

SPIS TREŚCI

Spis oznaczeń.....	7
1. PODSTAWOWE ELEMENTY UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH (<i>Paweł Ciężkowski, Sebastian Bąk</i>).....	9
1.1. Wstęp.....	9
1.2. Budowa i działanie podstawowych elementów hydraulicznych.....	9
1.3. Stanowisko badawcze	13
1.4. Metoda i przebieg pomiarów.....	16
1.5. Zadanie laboratoryjne.....	17
Literatura.....	18
2. STEROWANIE W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH Z ZASTOSOWANIEM TECHNIKI PROPORCJONALNEJ (<i>Dariusz Dąbrowski</i>).....	20
2.1. Wstęp.....	20
2.2. Zasada działania elementów pracujących w technice proporcjonalnej.....	21
2.2.1. Rozdzielacz proporcjonalny 4WRE	21
2.2.2. Rozdzielacz proporcjonalny PVG32	22
2.2.3. Pompa A10VO.....	23
2.3. Opis stanowiska laboratoryjnego	24
2.4. Przebieg ćwiczenia	28
2.5. Opracowanie wyników.....	29
Literatura.....	30
3. DOKŁADNOŚĆ POZYCJONOWANIA TŁOCZYSKA CYLINDRA HYDRAULICZNEGO POD OBCIĄŻENIEM (<i>Jarosław Kuśmierczyk</i>).....	32
3.1. Wstęp.....	32
3.2. Budowa i zasada działania elektrohydraulicznego serwomechanizmu położenia	33
3.3. Stanowisko badawcze	34
3.4. Układ sterowania.....	35
3.5. Układ hydrauliczny stanowiska i rozdzielacz proporcjonalny.....	36
3.6. Wykonanie ćwiczenia.....	39
Literatura.....	41
4. PODSTAWOWE ELEMENTY UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH (<i>Paweł Gomoliński</i>)... 42	42
4.1. Cel ćwiczenia	42
4.2. Podstawowe pojęcia	42

4.3. Podstawowe informacje o budowie układów pneumatycznych.....	43
4.3.1. Uzdatnianie czynnika roboczego.....	43
4.3.2. Podstawowe elementy wykonawcze	44
4.3.3. Podstawowe elementy sterujące	45
4.3.4. Sterowanie bezpośrednie i pośrednie	49
4.4. Symbole elementów pneumatycznych.....	50
4.5. Opis stanowiska laboratoryjnego	52
4.5.1. Sposób mocowania urządzeń i przewodów pneumatycznych.....	53
4.6. Przykładowy układ pneumatyczny.....	54
4.7. Wykonanie ćwiczenia.....	57
4.8. Przykładowe rodzaje zadań wykonywanych w ramach ćwiczenia laboratoryjnego.....	58
4.9. Zasady bezpieczeństwa	58
Literatura.....	59
5. CHARAKTERYSTYKA POMPY WYPOROWEJ (<i>Michał Makowski</i>)	60
5.1. Wstęp.....	60
5.2. Podstawowe pojęcia i zależności	60
5.3. Obiekt badań	62
5.4. Stanowisko badawcze	62
5.5. Przeprowadzenie pomiarów	63
5.6. Pulpit sterowniczy	64
5.7. Opracowanie wyników.....	65
Literatura.....	65
6. CHARAKTERYSTYKA BEZWYMIAROWA PRZEKŁADNI HYDROKINETYCZNEJ (<i>Michał Makowski</i>)	66
6.1. Wstęp.....	66
6.2. Podstawowe zależności i budowa przekładni hydrokinetycznej.....	66
6.3. Obiekt badań	71
6.4. Stanowisko badawcze	72
6.5. Przebieg pomiarów.....	74
6.6. Opracowanie wyników pomiarów	75
6.7. Zagadnienia dotyczące tematu ćwiczenia	76
Literatura.....	76
7. CHARAKTERYSTYKA PRZEKŁADNI HYDROSTATYCZNEJ (<i>Lech Knap</i>)	77
7.1. Wstęp.....	77
7.2. Budowa i działanie przekładni hydrostatycznej, podstawowe pojęcia i zależności	77
7.3. Obiekt badań	80
7.4. Stanowisko badawcze	81
7.5. Metoda pomiarów	84
7.6. Opracowanie wyników pomiarów	85
7.7. Zagadnienia dotyczące tematu ćwiczenia	85
Literatura.....	86

SPIS OZNACZEŃ

- D – średnica czynna przekładni [m]
 f_M – współczynnik momentu [$\text{kg}/(\text{rad}^2 \cdot \text{m}^3)$]
 i_k – przełożenie kinematyczne [–]
 i_{ks} – przełożenie kinematyczne w punkcie sprzęgnięcia [–]
 i_d – przełożenie dynamiczne [–]
 M_t – moment teoretyczny [Nm]
 M_p – moment na wale pompy [Nm]
 M_1 – moment wejściowy (wirnika pompy) [Nm]
 M_2 – moment wyjściowy (wirnika turbiny) [Nm]
 M_3 – moment wirnika kierownicy [Nm]
 n_p – prędkość obrotowa wału pompy [obr/s]
 n_1 – prędkość obrotowa wału wejściowego [obr/min]
 n_2 – prędkość obrotowa wału wyjściowego [obr/min]
 N_1 – moc na wale wejściowym [W]
 N_2 – moc na wale wyjściowym [W]
 N_p – moc doprowadzona do pompy [W]
 N_{ep} – moc efektywna (otrzymana) [W]
 Δp – różnica ciśnień [Pa]
 p – ciśnienie [Pa]
 q_p – wydajność jednostkowa pompy [m^3/obr]
 Q_p – wydajność rzeczywista pompy [m^3/s]
 Q_t – wydajność teoretyczna pompy [m^3/s]
 V_p – objętość robocza [dm^3]
 η – sprawność ogólna [–]
 η_v – sprawność objętościowa [–]
 η_m – sprawność mechaniczna [–]
 λ_M – współczynnik proporcjonalności [$1/\text{rad}^2$]

ρ – gęstość płynu [kg/m^3]

Ψ – przenikalność przekładni [–]

ω_p – prędkość kątowa wału pompy [rad/s]

ω_1 – prędkość kątowa wału wejściowego [rad/s]

ω_2 – prędkość kątowa wału wyjściowego [rad/s]

1. PODSTAWOWE ELEMENTY UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

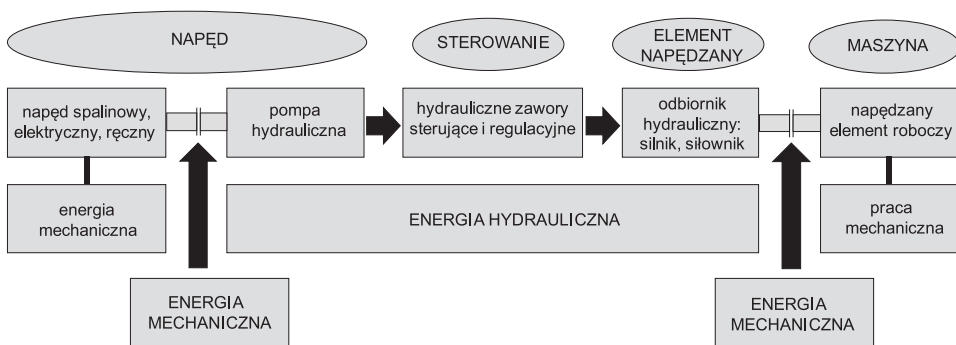
1.1. WSTĘP

Napęd hydrauliczny [2–5, 7, 9, 10] to zespół wzajemnie połączonych elementów hydraulicznych (np. pompa, zawory, siłowniki) za pomocą przewodów, gdzie generatorem energii jest pompa, natomiast odbiornikami energii są siłowniki lub silniki hydrauliczne.

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i zasady działania napędów hydrostatycznych. Wykonane doświadczenia będą pomocą w opanowaniu wiadomości oraz ukształtowaniu umiejętności do diagnozowania urządzeń i systemów hydraulicznych.

1.2. BUDOWA I DZIAŁANIE PODSTAWOWYCH ELEMENTÓW HYDRAULICZNYCH

W napędzie hydraulicznym moc przenoszona jest w formie energii kinetycznej lub ciśnienia statycznego cieczy roboczej. Przekształcanie energii z użyciem elementów układów hydrostatycznych na ogólnym schemacie blokowym przedstawiono na rysunku 1.1.



Rys. 1.1. Schemat blokowy przekazywania energii w układzie hydrostatycznym [6]

Medium transportującym energię jest ciecz (oleje mineralne bądź syntetyczne). Mają one właściwości smarne oraz antykorozyjne, które są ważne dla prawidłowej współpracy elementów maszyn. Wymagania stawiane cieczom hydraulicznym to:

- odpowiednia lepkość (za mała spowoduje utratę właściwości smarnych, za duża może powodować kawitację),
- odporność na utlenianie,
- stabilność termiczna,
- odporność na pienienie,
- korzystny wpływ na uszczelnienia,
- niska ściśliwość.

W układzie hydraulicznym można wyszczególnić kluczowe elementy:

- pompa hydrauliczna (zębata, tłoczkowa, łopatkowa, śrubowa) zamieniająca pracę mechaniczną silnika napędowego na energię potencjalną lub kinetyczną cieczy,
- siłownik hydrauliczny (tłokowy, nurnikowy, teleskopowy) lub silnik hydrauliczny (obrotowy), które zamieniają energię cieczy z powrotem na pracę mechaniczną,
- przewody i armatura do przenoszenia energii hydraulicznej,
- urządzenia do sterowania i regulacji: zawory, rozdzielacze,
- zespoły pomiarowe i pomocnicze (manometry, przepływomierze, chłodnice itp.).

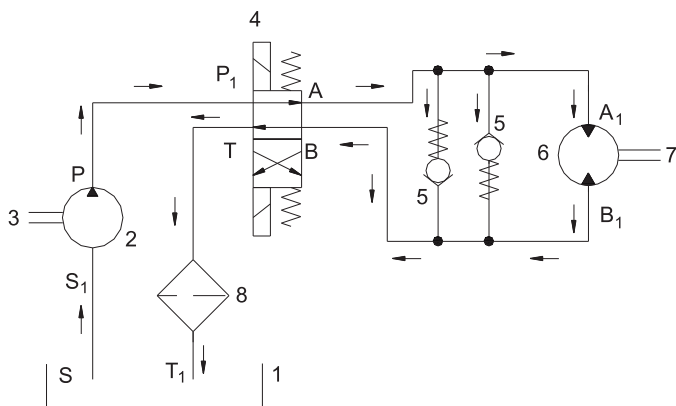
Poniżej przedstawiono podstawowe elementy hydrauliczne i ich funkcje:

- **zbiornik oleju** – olej znajdujący się w zbiorniku jest wykorzystywany do wypełnienia komory cylindra i przesuwu tłoka z tłoczyskiem siłownika,
- **pompa hydrauliczna** – służy do dostarczenia oleju hydraulicznego do elementu wykonawczego, tj. siłownika czy silnika hydraulicznego. W ćwiczeniu zastosowano pompę zębatą,
- **zawory** – najobszerniejsza grupa elementów hydraulicznych. Zawory pełnią funkcje zabezpieczające, sterujące, przyłączające i regulujące. W ćwiczeniu stosowane są zawory zwrotne, przelewowe, bezpieczeństwa, dławiące, zwrotno-dławiące i rozdzielacze,
- **siłownik** – element wykonawczy służący do generowania mocy niezbędnej do działania maszyny, urządzenia. Siłownik jednostronnego działania pracuje w taki sposób, że olej dostaje się pod ciśnieniem do wnętrza cylindra i napiera na tłok, wprawiając go w ten sposób w ruch posuwisto-zwrotny. Tłok wraca do pozycji wyjściowej za pomocą sprężyny ściskanej w czasie suwu roboczego, ale też może się to stać pod wpływem ciężaru tłoczyska, urządzenia roboczego oraz obciążenia pochodzącego z zewnątrz. Działanie siłownika hydraulicznego dwustronnego wygląda nieco inaczej. Są w nim dwie komory, do których doprowadza się olej, dlatego może być wykonywany ruch także w drugą stronę. Na stanowisku laboratoryjnym zastosowano dwa siłowniki hydrauliczne tłokowe dwustronnego działania o różnej długości tłoczyska. W siłownikach tych ruch tłoczyska jest posuwisty,

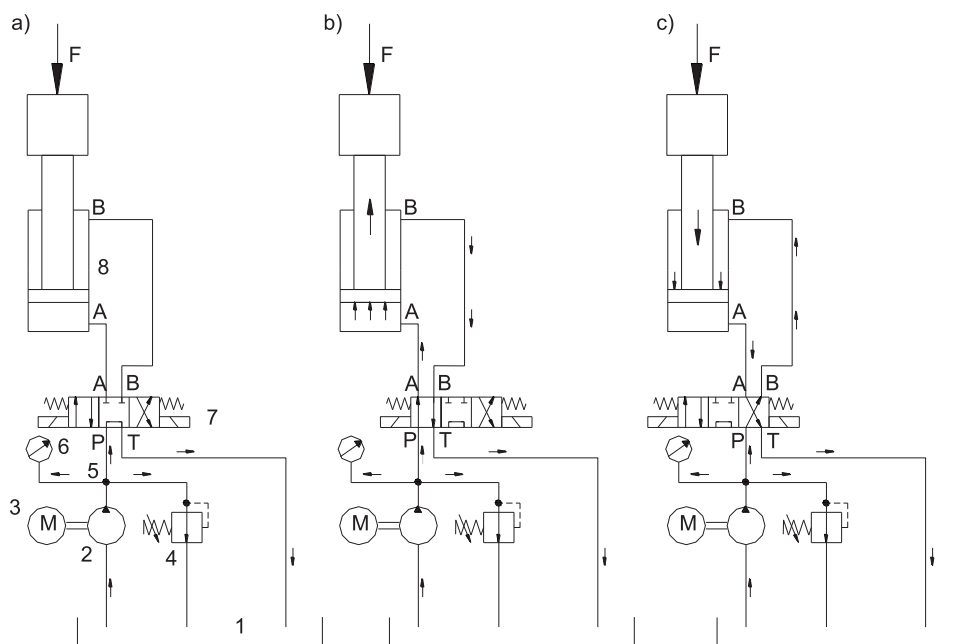
- **silnik hydrauliczny** – napędza pojazdy, maszyny i narzędzia o napędzie hydraulicznym. Zastosowanie silnika zależy od jego rozmiarów, generowanej mocy oraz od rodzaju płynu eksploatacyjnego. Można uzyskać ruch, np. obrotowy lub posuwisto-zwrotny,
- **akumulator hydrauliczny** – zbiornik ciśnieniowy, który magazynuje określoną objętość oleju pod ciśnieniem w celu przekazania jej z powrotem do układu w razie potrzeby. Akumulatory stanowią pewnego rodzaju rezerwę ciśnienia, a nie stałe źródło zasilania. Najczęściej stosuje się akumulatory hydropneumatyczne z przegrodą w postaci membrany, pęcherza lub tłoka. Przykładowo akumulatory wykorzystuje się w momencie chwilowego szczytu poboru energii. Są one też stosowane jako rezerwa cieczy hydraulicznej, sterowanie awaryjne, wyrównanie sił, kompensacja przecieków cieczy hydraulicznej oraz do odzysku energii podczas hamowania. Połączenie w układzie hydraulicznym siłownika hydraulicznego, zaworu dławiącego i akumulatora hydraulicznego znalazło zastosowanie w zawieszeniach pojazdów i osprzętów roboczych maszyn.

Napęd hydrostatyczny pracuje na zasadzie równomiernego rozprzestrzeniania się we wszystkich kierunkach ciśnienia w oleju znajdującym się w zamkniętym pojemniku. Ideę działania układu hydrostatycznego przedstawiono na rysunku 1.2. Silnik hydrauliczny (6) połączony jest przewodem AA_1 i PP_1 z pompą (3). Przy położeniu rozdzielacza jak na rysunku 1.2 w przewodach AA_1 i PP_1 powstaje ciśnienie na skutek momentu, jaki musi pokonać wał (7) silnika. W przewodach B_1B i TT_1 powstaje niewielkie ciśnienie wywołane oporem przepływu przez przewody i elementy hydrauliczne. Zawory (5) zabezpieczają układ hydrauliczny przed wzrostem ciśnienia powyżej ciśnienia roboczego układu. Przewody AA_1 i B_1B są chronione tylko przez jeden zawór (5). Zmiana pozycji pracy rozdzielacza (4) spowoduje zmianę kierunku obrotów silnika (6).

Przykładowy schemat napędu hydrostatycznego przedstawiono na rysunku 1.3. Tłok poruszający się w cylindrze (8) obciążony jest siłą F . Siłownik (8) połączony jest przewodami z pompą (2) przez rozdzielacz (7). Należy pamiętać, iż opory, na które natrafia przepływający olej hydrauliczny, powodują wzrost ciśnienia w układzie hydraulicznym. Poziom ciśnienia odpowiada całkowitemu oporowi, który wynika z oporów wewnętrznych i zewnętrznych oraz natężenia przepływu. Przy położeniu rozdzielacza jak na rysunku 1.3b w przestrzeni pod tłokiem i nad pompą generowane jest ciśnienie. Tłoczysko wysuwa się. Położenie rozdzielacza z rysunku 1.3c powoduje powstanie ciśnienia w przestrzeni nad tłokiem i nad pompą. W rezultacie tłoczysko chowa się. W położeniu środkowym (rys. 1.3a) pompa przelewa olej do zbiornika. Środkowe położenie rozdzielacza (7) powoduje połączenie pompy ze zbiornikiem oleju (1) przy zablokowaniu obydwu przestrzeni elementu wykonawczego (siłownika (8)). Tłok siłownika jest nieruchomy. Na zaworze (4) ustawione jest ciśnienie robocze układu hydraulicznego. Za pomocą strzałek znajdujących się obok przewodów pokazano kierunek przepływu oleju dla trzech rozważanych przypadków pracy przedstawionego układu hydraulicznego.

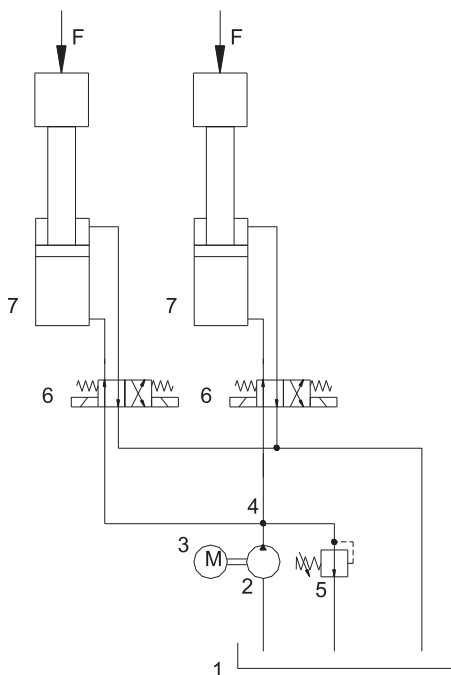


Rys. 1.2. Schemat obrotowej przekładni hydrostatycznej; 1 – zbiornik oleju, 2 – pompa hydrauliczna, 3 – wał napędu pompy, 4 – rozdzielacz hydrauliczny, 5 – zawory zwrotne (zawór krzyżowy), 6 – silnik hydrauliczny, 7 – wał odbiorczy silnika, 8 – filtr sphywowy, SS₁ – przewód ssawny pompy, PP₁ – przewód tłoczny pompy, AA₁ – przewód tłoczny silnika, B₁B – przewód sphywowy silnika, TT₁ – przewód sphywowy układu



Rys. 1.3. Przykładowy schemat układu hydrostatycznego sterowania siłownikiem dwustronnego działania; 1 – zbiornik oleju, 2 – pompa o stałym wydatku, 3 – silnik elektryczny, 4 – zawór maksymalny (bezpieczeństwa), 5 – złącze hydrauliczne, 6 – manometr, 7 – rozdzielacz, 8 – siłownik hydrauliczny tłoczowy dwustronnego działania

Równoczesny ruch obydwu tłoków (rys. 1.4) jest możliwy tylko w przypadku równych średnic i jednakowych obciążeń tłoków oraz przy mechanicznym sprzężeniu tłoczków polegającym na tym, że oba siłowniki przemieszczają jeden element. Jeżeli nie zostanie spełniony powyższy warunek, to najpierw wysunie się tłoczek tego siłownika hydraulicznego, które będzie miało mniejsze opory ruchu. Można zaproponować zastosowanie regulowanych zaworów dławiących, które umożliwią synchronizację siłowników. Więcej przykładów schematów przedstawiono w pracy [2].



Rys. 1.4. Przykładowy schemat zasilania dwóch siłowników hydraulicznych o działaniu dwustronnym połączonych równolegle; 1 – zbiornik oleju, 2 – pompa o stałym wydatku, 3 – silnik elektryczny, 4 – zawór maksymalny (bezpieczeństwa), 5 – złącze hydrauliczne, 6 – rozdzielacz, 7 – siłownik hydrauliczny tłokowy dwustronnego działania

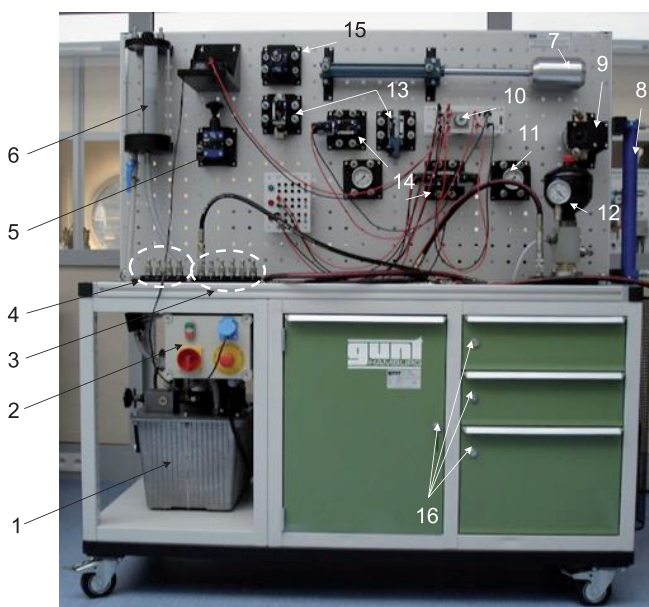
1.3. STANOWISKO BADAWCZE

Laboratorium posiada stanowisko hydrauliczne do badań podstawowych układów hydraulicznych. Stanowisko wyposażone jest w tablicę do szybkiego montażu elementów hydraulicznych. Tablica i elementy są tak zaprojektowane, aby można było je łatwo montować i demontować. Elementy hydrauliczne znajdują się w szafkach stanowiska. Ich montaż i demontaż następują za pomocą wkrętaka.

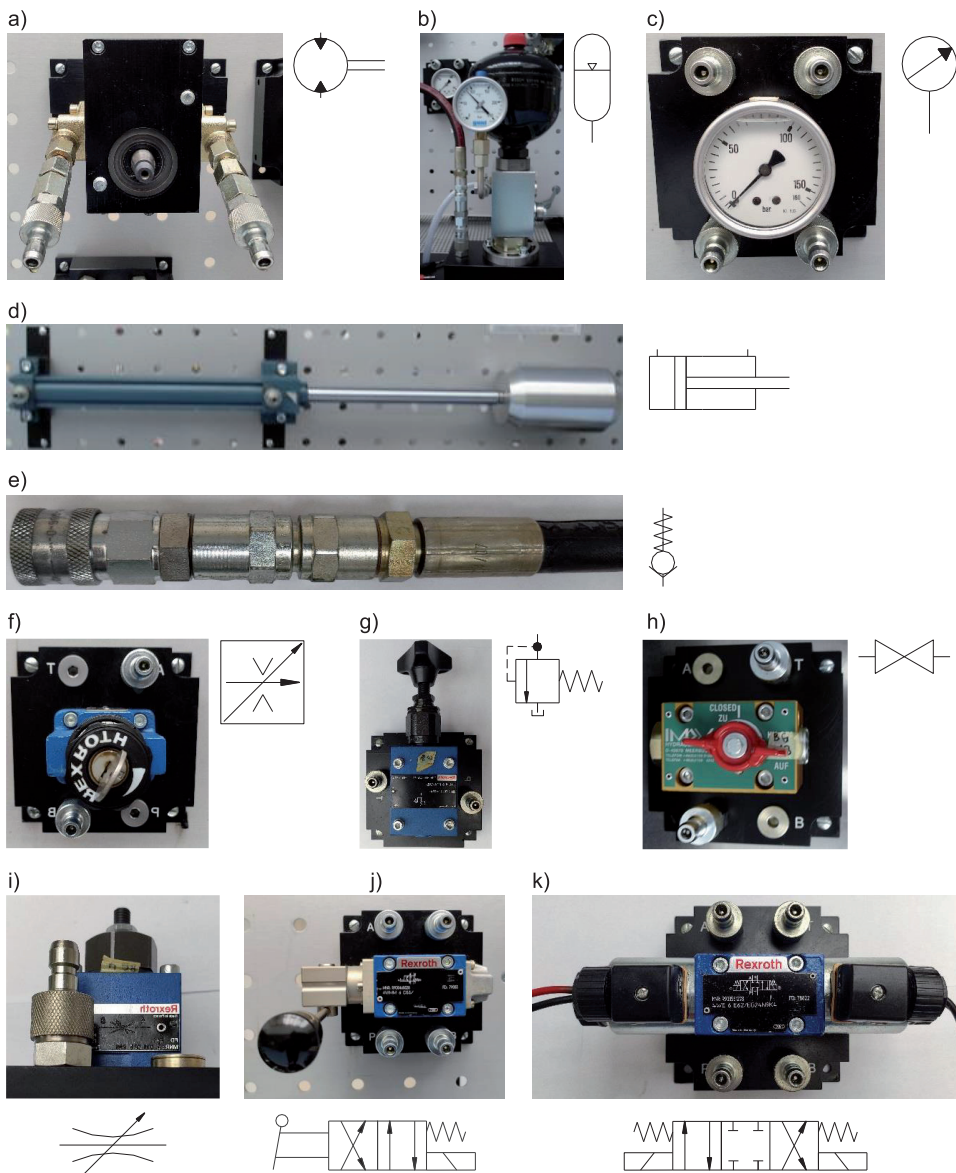
Ogólny widok stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 1.5, zaś na rysunku 1.6 zademonstrowano przykładowe elementy znajdujące się na wyposażeniu tego stanowiska.

W skład części dydaktycznej hydraulicznego stanowiska wchodzi również listwy przyłączeniowe (4) i (3), umożliwiające montaż układów hydraulicznych o wspólnym zasilaniu P i wspólnym odpływie T oleju hydraulicznego do zbiornika oleju (1). Wejścia P i T oraz wyjścia A i B zakończone są szybkozłączami umożliwiającymi łatwy montaż przewodów hydraulicznych.

Studenci w trakcie wykonywania ćwiczenia poznają nie tylko budowę i działanie elementów hydraulicznych, ale również sposoby ich prawidłowego montażu oraz to, w jaki sposób mogą być połączone ze sobą różne typy elementów hydraulicznych. Do dyspozycji studenta są nie tylko typowe rozdzielacze (sterowane ręcznie bądź elektrycznie), ale również elementy hydrauliczne z możliwością regulacji parametrów układu, takie jak: zawory przelewowe, zawory dławiące, zawory zwrotno-dławiące i inne.



Rys. 1.5. Stanowisko do prezentacji budowy prostych układów hydraulicznych z przykładowym zamocowaniem elementów hydraulicznych; 1 – zbiornik oleju, 2 – pulpit sterowniczy stanowiska z wyłącznikiem bezpieczeństwa, 3 – szybkozłącza do podłączenia przewodów powrotnych T, olej wraca do zbiornika, 4 – szybkozłącza do podłączenia powodów P tłoczących olej z pompy, 5 – zawór maksymalny, 6 – zbiornik do pomiaru wydajności pompy, 7, 8 – siłowniki hydrauliczne dwustronnego działania, 9 – silnik hydrauliczny, 10 – moduł do sterowania prędkością wysuwu tłoczyska, 11 – manometr, 12 – akumulator hydrauliczny, 13 – czujniki, 14 – rozdzielacze, 15 – regulator przepływu, 16 – szafka z dodatkowymi elementami hydraulicznymi



Rys. 1.6. Przykładowe elementy hydrauliczne: a) silnik hydrauliczny, b) akumulator hydrauliczny, c) manometr, d) siłownik hydrauliczny, e)–k) zawory hydrauliczne

W skład stanowiska wchodzi również elementy elektromechaniczne umożliwiające budowanie układów sterowania elektrohydraulicznego, a także automatyzację procesu wykorzystującego elementy napędu hydraulicznego. Dla przykładu automatyzację można zrealizować na programowalnym przekaźniku przedstawionym na rysunku 1.7.