

Zajęcia laboratoryjne
Napęd Hydrauliczny

Instrukcja do ćwiczenia nr 3

**Metody ograniczenia strat mocy w układach
hydraulicznych**

Opracowanie: Z. Kudźma, P. Osiński, U. Radziwanowska, J. Rutański, M. Stosiak

Wrocław 2016

Spis treści

Wstęp teoretyczny	3
Straty w układach hydraulicznych	3
Metody ograniczenia strat mocy	4
Zawór przelewowy z odciążeniem (ZPE)	5
Cel ćwiczenia	6
Schematy układów hydraulicznych.....	7
Wytyczne do sprawozdania.....	10
Literatura	10

Wstęp teoretyczny

Straty w układach hydraulicznych

W układach hydraulicznych występują następujące rodzaje strat:

- straty objętościowe
- straty hydrauliczne:
 - liniowe,
 - miejscowe.

Straty objętościowe to straty natężenia przepływu związane z nieszczelnościami, czyli przepływem przez szczeliny. Wielkość straty objętościowej jest zależna od rodzaju szczeliny i jej położenia w elemencie hydraulicznym. Szczelinowe straty objętościowe wyznacza się wychodząc z podstawowego równania przepływu Naviera-Stokesa oraz z równania ciągłości strugi. Strata objętościowa węzła konstrukcyjnego w elemencie hydraulicznym jest określona zależnie od rodzaju szczeliny według ogólnego związku:

$$\Delta Q = \frac{\Delta p}{\mu} X \quad (1)$$

gdzie: Δp – spadek ciśnienia na szczelinie, μ - współczynnik lepkości dynamicznej, X - współczynnik proporcjonalności związany z geometrią szczeliny, np. dla szczeliny płaskiej o nieruchomych ściankach $X = b^3 w / (12l)$, gdzie b – odległość między ściankami szczeliny, l – długość szczeliny, w – szerokość szczeliny.

Całkowitą stratę objętościową w elemencie hydraulicznym można wyznaczyć jako sumę strat natężeń wypływu cieczy przez wszystkie szczeliny (węzły konstrukcyjne). Natomiast straty objętościowe w układzie hydraulicznym wyznacza się jako sumę strat objętościowych na generatorze (pompie), układzie elementów hydraulicznych i odbiorniku (silniku, siłowniku hydraulicznym).

Straty hydrauliczne to straty energii objawiające się spadkiem ciśnienia. Straty przepływu dzieli się na straty liniowe, obejmujące energię rozproszoną podczas przepływu przez prostoliniowe odcinki przewodów oraz straty miejscowe, obejmujące energię rozproszoną w miejscach lokalnych zaburzeń przepływu (zwanymi oporami miejscowymi) takich jak elementy oporowe (dysze, zwężki, zawory itp.) lub elementy złączne (kolanka, trójniki, złączki itp.).

Straty liniowe zależą od rodzaju przepływu. Dla przepływów laminarnych ($Re < 2300$) warstwy cieczy mają różne prędkości bezwzględne, czyli przesuwają się względem siebie, co wymaga pokonania oporu wewnętrznego zgodnie z prawem tarcia lepkiego Newtona. Pokonanie oporów wewnętrznych w cieczy podczas jej przepływu przez przewód o określonych wymiarach dokonuje się kosztem zasobu energii transportowanej przez ciecz. Przepływ cieczy lepkiej przez przewód związany jest z rozproszeniem części energii zamienianej wskutek tarcia na ciepło. Można ją wyrazić spadkiem ciśnienia, a więc zmniejszeniem energii potencjalnej zmagazynowanej w jednostce objętości cieczy.

W przepływie turbulentnym ($Re > 2300$) różnice prędkości sąsiednich warstw cieczy są bardzo niewielkie. Z tego względu wpływ tarcia spowodowanego lepkością cieczy na stratę ciśnienia jest mniejszy, natomiast rośnie wpływ prędkości, gdyż straty w ruchu turbulentnym związane są głównie ze stratami energii kinetycznej cząstek cieczy wymienianych pomiędzy warstwami o różnych prędkościach. Przy jeszcze większych liczbach Re , a więc przy przepływie

intensywnie turbulentnym wpływ lepkości na straty ciśnienia znika zupełnie, natomiast prędkość cieczy posiada znaczenie decydujące. Straty liniowe można wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta p = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

gdzie: λ - współczynnik oporów przepływu, ρ - gęstość cieczy, d - średnica przewodu, l - długość przewodu, v - średnia prędkość przepływu w przewodzie.

Straty miejscowe są spowodowane przeszkodami miejscowymi i są nazywane także stratami na oparach miejscowych. Do przeszkód miejscowych należą: nagłe zmiany przekroju przewodu, zmiany kierunku ułożenia przewodów za pomocą łuków, kolanek i typowych złączy katowych lub rozgałęźnych oraz elementy sterujące kierunkiem i natężeniem przepływu oraz ciśnieniem w postaci rozdzielaczy i zaworów różnych typów. Spadek ciśnienia na przeszkodzie miejscowej zależy głównie od rodzaju, kształtu i wymiarów geometrycznych przeszkody oraz od parametrów określających przepływ czynnika, a także od stopnia jego wzburzenia na wejściu do przeszkody. Stratę miejscową oblicza się z zależności:

$$\Delta p = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

gdzie: ξ - współczynnik oporu miejscowego, którego wartość zależy od rodzaju przeszkody, ρ - gęstość cieczy, v - średnia prędkość przepływu za przeszkodą.

Metody ograniczenia strat mocy

Straty mocy w układach hydraulicznych wynikają z powyżej opisanych strat objętościowych i hydraulicznych.

Przeanalizujemy straty mocy występujące w układzie 1. W skrajnych położeniach rozdzielacza, straty mocy w układzie wynikają z oporów miejscowych, liniowych oraz strat objętościowych na elementach. Straty mocy można wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta N = \frac{\Delta p \cdot \Delta Q}{60} [kW] \quad (4)$$

gdzie: Δp - straty hydrauliczne [MPa], ΔQ - straty objętościowe [dm³/min].

Straty mocy będą największe w położeniu zerowym rozdzielacza, ze względu na brak możliwości odciążenia pompy podczas przestoju odbiornika (układ 1). W takiej sytuacji pompa generuje ciśnienie wynikające z nastawy zaworu maksymalnego, a cała moc hydrauliczna jest tracona na przepompowanie cieczy z powrotem do zbiornika. Strata mocy w tym przypadku wynosi:

$$\Delta N = \frac{p \cdot Q}{60} [kW] \quad (5)$$

gdzie: p - ciśnienie w układzie za pompą [MPa], Q - natężenie przepływu w linii spływowej [dm³/min].

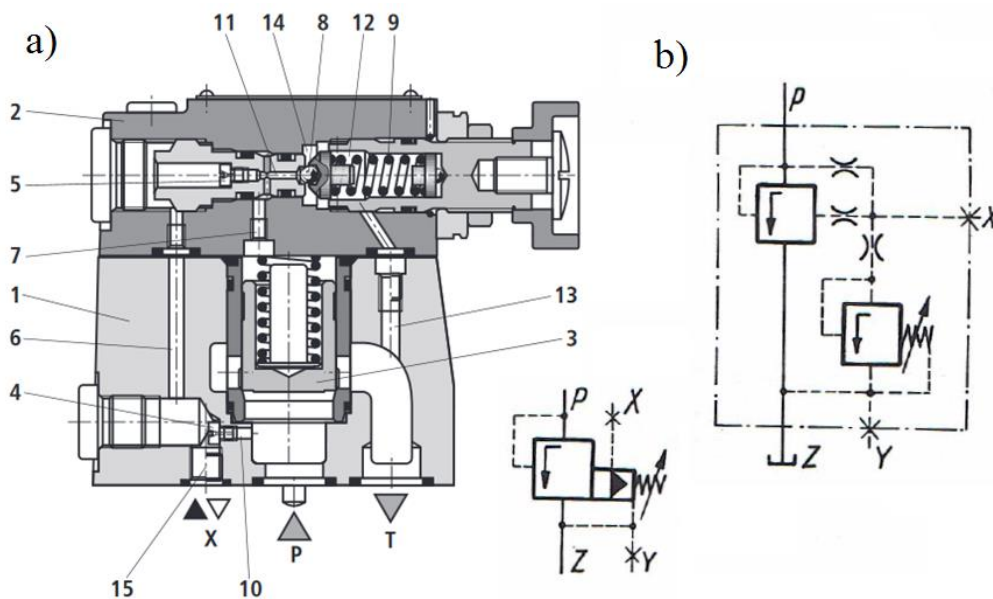
Istnieje kilka sposobów odciążenia pompy podczas przestoju odbiornika, a co za tym idzie ograniczenia strat mocy w układzie hydraulicznym, m.in.:

- 1 - włączenie równolegle do pompy dodatkowego rozdzielacza 2/2, który podczas przesterowania umożliwia powrót cieczy do zbiornika (układ 2),
- 2 - zastosowanie rozdzielacza ze zwartymi drogami P i T w położeniu naturalnym, czyli z tzw. położeniem krótkiego obiegu (układ 3); ten sposób nie zawsze może być stosowany z uwagi na strukturę układu hydraulicznego,
- 3 - zastosowanie zaworu przelewowego z odciążeniem – ZPE (układ 4); w praktyce z tych trzech wymienionych sposobów, ten jest najbardziej powszechny.

Zawór przelewowy z odciążeniem (ZPE)

Zawór przelewowy z odciążeniem lub zawór przelewowy elektromagnetyczny ZPE składa się z zaworu maksymalnego pośredniego działania oraz rozdzielacza czterodrogowego, dwupołożeniowego, sterowanego elektromagnetycznie.

W celu zrozumienia zasady działania zaworu ZPE, przeanalizujemy najpierw działanie zaworu maksymalnego pośredniego działania (zaworu dwustopniowego). Na rys. 1 przedstawiono konstrukcję zaworu (a) oraz symbol uproszczony i szczegółowy (b). Zawór maksymalny pośredniego działania składa się z zaworu głównego (1) z tłoczkiem głównym (3) i zaworu sterującego (2) z elementem regulacji ciśnienia (grzybek lub kulka obciążona sprężyną).

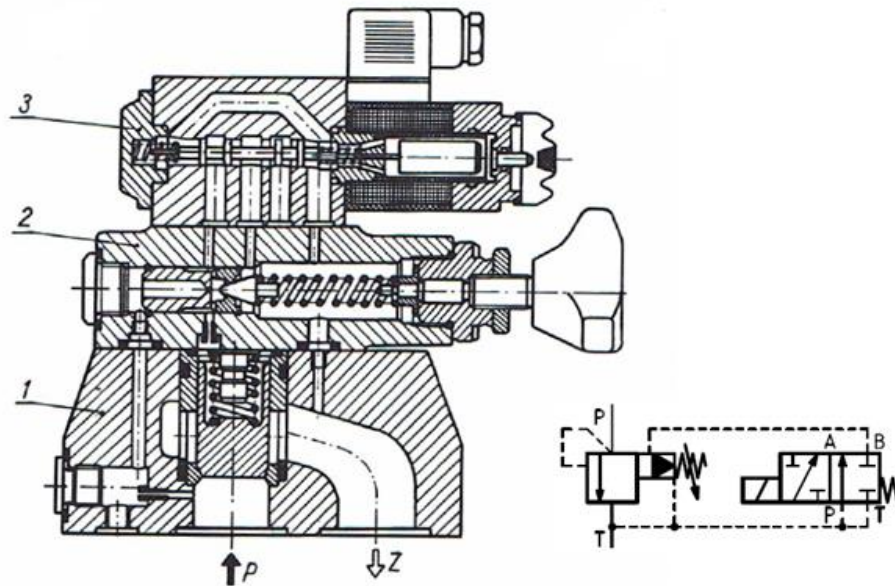


Rys. 1. Zawór maksymalny pośredniego działania (Ponar Wadowice): a) konstrukcja, b) symbol szczegółowy [1]

Ciśnienie w kanale P działa na tłoczek główny (3). W tym samym czasie, ciśnienie jest doprowadzone przez kanały sterujące (6) i (7) poprzez dysze (4) i (5) nad tłoczek główny po stronie sprężyny (3) oraz pod kulkę (8) zaworu sterującego. W momencie, gdy ciśnienie w kanale P wzrośnie powyżej wartości wynikającej z nastawy zaworu sterującego, kulka przesunie się w kierunku przeciwnym do działania sprężyny umożliwiając odprowadzenie strumienia przepływu wewnętrznie przez kanał (13) do zbiornika lub w przypadku innej konstrukcji zaworu, zewnętrznie przez dodatkowy kanał Y. Dysze (4) i (5) generują różnicę

ciśnien działających na tłoczek główny (3), w wyniku której tłoczek przesuwają się w górę otwierając drogę przepływu między kanałem P i kanałem spływowym T. Zawór maksymalny może być również przymusowo otwierany sygnałem X (15), doprowadzonym z zewnątrz.

Zasada działania zaworu ZPE jest podobna do działania zaworu maksymalnego pośredniego, z tą różnicą, że odciążenie głównego tłoczka jest uzyskiwane przez przesterowanie wbudowanego rozdzielacza 4/2. Konstrukcję ZPE wraz z symbolem uproszczonym przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Zawór przelewowy z odciążeniem: konstrukcja i symbol hydrauliczny [1]

Włączając elektromagnes rozdzielacza uzupełniającego konstrukcję zaworu dwustopniowego, dokonuje się zwarcia ze zlewem komory pod grzybką (kulka) zaworu pierwszego stopnia, a więc przymusowego otwarcia zaworu drugiego stopnia. Kanały P i Z doznają bezpośredniego połączenia przy niewielkiej różnicy ciśnień, wynoszącej ok. 0,3MPa. Taki układ stwarza możliwość rozruchu pompy bez obciążenia ciśnieniem lub prawie całkowitego jej odciążenia podczas dłuższych przestojów odbiornika. W zależności od montażu rozdzielacza, zawór ZPE mogą być normalnie obciążony lub normalnie odciążony.

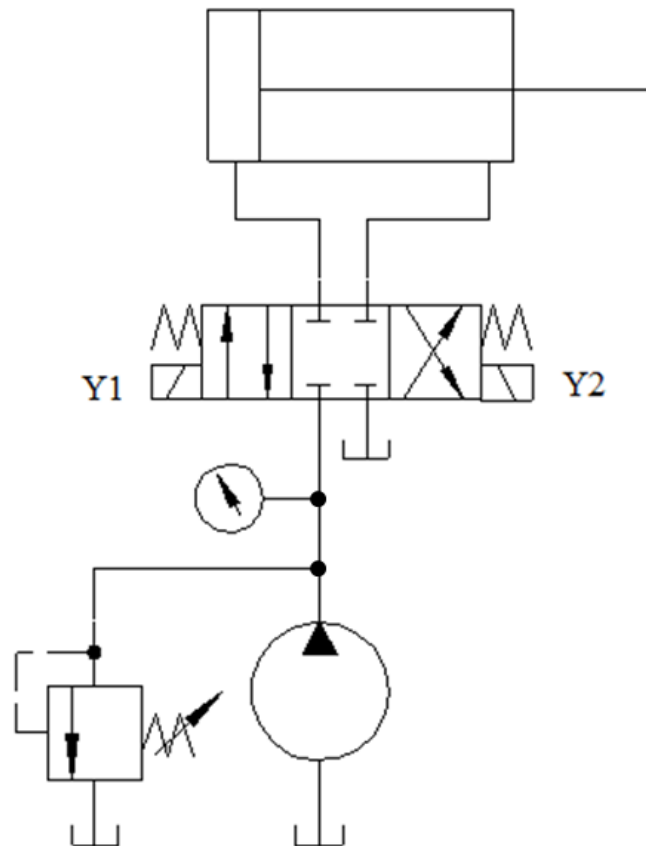
Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobami odciążania pompy wodorowej podczas przestoju odbiornika hydraulicznego oraz wyznaczenie strat mocy w montowanych układach.

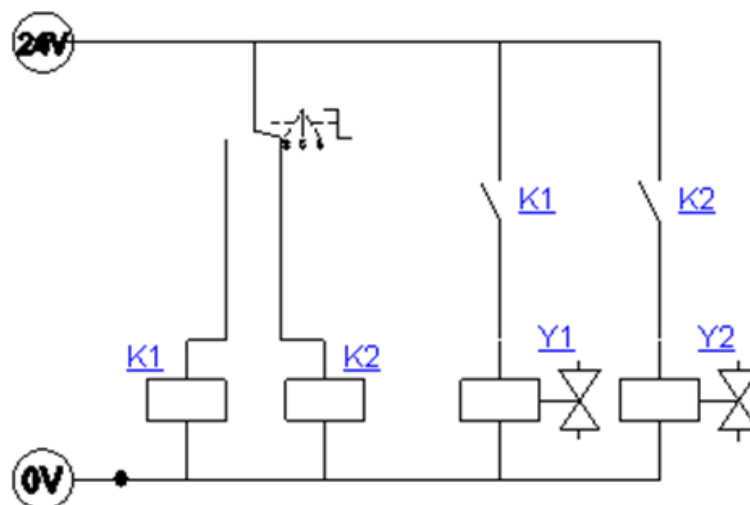
Schematy układów hydraulicznych

Uwaga: W każdym z montowanych układów należy podłączyć odpowiednią linię zlewową do menzurki w celu możliwości pomiaru natężenia przepływu.

Układ 1

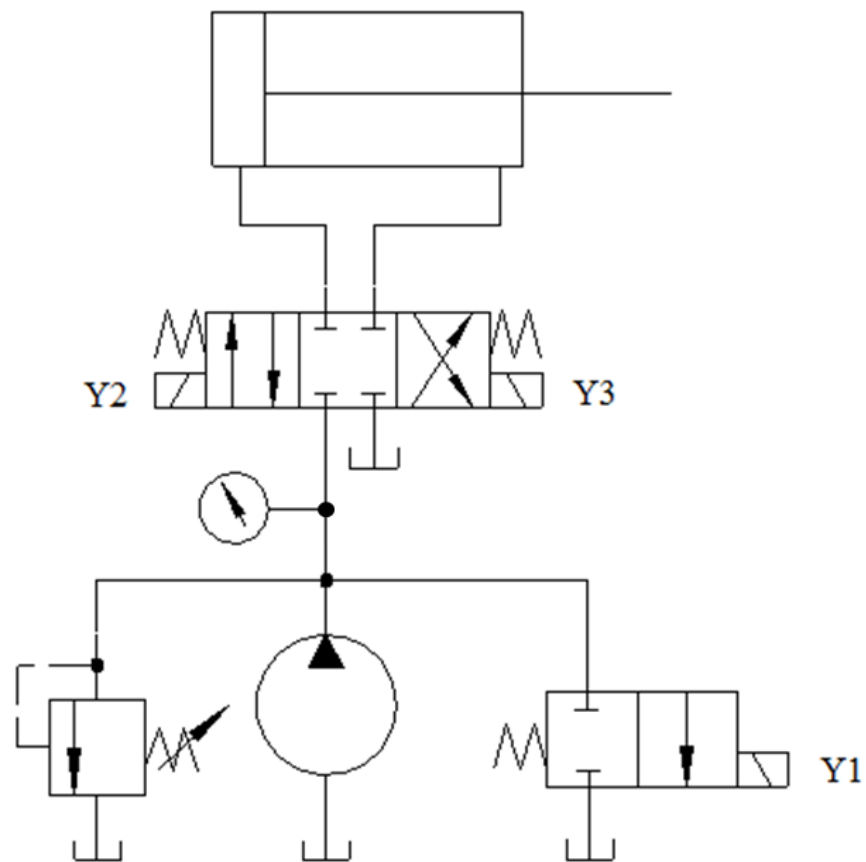


Rys. 3. Schemat hydrauliczny układu 1

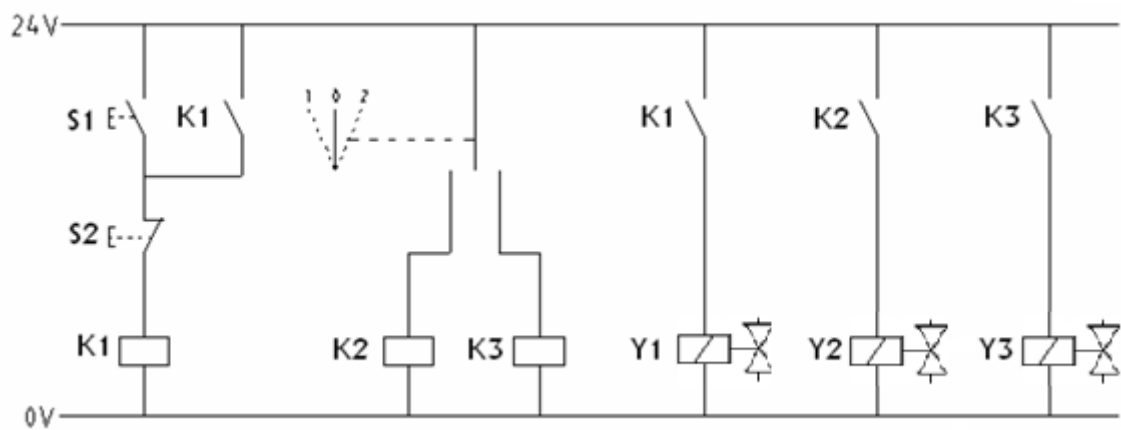


Rys. 4. Schemat elektryczny układu 1

Układ 2

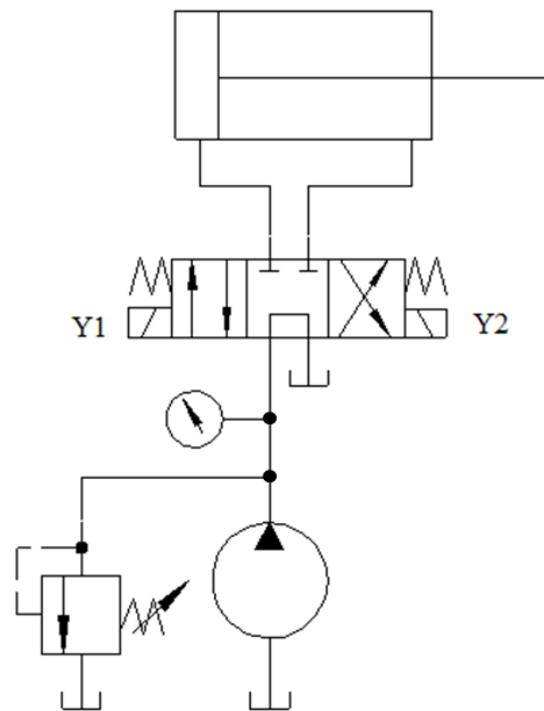


Rys. 5. Schemat hydrauliczny układu 2



Rys. 6. Schemat elektryczny układu 2

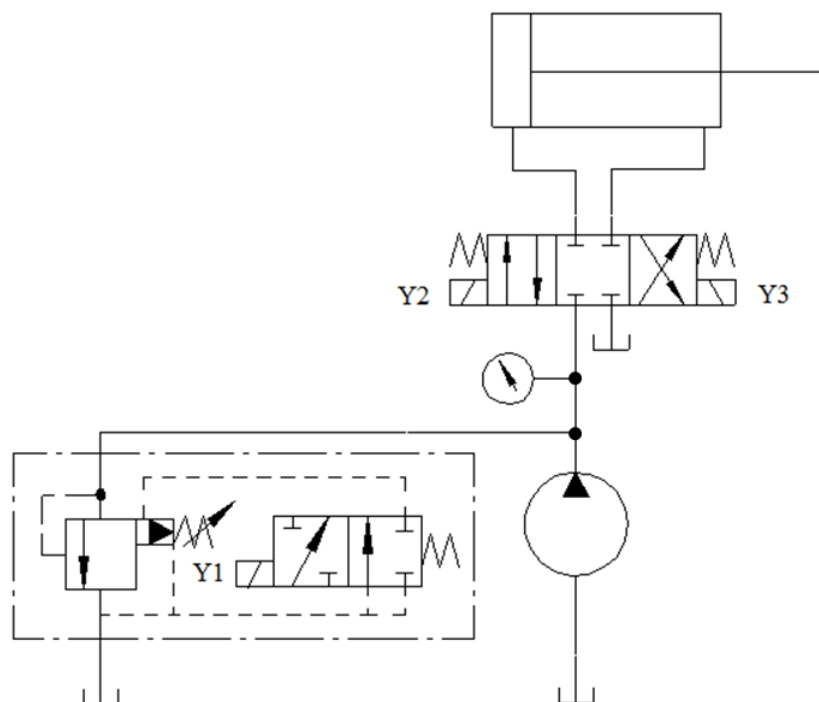
Układ 3



Rys. 7. Schemat hydrauliczny układu 3

Schemat elektryczny jak dla układu 1.

Układ 4



Rys. 8. Schemat hydrauliczny układu 4

Schemat elektryczny jak dla układu 2.

Wytyczne do sprawozdania

W sprawozdaniu należy opisać działanie każdego z układów oraz dokonać porównania układów biorąc pod uwagę:

- stopień skomplikowania układu,
- obsługę układu (sposób sterowania),
- niezawodność układu,
- energooszczędność układu na podstawie obliczonych strat mocy.

Podczas zajęć należy uzupełnić dwie pierwsze kolumny tabeli pomiarowej mierząc czas napełnienia się określonej objętości menzurki (np. 1l) w neutralnym położeniu rozdzielacza oraz zanotować wartości ciśnienia w układach.

Na podstawie zmierzonych wartości, należy wyznaczyć natężenie przepływu cieczy korzystając z zależności:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (6)$$

oraz wyznaczyć stratę mocy w każdym z układów podczas przestoju odbiornika hydraulicznego, korzystając ze wzoru:

$$\Delta N = \frac{Q \cdot p}{60} \quad (7)$$

Sprawozdanie należy zakończyć wnioskami.

Tabela pomiarowa

Lp.	V [dm ³]	t [s]	Q [dm ³ /min]	p [MPa]	ΔN [kW]
1					
2					
3					
4					

Literatura

S. Stryczek – Napęd hydrostatyczny, tom I – Elementy, WNT, Warszawa, 2005.