Osiecki A.: *Hydrostatyczny napęd maszyn*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne WNT, Warszawa 1999.
6. <http://www.tubes-international.pl/produkty/hydraulika-silowa/rozdzielacze-hydrauliczne/>