



MINISTERSTWO EDUKACJI  
i NAUKI



**Stanisław Flis**

**Montowanie i sprawdzanie układów automatyki 311[20].O3.02**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy  
Radom 2005**

Recenzenci:

mgr Jerzy Buczko

mgr Zbigniew Zienkiewicz

Opracowanie redakcyjne:

mgr Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr inż. Zbigniew Kramek

Korekta:

mgr Edyta Koziół

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[20].O3.02 Montowanie i sprawdzanie układów automatyki zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik mechanik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

---

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	4
<b>2. Wymagania wstępne</b>	5
<b>3. Cele kształcenia</b>	6
<b>4. Materiał nauczania</b>	7
<b>4.1. Rodzaje układów sterowania. Sterowanie a regulacja</b>	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	10
4.1.3. Ćwiczenia	10
4.1.4. Sprawdzian postępów	12
<b>4.2. Układ automatycznej regulacji</b>	12
4.2.1. Materiał nauczania	12
4.2.2. Pytania sprawdzające	16
4.2.3. Ćwiczenia	16
4.2.4. Sprawdzian postępów	17
<b>4.3. Ogólna charakterystyka urządzeń automatyki</b>	18
4.3.1. Materiał nauczania	18
4.3.2. Pytania sprawdzające	20
4.3.3. Ćwiczenia	20
4.3.4. Sprawdzian postępów	21
<b>4.4. Wielkości charakteryzujące przepływ cieczy i gazów</b>	21
4.4.1. Materiał nauczania	21
4.4.2. Pytania sprawdzające	25
4.4.3. Ćwiczenia	25
4.4.4. Sprawdzian postępów	25
<b>4.5. Przetworniki pomiarowe</b>	26
4.5.1. Materiał nauczania	26
4.5.2. Pytania sprawdzające	31
4.5.3. Ćwiczenia	32
4.5.4. Sprawdzian postępów	34
<b>4.6. Rodzaje regulatorów</b>	34
4.6.1. Materiał nauczania	34
4.6.2. Pytania sprawdzające	39
4.6.3. Ćwiczenia	39
4.6.4. Sprawdzian postępów	39
<b>4.7. Elementy wykonawcze</b>	39
4.7.1. Materiał nauczania	39
4.7.2. Pytania sprawdzające	42
4.7.3. Ćwiczenia	43
4.7.4. Sprawdzian postępów	43
<b>4.8. Układy regulacji temperatury, poziomu, ciśnienia</b>	43
4.8.1. Materiał nauczania	43
4.8.2. Pytania sprawdzające	47
4.8.3. Ćwiczenia	47
4.8.4. Sprawdzian postępów	48

<b>4.9. Wybrane układy sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego</b>	48
4.9.1. Materiał nauczania	48
4.9.2. Pytania sprawdzające	53
4.9.3. Ćwiczenia	53
4.9.4. Sprawdzian postępów	55
<b>4.10. Wybrane układy sterowania hydraulicznego i elektrohydraulicznego</b>	56
4.10.1. Materiał nauczania	56
4.10.2. Pytania sprawdzające	61
4.10.3. Ćwiczenia	61
4.10.4. Sprawdzian postępów	63
<b>4.11. Zasady montażu układów automatyki</b>	64
4.11.1. Materiał nauczania	64
4.11.2. Pytania sprawdzające	66
4.11.3. Ćwiczenia	66
4.11.4. Sprawdzian postępów	67
<b>4.12. BHP przy eksploatacji instalacji i urządzeń ciśnieniowych</b>	67
4.12.1. Materiał nauczania	67
4.12.2. Pytania sprawdzające	72
4.12.3. Ćwiczenia	72
4.12.4. Sprawdzian postępów	72
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	73
<b>6. Literatura</b>	77

# 1. WPROWADZENIE

Przekazujemy Ci Poradnik, ufając, że będzie pomocny w przyswajaniu wiedzy z podstaw automatyki i nabywaniu umiejętności praktycznych w zakresie montowania i sprawdzania układów automatyki na zajęciach dydaktycznych w zawodzie technik mechanik w jednostce modułowej „Montowanie i sprawdzanie układów automatyki” 311[20].O3.02.

W poradniku zamieszczono:

- wykaz umiejętności, z jakimi powinieneś przystąpić do nauki w jednostce modułowej i pracy z poradnikiem,
- cele kształcenia, wykaz umiejętności, jakie powinieneś ukształtować w toku nauczania w jednostce modułowej i pracy z poradnikiem,
- wykaz literatury uzupełniającej,
- materiał nauczania – czyli wiadomości z zakresu podstaw automatyki oraz pomocne przy montowaniu i sprawdzaniu układów automatyki,
- zestawy pytań, które pomogą Ci sprawdzić aktualny stan przyswajanej wiedzy,
- ćwiczenia, które mają na celu wykształcenie Twoich umiejętności praktycznych, sprawdzian osiągnięć, przykładowy zestaw zadań i pytań, który pozwoli zweryfikować Twój stan wiedzy i umiejętności na zakończenie jednostki modułowej.

Zakres materiału nauczania i problematyka zawarta w programie nauczania jest bardzo obszerna, stąd istnieje potrzeba przyswojenia sobie wybranych zagadnień drogą samokształcenia. Osoba nauczyciela będzie z pewnością wzmocniała Twoją edukację.

Życzymy sukcesów!

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinien:

- charakteryzować podstawowe prawa fizyki,
- obsługiwać komputer typu PC na poziomie umożliwiającym wyszukanie informacji, edytowanie tekstów, obsługiwane programów do projektowania, symulacji, rejestracji i analizy danych,
- korzystać z tekstowych i pozatekstowych źródeł informacji,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z elektrotechniki, elektroniki i metrologii,
- obliczać podstawowe wielkości elektryczne wykorzystując prawa elektrotechniki,
- opisać budowę, działanie i zastosowanie odbiorników energii elektrycznej, aparatów i maszyn elektrycznych,
- określić parametry znamionowe elementów, aparatów, maszyn i urządzeń,
- dobierać przyrządy pomiarowe do badania podstawowych wielkości elektrycznych,
- dobierać metody pomiaru dla uzyskania minimalnego błędu pomiaru,
- odczytać schematy elektryczne i elektroniczne i na ich podstawie łączyć układy,
- wykonać pomiary podstawowych wielkości elektrycznych oraz parametrów układów elektrycznych, elektronicznych i maszyn elektrycznych,
- wskazać zagrożenia i określić sposoby ograniczenia lub likwidacji tych zagrożeń związanych z urazami mechanicznymi, zatruciami chemicznymi i porażeniem prądem elektrycznym,
- zastosować zasady i przepisy BHP, przeciwpożarowe i ochrony środowiska w sposób umożliwiający bezpieczną pracę,
- właściwie zareagować w przypadku zagrożenia (pożarowego, chemicznego, biologicznego i od materiałów wybuchowych),
- udzielać pierwszej pomocy poszkodowanym przy oparzeniach, urazach mechanicznych, zatruciach chemicznych i porażeniu prądem elektrycznym.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- wyjaśnić różnicę między sterowaniem a regulacją,
- rozróżnić elementy układu automatycznej regulacji i określić ich funkcje w układzie,
- sklasyfikować układy automatycznej regulacji,
- rozróżnić podstawowe wielkości charakteryzujące przepływ cieczy i gazów,
- określić wady i zalety oraz zakres stosowania elektrycznych, pneumatycznych i hydraulicznych urządzeń automatyki,
- rozróżnić i scharakteryzować podstawowe przetworniki pomiarowe,
- wyjaśnić działanie i zastosowanie elementów wykonawczych pneumatycznych, hydraulicznych i elektrycznych,
- rozpoznać typy regulatorów i scharakteryzować ich podstawowe parametry,
- wyjaśnić działanie układów regulacji temperatury, poziomu, ciśnienia,
- opisać na podstawie schematów działanie wybranych układów sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego oraz hydraulicznego i elektrohydraulicznego,
- zbudować na podstawie schematu układy sterowania lub układy automatycznej regulacji,
- przetestować działanie układów sterowania i regulacji,
- scharakteryzować wymagania dotyczące bezpiecznej eksploatacji instalacji i urządzeń ciśnieniowych,
- zastosować zasady bhp obowiązujące na stanowisku pracy.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Rodzaje układów sterowania. Sterowanie a regulacja

#### 4.1.1. Materiał nauczania

Podstawowe pojęcia

Automatyka – dyscyplina naukowa zajmująca się teorią i praktyczną realizacją urządzeń sterujących procesami technologicznymi przy ograniczonym udziale człowieka lub bez jego udziału. Powstała w następstwie dążenia do zwiększenia wydajności procesów technologicznych, poprawienia ich sprawności i niezawodności, a także w wyniku potrzeb produkcyjnych, stanowiących skutek wprowadzania nowych zaawansowanych technologii.

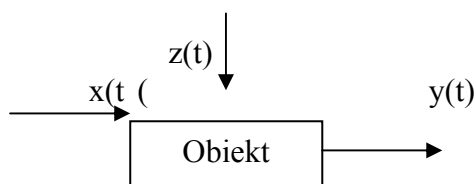
W ramach podstaw automatyki korzysta się ze specyficznych pojęć o bardzo ogólnym znaczeniu jak: sygnał, informacja, obiekt, sterowanie, urządzenie sterujące, regulacja.

Sygnał – umowna cecha określonej wielkości fizycznej (temperatura termodynamiczna, natężenie prądu elektrycznego, ciśnienie) występującej w procesie sterowania. Sygnał jest nośnikiem energii lub informacji, która zawarta jest w wartości lub kształcie przebiegu sygnału (wartość amplitudy, częstotliwość, szerokość impulsu).

Linia łącząca – łączy zapewniające przekazywanie informacji bez zniekształceń.

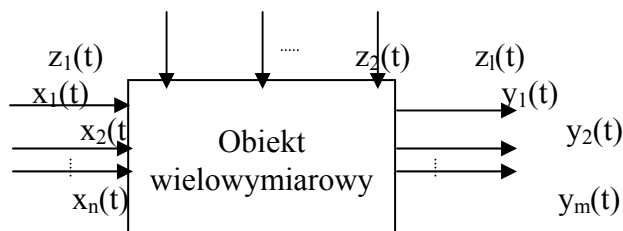
Obiekt – rozpatrywany przez nas ograniczony, wydzielony i łatwy do wyodrębnienia fragment rzeczywistości. Obiektem sterowania może być każdy obiekt fizyczny na przykład: proces produkcyjny, zespół współpracujących ze sobą urządzeń, urządzenie techniczne. Na obiekt można wywierać wpływ przez sterowanie, ale również obiekt pozostaje pod wpływem oddziaływań zewnętrznych otoczenia (środowiska).

Na rysunkach obiekt przedstawia się w postaci blokowej (prostokąt) z wyraźnie zaznaczonymi kierunkami przekazywania sygnału (strzałki). Obiekt z jednym sygnałem wejścia i jednym sygnałem wyjścia nazywamy jednowymiarowym (rys. 1). W praktyce spotyka się również obiekty wielowymiarowe, w których występuje kilka sygnałów wejściowych, wyjściowych oraz zakłóceń (rys. 2).



**Rys. 1.** Sposób przedstawienia obiektu na schematach:  $x(t)$  – sygnał wejściowy,  $y(t)$  sygnał wyjściowy, sygnał zakłócający  $z(t)$

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998



**Rys. 2.** Wielowymiarowy obiekt przedstawiony w postaci blokowej

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998



W przedstawionych obiektach wyróżniamy następujące sygnały:

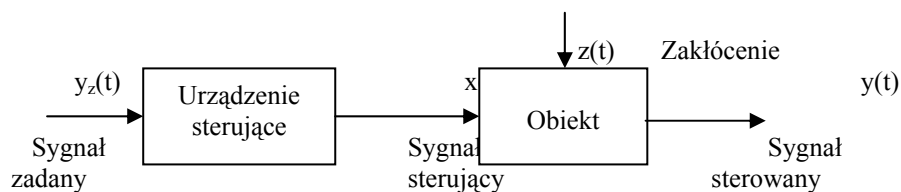
- sygnały wejściowe  $x(t)$  – wybrane wielkości wejściowe obiektu, którymi w sposób celowy oddziałujemy na stan obiektu,
- sygnały wyjściowe  $y(t)$  – wielkości wyjściowe obiektu, na które w sposób zamierzony oddziałujemy,
- sygnały zakłócające  $z(t)$  – niepożądane wielkości wejściowe obiektu, oddziałujące na obiekt w sposób niekorzystny. Mają często charakter losowy, nieprzewidywalny w przypadku których ludzie i urządzenia nie są w stanie nad nimi zapanować. W zasadzie nie istnieją obiekty (układy) pozbawione zakłóceń. Przykładem sygnałów zakłócających może być zmienna prędkość i kierunek wiatru zakłócające sterowanie samolotem.

Sterowanie – celowe oddziaływanie na obiekt (proces) w celu uzyskania pożądanego przebiegu lub stanu (w warunkach występowania zakłóceń). Sterowanie może być prowadzone ręcznie (realizowane przez człowieka) lub automatycznie (bez udziału człowieka lub z jego ograniczonym udziałem).

Urządzenie sterujące – urządzenie oddziałujące na obiekt sterowania za pośrednictwem określonych wielkości wejściowych.

Układ sterowania – zestaw środków technicznych (urządzenie sterujące, obiekt sterowania, tory oddziaływania) służących do zrealizowania procesu sterowania. W automatyce stosuje się otwarty i zamknięty układ sterowania.

Otwarty układ sterowania (rys. 3) – układ, w którym wielkość sterowana nie jest uwzględniana przy wyznaczaniu sygnału sterującego. Jego zastosowanie ogranicza się zatem do oddziaływania na proces (obiekt) bez bieżącej kontroli wielkości sterowanej. Układ wykorzystywany w automatyzacji prostych procesów, w których można w sposób przybliżony przewidzieć zachowanie się obiektu sterowanego.



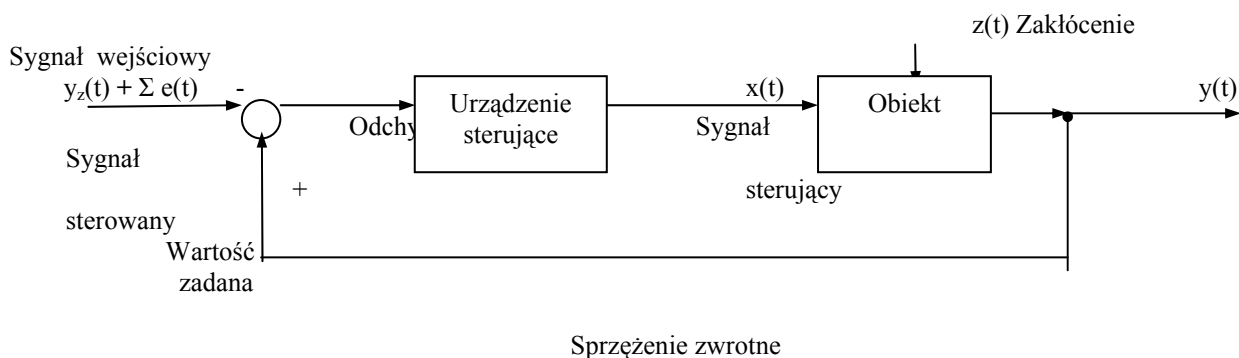
**Rys. 3.** Schemat blokowy otwartego układu sterowania

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Zamknięty układ sterowania (rys. 4) – układ sterowania, w którym występuje sprzężenie zwrotne (warunek konieczny), a wielkość sterująca określana jest na podstawie odchyłki. Sterowanie w układzie zamkniętym nazywamy regulacją. Regulacja jest pojęciem węższym od sterowania. Działanie takiego układu polega na:

- przekazywaniu sygnałów z wyjścia obiektu na wejście układu do węzła sumacyjnego  $\Sigma$  przez tor sprzężenia zwrotnego,
- ciągłym porównywaniem w węzle sumacyjnym sygnałów z wyjścia i wartością zadaną,
- przesłaniu odchyłki sterowania do urządzenia sterującego,
- przetworzeniu w urządzeniu sterującym odchyłki na odpowiedni sygnał sterujący obiekt.

Odchyłka (uchyb, błąd) sterowania – różnica między wartością zadaną a zmierzoną (oczekiwaną) wartością wielkości sterowanej [ $e(t) = y_z(t) - y(t)$ ].

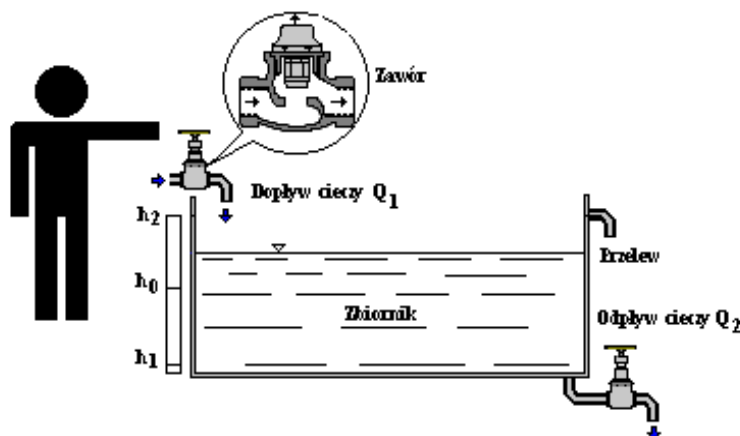


**Rys. 4.** Schemat blokowy zamkniętego układu sterowania

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Przykłady sterowania:

1. Sterowanie ręczne w układzie otwartym.



**Rys. 5.** Sterowanie ręczne w układzie otwartym

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

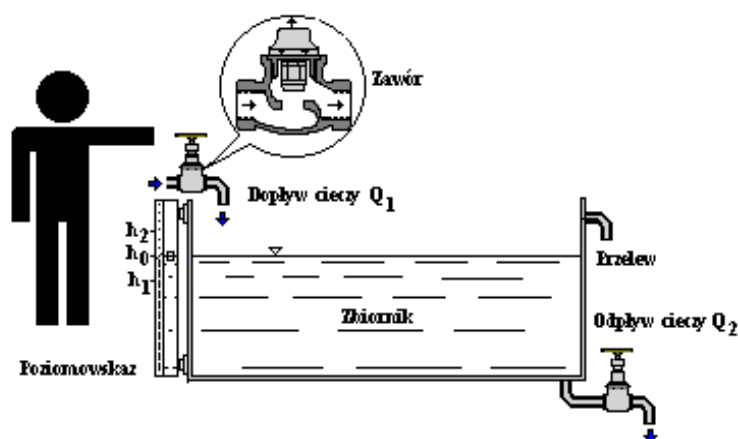
Przykład sterowania ręcznego w układzie otwartym przedstawiono na rys. 5. Zadaniem operatora jest ręczna zmiana dopływu cieczy  $Q_1$  poprzez otwarcie lub zamknięcie zaworu dopływowego w przypadku wystąpienia zakłócenia (niekontrolowany wypływ cieczy  $Q_2$  przez zawór odpływowy). W założeniach technologicznych ustalono, że niski dopuszczalny poziom powinien zapewnić przykrycie dna zbiornika cieczą technologiczną na wysokości  $h_1$ , a wysoki dopuszczalny poziom powinien znajdować się na granicy przelewu cieczy ze zbiornika ( $h_2$ ). W tym procesie sterowania operator ogranicza się do:

- otwarcia zaworu dopływowego,
- bardzo ogólnego określenia poziomu cieczy z najbardziej odpowiednim stanem  $h_0$  pomiędzy poziomami niskim a wysokim,
- zamknięcia zaworu dopływowego.

Jeśli jednak proces technologiczny zakłada precyzyjne utrzymanie poziomu cieczy na żądanej wartości  $h_0$ , wówczas najbardziej odpowiednie będzie sterowanie poziomem cieczy w układzie zamkniętym.

2. Sterowanie ręczne w układzie zamkniętym.

Przykład sterowania ręcznego w układzie zamkniętym przedstawiono na rys. 6.



**Rys. 6.** Sterowanie ręczne w układzie zamkniętym

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Zadaniem operatora jest kontrolowanie poziomu cieczy w zbiorniku (obiekt sterowania) na pożądanej wartości  $h_0$  (wartość zadana). Jeżeli z powodu wystąpienia zakłócenia nastąpi ubytek cieczy w zbiorniku, operator odczyta te zmiany na poziomowskazu. Dokona porównania mierzonego poziomu cieczy z pożądanym. Następnie, zwiększy lub zmniejszy dopływ cieczy  $Q_1$  poprzez zawór dopływowy do zbiornika zależnie od tego czy wartość poziomu cieczy jest mniejsza czy większa od pożądanej. Jeśli poziom cieczy niewiele różni się od poziomu pożądanego, zmiana położenia zaworu będzie niewielka. Po przestawieniu zaworu w nowe położenie operator ponownie obserwuje wskazania poziomowskazu. Jeśli po upływie pewnego czasu poziom cieczy będzie niższy od pożądanego, to operator przeprowadzi następną zmianę położenia zaworu. Z powyższego przykładu wynika że, aby podjąć decyzję i dokonać sterowania w układzie zamkniętym operator musi:

- kontrolować poziom cieczy,
- porównywać poziom istniejący w zbiorniku z poziomem zadany,
- porównywać rzeczywiste rezultaty zmian położenia zaworu z rezultatami oczekiwanymi.

#### 4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Co rozumiesz pod pojęciami: wielkość, wartość, jednostka?
2. Co to jest: automatyka, sygnał, zakłócenie, informacja, obiekt, obiekt jednowymiarowy i wielowymiarowy, sterowanie, urządzenie sterujące, układ sterowania, regulacja?
3. Co to jest otwarty układ sterowania?
4. Co to jest zamknięty układ sterowania?

#### 4.1.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

W pracowni automatyki zaistniała potrzeba zagotowania wody dla potrzeb konsumpcyjnych. Mając do dyspozycji kuchenkę elektryczną, czajnik i media (woda pitna, energia elektryczna) dokonaj ręcznego sterowania obiektem w układzie otwartym.

## Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wskazać obiekt sterowania, urządzenie sterujące, zakłócenia,
- 2) ustalić sygnały zadany, nastawczy,
- 3) określić sposób sterowania,
- 4) narysować schemat blokowy,
- 5) zadbać o bezpieczeństwo swoje i osób współpracujących,
- 6) nalać wodę pitną do czajnika,
- 7) umieścić czajnik na kuchence elektrycznej,
- 8) włączyć kuchenkę elektryczną do źródła zasilania,
- 9) ogrzewać wodę w czajniku do normalnej temperatury wrzenia,
- 10) wyłączyć kuchenkę elektryczną,
- 11) omówić realizowany proces sterowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instalacja elektryczna i wodno – kanalizacyjna,
- zlewozmywak,
- zawory czerpalne,
- woda pitna,
- czajnik metalowy,
- kuchenka elektryczna z instrukcją obsługi i bezpieczeństwa w języku polskim.

## Ćwiczenie 2

W pracowni automatyki zaistniała potrzeba przygotowania ciepłej wody dla potrzeb gospodarczych o temperaturze  $t = 51\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mając do dyspozycji kuchenkę elektryczną, czajnik, termometr cyfrowy, zegarek i media (woda pitna, energia elektryczna) dokonaj:

- a) ręcznego sterowania obiektem w zamkniętym układzie,
- b) pomiaru, zapisu i sporządzenia wykresu parametrów: temperatura =  $f(\text{czas})$ ,
- c) analizy wyników pomiaru.

## Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wskazać obiekt sterowania, urządzenie sterujące, zakłócenia,
- 2) ustalić sygnały zadany, nastawczy,
- 3) określić sposób sterowania,
- 4) określić tor sprzężenia zwrotnego,
- 5) narysować schemat blokowy,
- 6) zapoznać się z instrukcjami obsługi i bezpieczeństwa (w języku polskim) termometru cyfrowego i kuchenki elektrycznej,
- 7) zadbać o bezpieczeństwo swoje i osób współpracujących,
- 8) nalać wodę pitną do czajnika i umieścić czajnik na kuchence elektrycznej,
- 9) umieścić sondę pomiarową termometru cyfrowego w czajniku,
- 10) wykonać czynności przygotowawcze do wykonania pomiarów i zapisu parametrów
- 11) włączyć kuchenkę elektryczną do źródła zasilania,
- 12) mierzyć parametry (temperaturę i czas), utrzymując temperaturę na wartości zadanej  $t = 51\text{ }^{\circ}\text{C}$ , poprzez zmianę dopływu energii cieplnej do obiektu sterowania,
- 13) wyłączyć kuchenkę elektryczną,

14) sporządzić wykres temperatura = f(czas), analizować proces sterowania na podstawie wyników pomiaru i wykresu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instalacja elektryczna i wodno – kanalizacyjna z wodą pitną,
- zlewozmywak i zawory czerpalne,
- czajnik metalowy,
- zegarek,
- termometr cyfrowy przeznaczony do pomiarów temperatury powierzchniowej cieczy, gazów i powietrza z sondą pomiarową Pt 100 i z instrukcją obsługi w języku polskim,
- kuchenka elektryczna z instrukcją obsługi i bezpieczeństwa w języku polskim.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

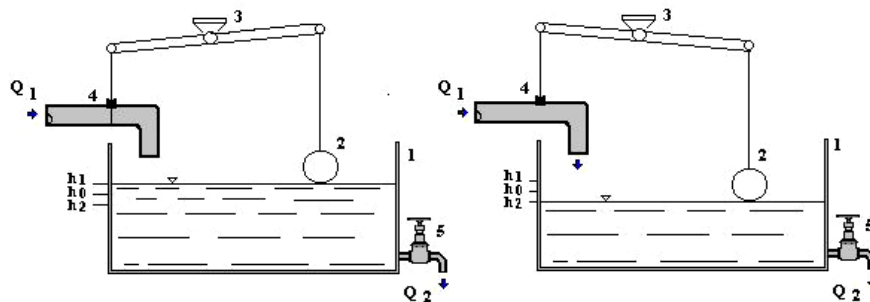
Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) rozróżniać nazwy: wielkość, wartość, jednostka?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zdefiniować pojęcia: automatyka, sygnał, zakłócenie, informacja, obiekt, obiekt jedno – i wielowymiarowy, sterowanie, urządzenie sterujące, układ sterowania, regulacja?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) rozróżniać otwarty i zamknięty układ sterowania na przykładzie schematów blokowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) przytoczyć przykłady sterowania ręcznego w otwartym i zamkniętym układzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) analizować proces sterowania w przytoczonych i wskazywać zagrożenia dla zdrowia i życia na stanowisku badawczym przykładach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) dokonać ręcznego sterowania obiektem w układzie otwartym i zamkniętym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.2. Układ automatycznej regulacji – struktura i rodzaje

### 4.2.1. Materiał nauczania

Układ automatycznej regulacji (UAR) jest to układ sterowania ze sprzężeniem zwrotnym (ujemnym), który bez udziału człowieka (samoczynnie) zapewnia pożądany przebieg wybranych wielkości charakteryzujących proces, zwanych wielkościami regulowanymi. Na rys.7 przedstawiono układ automatycznej regulacji poziomu cieczy w zbiorniku (skonstruowany przez I. I. Połzunowa w 1765 r.). Zadaniem tego układu regulacji jest utrzymanie stałego poziomu  $h_0$  cieczy w zbiorniku (1) przy zmieniającej się w sposób przypadkowy wartości  $Q_2$  strumienia cieczy wypływającej ze zbiornika przez zawór (5). Układ działa następująco. Jeżeli poziom cieczy  $h$  w zbiorniku z jakiegokolwiek powodu obniży się, to czujnik pływakowy (2), opadając w dół do poziomu  $h_2$ , za pomocą dźwigni (3) i zaworu (4) zwiększa wartość  $Q_1$  strumienia cieczy dopływającej do zbiornika, co powoduje stopniowe podwyższenie poziomu cieczy  $h$  do wysokości  $h_1$ . Po realizacji tego zadania nastąpi zamknięcie zaworu (4) i wyłączenie dopływu cieczy. Układ pozostanie w stanie równowagi, gdy równocześnie poziom cieczy  $h = \text{const}$  i wystąpi równość strumienia objętości cieczy dopływającej i odpływającej ze zbiornika  $Q_1 = Q_2$ . Obiektem regulacji w układzie jest zbiornik (1), a urządzeniem regulującym (sprzężone mechanicznie) – zespół czujnik pływakowy (2), dźwignia (3) i zawór (4). Wielkością regulowaną jest poziom cieczy  $h$  w zbiorniku, sygnałem sterującym przemieszczenie zaworu (4)

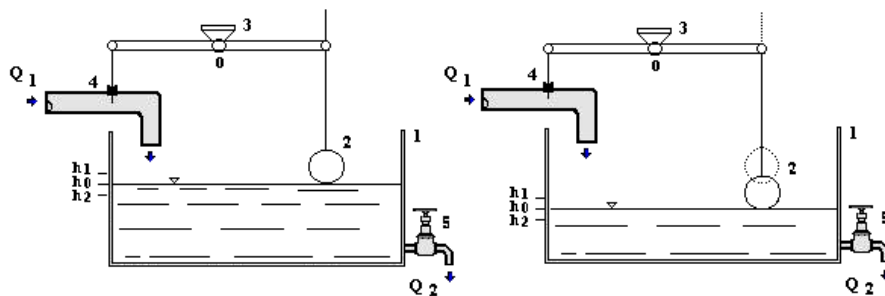
a zakłóceniem niekontrolowany odpływ cieczy ze zbiornika przez zawór (5) i zmieniająca się wartość strumienia cieczy  $Q_1$ .



**Rys. 7.** Układ automatycznej regulacji poziomu cieczy: a) układ przy górnym położeniu czujnika, b) układ przy dolnym położeniu czujnika. 1 – zbiornik, 2 – czujnik pływakowy, 3 – dźwignia dwuramienna, 4 – zawór cieczy dopływającej, 5 – zawór cieczy wypływającej.

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

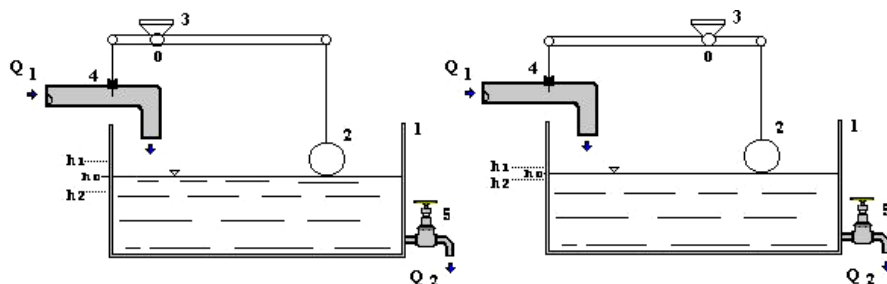
Konstrukcja układu wskazuje na możliwości zmiany wybranych parametrów: wysokości poziomu cieczy  $h_0$  i szerokości  $\Delta h$ . Ustalanie wysokości poziomu cieczy  $h_0$  w zbiorniku do pożądanej wartości realizowane jest przez zmianę długości pręta na którym mocowany jest czujnik pływakowy (rys. 8).



**Rys. 8.** Ustalanie wysokości poziomu cieczy  $h_0$  w zbiorniku do pożądanej wartości

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

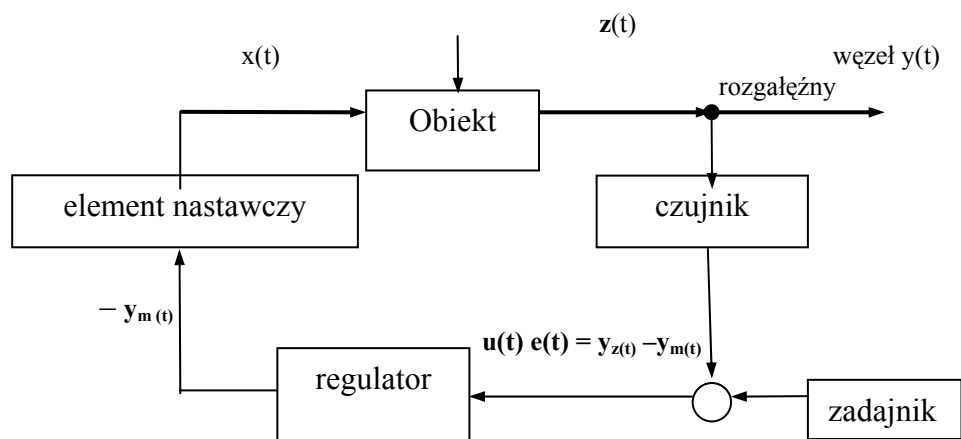
Zmianę szerokości  $\Delta h$  w regulacji poziomu cieczy można dokonać poprzez zmianę położenia punktu obrotu na dźwigni dwuramiennej regulatora (rys. 9)



**Rys. 9.** Ustalanie szerokości  $\Delta h$  w regulacji poziomu cieczy w zbiorniku

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Rozpatrywany układ automatycznej regulacji poziomu cieczy można także przedstawić w postaci schematu blokowego (rys 10).



**Rys. 10.** Schemat blokowy układu automatycznej regulacji poziomu cieczy:  $y(t)$ - wielkość regulowana,  $y_z(t)$  – wielkość zadająca,  $y_m(t)$  – wielkość mierzona (sygnał informujący o wielkości mierzonej),  $e(t)$  – odchyłka regulacji ( $e = y_z - y_m$ ),  $u$  – wielkość regulująca,  $x(t)$  – wymuszenie regulujące,  $z(t)$ - wielkości zakłócające.  
 Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Idea schematów blokowych ułatwia analizę działania rozbudowanych układów automatyki. Schemat blokowy dostarcza informacji o powiązaniach pomiędzy blokami i sygnałami. Zawiera informacje o zachowaniu dynamicznym układu, lecz nie zawiera żadnych informacji o jego fizycznej konstrukcji.

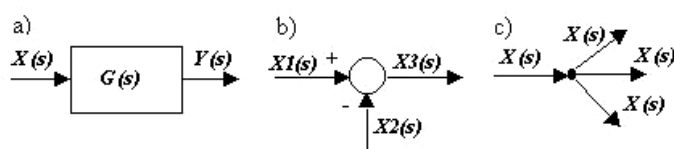
Przy takim ujęciu wyodrębniamy blok z wiążącym go sygnałem wyjściowym i wejściowym. Wewnątrz bloku znajduje się opis podający podstawowe własności rozpatrywanego elementu (członu).

Bloki połączone są strzałkami oznaczającymi jednoznacznie kierunek przepływających sygnałów. Zwrot strzałki w kierunku bloku oznacza wejście, a kierunek strzałki od bloku wskazuje wyjście. Strzałki oznaczają przepływające sygnały. Zaletą schematu blokowego jest możliwość łatwego formowania schematu blokowego dla całego układu poprzez połączenie bloków z przepływającymi sygnałami, wówczas możliwa jest ocena udziału każdego składnika na jakość całego układu.

Okrąg na schematach blokowych oznacza węzeł sumacyjny (sumator) i realizuje operację algebraicznego sumowania sygnałów. W zależności od znaku plus lub minus, sygnał jest dodawany lub odejmowany. Jeżeli nie zaznaczono żadnego znaku to wykonywane jest dodawanie (znak minus przy odejmowaniu sygnału trzeba koniecznie uwzględnić). Na schemacie blokowym węzeł sumacyjny może mieć wiele sygnałów wchodzących, ale tylko jeden wychodzący.

Węzeł rozgałęźny jest punktem z którego sygnał rozchodzi się do innych bloków lub węzłów sumacyjnych.

Wymienione elementy strukturalne schematu blokowego przedstawiono na rys. 11.

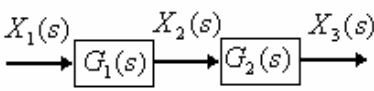
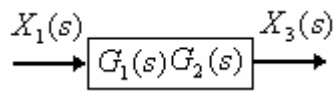
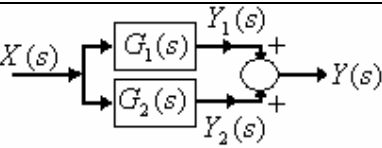
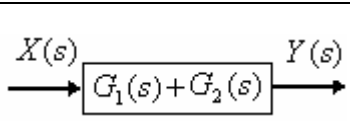
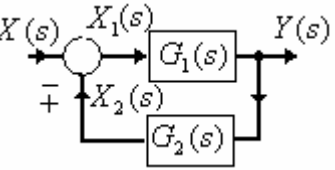
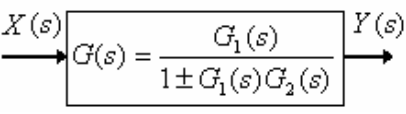


**Rys. 11.** Elementy strukturalne schematu blokowego: a – blok, b – węzeł sumacyjny, c – węzeł rozgałęźny (zaczepowy)

Schematy blokowe są sprowadzane do prostszych postaci. Na podstawie danych np. transmitancji operatorowych bloków składowych, można wyznaczyć transmitancję operatorową bloku

zastępczego, stosując reguły dotyczące upraszczania. Redukcja taka powinna być prowadzona krok po kroku, zawsze utrzymując tą samą zależność pomiędzy wejściem i wyjściem

**Tabela 1.** Wybrane reguły dotyczące upraszczania schematów blokowych

	Przekształcenie	Schemat wyjściowy	Schemat równoważny
1.	Połączenie kaskadowe		
2.	Połączenie równoległe		
3.	Redukcja pętli sprzężenia zwrotnego		

Układy automatycznej regulacji (UAR) można klasyfikować według różnych kryteriów. Między innymi dokonując podziału ze względu na:

- zadanie jakie spełnia układ,
- rodzaj występujących w nim elementów,
- sposób pomiaru wielkości regulowanej.

Podział układów regulacji automatycznej, ze względu na zadanie jakie mają spełniać:

- układy automatycznej regulacji stałowartościowej – są to układy, w których wielkość zadająca  $y_z$  ma stałą raz nastawioną wartość. Przykładem regulacji stałowartościowej jest UAR poziomu cieczy (rys.7), układ regulacji temperatury pieca oporowego grzejnego itp.

- układy automatycznej regulacji nadążnej – są to układy, w których wielkość zadająca  $y_z$  jest nieznaną funkcją czasu. Zmiany sygnału  $y_z$  nie zależą od procesu zachodzącego wewnątrz układu automatycznej regulacji, ale są wywołane zjawiskami występującymi poza układem regulacji. Przykładem takich układów jest radiolokacyjny system przeciwrakietowy, układ wspomagający ruch kierowcy w samochodzie, złożony ciągły proces wytwórczy, w których ilość składników doprowadzonych w jednostce czasu musi być dostosowana do zmiennych ilości składnika głównego itp.,

- układy regulacji programowej – są to układy w których wielkość zadająca  $y_z$  jest znaną z góry funkcją czasu ( $y_z$  zmienia się według ustalonego programu). Układy te są szczególnym przypadkiem układu nadążnego. Przykładem takich układów jest automatyczna obrabiarka wykonująca detal o wybranym profilu, pralka automatyczna, programowe układy regulacji ciśnienia, temperatury i dopływu poszczególnych czynników w procesach syntezy chemicznej, układy regulacji ekstremalnej – są to układy w których wielkość regulowana przyjmuje wartości ekstremalne. Położenia ekstremum nie jest zazwyczaj stałe i wiąże się z wpływem zakłóceń. Zadaniem URA jest w tym przypadku utrzymanie wielkości regulowanej możliwie blisko wartości ekstremalnej. Przykładem jest proces regulacji spalania gazu w kotle, w którym regulator dobiera tak wartość strumienia gazu, aby przy określonej wartości strumienia gazu i danej jego wartości opałowej temperatura w komorze spalania była najwyższa.

Podział układów regulacji automatycznej, ze względu na rodzaj występujących w nim elementów:



- liniowe,
- nieliniowe.

Elementy liniowe spełniają zasadę superpozycji wynikającą z postulatu liniowości (są opisywane np. liniowymi równaniami algebraicznymi). W przypadku jeśli występuje choć jeden element nieliniowy (nie spełnia zasad superpozycji) wówczas cały UAR jest nieliniowy.

Podział układów regulacji automatycznej ze względu na sposób pomiaru wielkości regulowanej:

- analogowe,
- cyfrowe,

W układach analogowych wynik pomiaru jest przedstawiony w postaci fizycznej związanej z wielkością regulowaną określoną zależnością funkcyjną. W układach cyfrowych sygnały mają charakter dyskretny.

Często w układach ze względu na przechodzenie sygnałów analogowych na cyfrowe lub odwrotnie istnieje potrzeba zastosowania przetworników cyfrowo – analogowych lub analogowo – cyfrowych.

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Jaka jest różnica między sterowaniem a regulacją?
2. Jakie elementy można wyróżnić w układzie regulacji poziomu cieczy?
3. W jaki sposób dokonuje się zmiany parametrów i jakie są skutki tych zmian w UAR na przykładzie regulatora poziomu cieczy?
4. Jaka jest idea i dlaczego w UAR stosuje się schematy blokowe?
5. Jakie elementy strukturalne występują w schematach blokowych UAR?
6. Jakie są reguły dotyczące upraszczania schematów blokowych na przykładzie: połączeń kaskadowych, równoległych i ze sprzężeniem zwrotnym?

#### 4.2.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Mając do dyspozycji regulator bezpośredniego działania poziomu cieczy (np. dolnopłuk) dokonaj regulacji wybranych parametrów: wysokości poziomu cieczy  $h_0$  i szerokości  $\Delta h$ .

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi wybranego regulatora poziomu cieczy bezpośredniego działania,
- 2) wskazać: obiekt regulacji, czujnik, zadajnik, regulator, sumator, element nastawczy,
- 3) ustalić: wielkość regulowaną, wymuszenie regulujące, wielkość zadającą, wielkości zakłócające,
- 4) narysować schemat blokowy UAR,
- 5) określić wartości wysokości poziomu cieczy  $h_0$  i szerokości  $\Delta h$ ,
- 6) ustalić możliwości zmian wyżej wymienionych parametrów,
- 7) zadbać o bezpieczeństwo swoje i osób współpracujących podczas wykonywania ćwiczeń,
- 8) uruchomić działanie regulatora poziomu cieczy,
- 9) dokonać zmian w usytuowaniu elementów regulatora i określić jaki wpływ mają te zmiany na parametry regulatora.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instalacja wodno – kanalizacyjna,
- regulator bezpośredniego działania poziomu cieczy (np. dolnopłuk) z instrukcją obsługi,
- przymiar.

#### 4.2.4. Sprawdzenie postępów

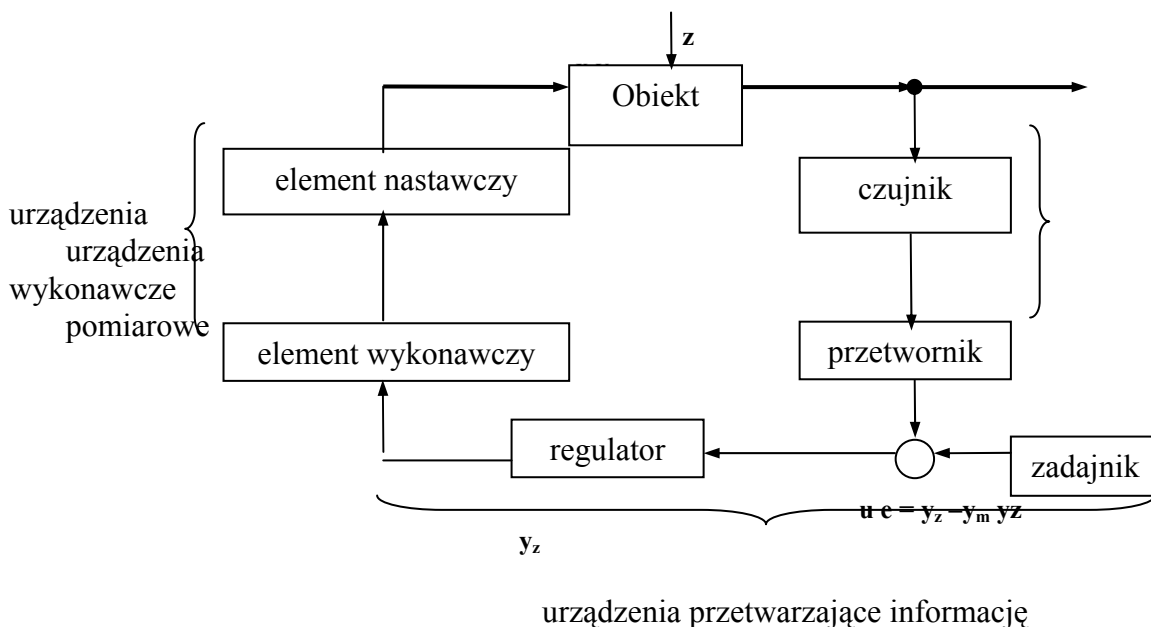
Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) omówić dlaczego pracę człowieka próbuje się zastąpić układami automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) rozróżnić i wskazać elementy układu automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) scharakteryzować elementy układu automatycznej regulacji i określić ich funkcję w układzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać w jaki sposób działa układ automatycznej regulacji poziomu cieczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wskazać możliwości zmian parametrów i przedstawić skutki tych zmian w układzie automatycznej regulacji poziomu cieczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) dokonać zmiany parametrów w układzie automatycznej regulacji poziomu cieczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) ocenić skutki zmian w usytuowaniu wybranych elementów w układzie automatycznej regulacji poziomu cieczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wymienić elementy strukturalne schematu blokowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) uprościć schematy blokowe w UAR jeśli wystąpią w nich połączenia kaskadowe, równoległe lub ze sprzężeniem zwrotnym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) narysować układ automatycznej regulacji poziomu cieczy wykorzystując schematy blokowe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) analizować i wskazywać zagrożenia dla zdrowia i życia na stanowisku badawczym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.3. Ogólna charakterystyka urządzeń automatyki

### 4.3.1. Materiał nauczania

W układach automatycznej regulacji poza obiektem, w którym zachodzi proces podlegający regulacji (z występującym zakłóceniem), najogólniej wyróżnić można trzy główne grupy urządzeń (zespołów) (rys 12):

- 1) urządzenia pomiarowe – przejmujące informację (czujnik lub układ czujnik – przetwornik),
- 2) urządzenia przetwarzające informację (zadajnik, sumator, regulator),
- 3) urządzenia wykonawcze (element nastawczy lub układ element wykonawczy i nastawczy).



**Rys. 12.** Schemat blokowy układu automatycznej regulacji (UAR):  $y$  - wielkość regulowana,  $y_z$  - wielkość zadająca,  $y_m$  - wielkość mierzona (sygnał informujący o wielkości mierzonej),  $e$  - odchyłka regulacji ( $e = y_z - y_m$ ),  $u$  - wielkość regulująca,  $x$  - wymuszenie regulujące,  $z$  - wielkości zakłócające.

Źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Ogólna charakterystyka urządzeń automatyki:

#### 1. Urządzenia pomiarowe:

- czujnik – element przyrządu pomiarowego lub łańcucha pomiarowego, na który oddziałuje bezpośrednio wielkość mierzona.

Czujnik jest elementem pomiarowym wrażliwym na wskazany parametr procesu. Przetwarza fizyczną wielkość mierzoną na inną wielkość fizyczną dogodną dla pomiaru. Na przykład termorezystor jako czujnik może być elementem mostka, w którym zmiana mierzonej temperatury prowadzi do zmiany rezystancji termorezystora a następnie do zmiany napięcia nierównowagi mostka. W UAR czujnik znajduje się w pętli sprzężenia zwrotnego układu regulacji i dokonuje pomiaru wielkości regulowanej.

- przetwornik pomiarowy – urządzenie pomiarowe przetwarzające, zgodnie z określonym prawem, wielkość wejściową na wielkość wyjściową.

Przetwornik jest elementem automatyki mającym zadanie przetworzyć sygnał z czujnika (np. rezystancja, siła termoelektryczna) na sygnał o zuniifikowanym zakresie zmienności. Może to być napięciowy sygnał standardowy (wewnątrz systemowy) lub prądowy sygnał do przesyłania informacji na odległość między procesem a systemem sterującym. Unifikacja sygnałów ma umożliwić współpracę różnych urządzeń, tworzących w efekcie uniwersalny system automatyki.

## 2. Urządzenia przetwarzające informację:

- zadajnik – urządzenie do nastawiania wartości zadanej wybranej wielkości podlegającej regulacji.

Zadajnik podaje sygnał do sumatora. Wytwarzanie sygnału wartości zadanej zależy od rodzaju regulatora oraz sposobu pomiaru wielkości wejściowej regulatora. Zadajniki są wykonywane jako autonomiczne urządzenia lub wbudowane w regulatory. Od dokładności nastawienia wartości zadanej zależy wprost dokładność regulacji. Zatem na zadajniki wybiera się urządzenia o dużej dokładności np. stabilizatory ciśnienia, stabilizowane źródła prądu lub napięcia czy też zadajniki sprężynowe. Konkretnie wymagania stawiane zadajnikom przez dany układ automatyki spowodowały powstanie kilku grup tych urządzeń. Mogą występować zadajniki: stałowartościowe (najczęściej stosowane), programowe, zdalnie sterowane. Zadajniki stałowartościowe generują stałą w czasie wartość sygnału nastawianą w określony sposób przez operatora. Zadajniki programowe wytwarzają sygnał zmienny w czasie dla potrzeb regulacji programowej. Zadajniki zdalnie sterowane umożliwiają nastawienie żądanej wartości np. za pomocą centralnego urządzenia sterującego jakim może być komputer.

- sumator (element sumujący, węzeł sumacyjny) – służy do algebraicznego sumowania sygnałów (dodawanie i odejmowanie sygnałów) na przykład przesunięć, momentów, sił, napięć,  
- regulator – urządzenie, które w układzie automatycznej regulacji określa odchyłkę regulacji przez porównanie wartości wielkości regulowanej z wartością zadaną i na podstawie odchyłki regulacji wypracowuje sygnał regulujący według określonego algorytmu.

Sygnał wyjściowy z regulatora podawany jest na urządzenie wykonawcze.

Urządzenia przetwarzające informację posiadają również właściwość wskazywania i rejestracji sygnałów. Odczyt danych może być realizowany za pomocą urządzeń wskazujących lub mierników. Zapisu informacji można dokonać za pomocą rejestratorów (analogowych i cyfrowych) lub komputerowej rejestracji danych. Urządzenia do rejestracji danych podlegają ciągłej ewolucji i udoskonaleniom technicznym. Ich konstrukcja, działanie sposoby zapisu wywodzą się często z pogranicza wielu rozwiązań technicznych. Jednoznaczne przyporządkowanie ich do tylko jednej grupy jest więc utrudnione. Płynną granicę w tym zakresie obserwuje się w przypadku np. mierników i rejestratorów cyfrowych współpracujących z komputerami jak również systemów monitoringu i wizualizacji.

## 3. Urządzenia wykonawcze:

- urządzenie wykonawcze – dokonuje przestawienia punktu pracy obiektu, stosownie do sygnału sterującego po to aby sygnał wyjściowy pokrywał się z sygnałem zadanym. W UAR urządzenie wykonawcze jest często kojarzone w jeden zespół z elementem wykonawczym i nastawczym. Przykładem może być połączenie elementu nastawczego (zawór) z elementem napędowym (pneumatyczny siłownik membranowy).

- element wykonawczy – zadaniem jego jest odbiór sygnału przychodzącego z urządzenia generującego algorytm sterowania, przetworzenie tego sygnału i przesłanie go do elementu nastawczego.

- element nastawczy – za jego pośrednictwem wpływa się bezpośrednio na jeden ze strumieni energetyczno – materiałowych doprowadzonych do obiektu regulacji. Do elementów nastawczych na przykład możemy zaliczyć: zawory, przepustnice, zasowy doprowadzające ciecz do obiektu regulacji, dozowniki pyłu węglowego transportowanego do palenisk w instalacjach grzewczych, autotransformatory, niektóre układy tyrystorowe.

Urządzenia automatyki są powiązane liniami łączy z zadaniem przesyłania sygnałów (informacji). Struktura takich powiązań może mieć charakter lokalny lub rozproszony.

Cechą połączenia lokalnego jest indywidualny odbiór i przesył sygnałów do i z obiektu regulacji. System rozproszony umożliwia tworzenie struktur i systemów sieciowych w różnej architekturze, dając możliwość wymiany informacji (pomiar, rejestracja, analiza danych, sterowanie,

wizualizacja, monitoring) pomiędzy urządzeniami pracującymi w danym segmencie sieci przemysłowej, podobnie jak to ma miejsce w sieciach komputerowych.

System automatyki stanowi zbiór urządzeń o standardowych sygnałach wejściowych i wyjściowych umożliwiających wraz z czujnikami i zespołami wykonawczymi, zestawienie różnorodnych układów automatycznej kontroli, regulacji i sterowania ciągłymi i wielozmiennymi procesami technologicznymi.

Urządzenia automatyki podlegają pewnym rygorom konstrukcyjnym. Związane jest to z warunkami w jakich przychodzi im pracować. Oddziaływanie czynników zewnętrznych, takich jak zmienne warunki klimatyczne, zapylenie, duża wilgotność środowiska, czynniki agresywne, możliwość uszkodzeń mechanicznych wymuszają zastosowanie odpowiednich obudów z blachy lub jako odlewy (z uszczelnieniami, przeciwwybuchowe, iskrobezpieczne).

Urządzenia te nie powinny też zakłócać procesu technologicznego, dlatego używa się do ich budowy materiały umożliwiające kontakt z żywnością.

Urządzenia automatyki montuje się również na znormalizowanych szynach, tablicach lub specjalnych szafach wykorzystując wersje modułowe.

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Co rozumiesz pod pojęciem urządzenie automatyki?
2. Jakie rodzaje urządzeń znalazły zastosowanie w układach automatycznej regulacji?
3. Jakie jest zadanie urządzeń pomiarowych w układach automatycznej regulacji?
4. Jakie jest zadanie urządzeń przetwarzających informację w układach automatycznej regulacji?
5. Jakie jest zadanie urządzeń wykonawczych w układach automatycznej regulacji?

### 4.3.3. Ćwiczenia

Na tym etapie kształcenia zostaną przedstawione propozycje kilku, z wielu możliwych projektów (problemów do rozwiązania). Realizowane przez uczniów projekty są z pewnością zadaniem twórczym ze wszystkimi osobliwościami. Stanowią rodzaj fundamentu w poznawaniu urządzeń automatyki, budowie samokształcenia i rozwijaniu umiejętności pisarskich.

W tej sferze działalności istotne jest wykorzystanie tekstowych i pozatekstowych źródeł informacji. Do realizacji projektu zalecane jest wykorzystanie: komputera i urządzeń peryferyjnych, oraz: edytorów graficznych i tekstu, archiwizacji zbiorów, bazy danych, arkuszy kalkulacyjnych.

#### Projekt 1.

Opis do projektu. Historia to logiczne powiązania zdarzeń wynikających z zależności międzyludzkich, ludzkich ambicji, strategii i polityki, działań ludzi w określonym obszarze czasowym. Historia to także dzieje odkryć i wynalazków.

Część teoretyczna: dokonaj analizy najbardziej genialnego – Twoim zdaniem wynalazku – w dziedzinie automatyki o wielkim znaczeniu dla ludzkości.

Część praktyczna: przedstaw w dowolny sposób istotę wybranego wynalazku.

#### Projekt 2

Opis do projektu. W produkcji żywności w szklarniach występuje potrzeba zwrócenia uwagi na aspekt techniczny, ekonomiczny i ekologiczny.

Część teoretyczna: dokonaj analizy możliwości zastosowania urządzeń automatyki w szklarni uwzględniając wzajemne relacje sfery: technicznej, ekonomicznej i ekologicznej.

Część praktyczna: na podstawie przeprowadzonej analizy wybierz najlepsze – Twoim zdaniem rozwiązanie – zastosowania urządzenia automatyki w produkcji żywności w szklarni. Przedstaw w dowolny sposób wybrane urządzenie automatyki.

### Projekt 3

Opis do projektu. Człowiek ma możliwość postrzegania otaczającego go środowiska poprzez zmysły: wzroku, słuchu, smaku, powonienia, dotyku. Wobec zaistnienia dysfunkcji oczywista staje się potrzeba niesienia pomocy w zakresie poprawy działania jednego z tych zmysłów.

Część teoretyczna: dokonaj analizy narządu dotyku u człowieka.

Część praktyczna: określ jakie sensory mogą być wykorzystywane w budowie sztucznej dłoni. Przedstaw w dowolny sposób budowę i działanie wybranych sensorów.

### 4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wyjaśnić pojęcie – urządzenie automatyki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dokonać klasyfikacji urządzeń automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić zadanie i scharakteryzować urządzenia pomiarowe w układach automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić zadanie i scharakteryzować urządzenia przetwarzające informacje w układach automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić zadanie i scharakteryzować urządzenia wykonawcze w układach automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.4. Wielkości charakteryzujące przepływ cieczy i gazów

### 4.4.1. Materiał nauczania

#### 1. Określenie płynu.

Ciecze – są to substancje, które w odróżnieniu od ciał stałych charakteryzują się brakiem sprężystości postaci, wskutek czego nie mają one określonego kształtu, rozlane w naczyniu przyjmują jego kształt. Ciecz oddzielona jest od atmosfery poziomą płaszczyzną (powierzchnia swobodna). Ciecze charakteryzują się niewielką ściśliwością, przejawiającą się tylko nieznacznym zmniejszeniem ich objętości nawet pod działaniem nawet bardzo dużych sił zewnętrznych.

Gazy – są to substancje, które w odróżnieniu do ciał stałych i cieczy, charakteryzują się dużą ściśliwością tzn. dużymi zmianami objętości pod wpływem działania sił zewnętrznych, oraz rozprężliwością, polegająca na tym, że gaz zajmuje każdą będącą w jego dyspozycji objętość i całkowicie ją wypełnia. Ponadto, podobnie jak ciecze, gazy nie mają sprężystej postaci (własnego kształtu).

W odróżnieniu od ciała stałego, ciecz i gaz charakteryzują się płynnością. W związku z tym stosuje się często dla nich łączną nazwę płyn.

#### 2. Własności płynów.

Gęstość płynu – stosunek masy płynu do zajmowanej objętości

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

gdzie:

–  $\rho$  – gęstość w  $kg \cdot m^{-3}$ ,  $m$  - masa płynu w  $kg$ ,  $V$  – zajmowana objętość w  $m^3$ .

Ścisłość płynu – właściwość płynu polegająca na zmianie objętości określonej masy płynu przy zmianie ciśnienia.

Współczynnikiem ścisłości  $\beta$  nazywany jest iloraz względnej zmiany objętości  $\Delta V/V$  pod działaniem zmiany ciśnienia  $\Delta p$

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \frac{1}{\Delta p} \quad (2)$$

$$|\beta| = m^2/N$$

Moduł sprężystości płynu – jest odwrotnością współczynnika sprężystości

$$E = \frac{1}{\beta} = \frac{V}{\Delta V} \Delta p \quad (3)$$

Zmiana objętości płynu od wartości  $V$  do wartości  $V - \Delta V$  pod wpływem przyrostu ciśnienia  $\Delta p$  wyniesie

$$\Delta V = -\frac{V\Delta p}{E} \quad (4)$$

przy czym znak „-” oznacza, że ze wzrostem ciśnienia objętość płynu zmniejsza się.

Moduł sprężystości płynu  $E$  zależy od rodzaju płynu, a ponadto od temperatury i ciśnienia.

Rozszerzalność cieplna płynu  $\alpha$  – charakteryzuje podatność płynu na odkształcenie objętościowe przy zmianie temperatury. Miarą tej odkształcalności jest współczynnik rozszerzalności cieplnej.

Współczynnik rozszerzalności cieplnej wyraża względną zmianę objętości  $\Delta V/V$  przy zmianie temperatury  $\Delta T$  o 1 K

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V} \frac{1}{\Delta T} \quad (5)$$

$$|\alpha| = 1/K$$

Lepkość – jest to właściwość płynu wynikająca z tarcia wewnętrznego (płyn stwarza opór przemieszczaniu się jego cząstek względem siebie). Powstają przy tym siły styczne, które można traktować jako siły tarcia podczas wzajemnego przesuwania warstw płynu po sobie. Lepkość występuje tylko w czasie ruchu względnego sąsiednich warstw płynu i zanika wraz z ustaniem ruchu. Jeśli rozpatrywać ruch elementarnych warstw cieczy względem siebie, to siła tarcia  $T$  między tymi warstwami jest proporcjonalna do powierzchni styku  $A$  warstw i do gradientu prędkości względnej  $g$  warstw

$$T = \mu A \frac{dg}{dy} \quad (6)$$

$$|\mu| = Pa \cdot s$$

Wzór (6) podany przez Newtona wyraża prawo tarcia międzycząsteczkowego w płynach. Płyny, dla których słuszna jest powyższa relacja nazywane są płynami „newtonowskimi”.

Występujący we wzorze współczynnik proporcjonalności  $\mu$  jest określany jako dynamiczny współczynnik lepkości (lepkość dynamiczna).

Iloraz dynamicznego współczynnika lepkości przez gęstość nazywa się kinematycznym współczynnikiem lepkości (lepkość kinematyczna)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (7)$$

$$|\nu| = m^2/s$$

Lepkość zależy od rodzaju płynu, jego temperatury i nieznacznie od ciśnienia. Dla płynu „newtonowskiego” nie zależy od prędkości ani gradientu prędkości.

Oprócz podanych wyżej miar lepkości stosowane jest również oznaczenie tkz. lepkości względnej. Lepkość względna wyrażona jest stosunkiem czasu wypływu badanej cieczy do czasu wypływu cieczy wzorcowej o znanej lepkości. Są to lepkości wyrażone np. w jednostkach Englera.

### 3. Parametry stanu płynu

Podstawowymi parametrami określającymi stan płynu są: temperatura, ciśnienie i wilgotność.

W cieczech wpływ ciśnienia jest w większości przypadków pomijany, jako nieznaczny (np. gęstość i lepkość cieczy zmieniają się w znaczny sposób dopiero przy wysokich ciśnieniach). Istotny jest wpływ zmian temperatury na gęstość cieczy.

W gazach (płyny ściśliwe) wpływ wymienionych parametrów jest poważny. Objętość gazu silnie zależy od ciśnienia i temperatury. Związek pomiędzy tymi wielkościami zawiera w fizyce równanie stanu gazu (Clapeyrona)

$$p \vartheta = \frac{P}{\rho} = RT \quad (8)$$

gdzie:  $p$  - ciśnienie absolutne,  $\vartheta$  - objętość właściwa,  $\rho$  - gęstość,  $R$  - indywidualna stała gazowa, dla powietrza  $R = 287 \frac{m^2}{(s^2 \cdot K)}$ ,  $T$  - temperatura bezwzględna.

Aby objętość gazu jednoznacznie świadczyła o ilości materii, konieczne jest podawanie każdorazowo wartości ciśnienia i temperatury. Dla celów porównawczych w technice wprowadzono umowne warunki odniesienia względem ciśnienia i temperatury (warunki normalne). Warunki normalne – są to przyjęte umownie wartości ciśnienia i temperatury. Rozróżnia się:

- warunki normalne fizyczne z wartościami  $p = 10,13 \cdot 10^4 Pa$ ;  $t = 0^0 C(273K)$ ,
- warunki normalne techniczne z wartościami  $p = 9,81 \cdot 10^4 Pa$ ;  $t = 20^0 C(293K)$ .

W technice przeliczanie objętości gazu na warunki odniesienia (redukcja objętości) konieczne jest zawsze, np. przy sumowaniu objętości gazu w bilansach.

Ważnym parametrem stanu powietrza jest zawartość pary wodnej, nazywana również stopniem wilgotności powietrza. Znajomość wartości tego parametru uwidacznia się np. w przygotowaniu sprężonego powietrza dla układów pneumatycznych, określeniu warunków klimatycznych pomieszczeń, prognozowaniu pogody. Do oceny stopnia wilgotności stosuje dwie wielkości:

- wilgotność bezwzględna – określa ilość pary wodnej w gramach zawartej w  $1 m^3$  powietrza, przy określonym jego ciśnieniu i temperaturze. Wilgotność bezwzględna nie stanowi dostatecznej miary zdolności zwilżania przedmiotów, tworzenia opadów, szybkości parowania. Z tego względu posługujemy się często pojęciem wilgotności względnej.

Wilgotność względna – określa stosunek ilości pary zawartej  $1 m^3$  powietrza, przy określonym ciśnieniu i temperaturze, do ilości pary wodnej maksymalnie możliwej do pochłonięcia w tych warunkach przy pełnym nasyceniu powietrza. Stosunek ten zwykle podaje się w procentach.

Ciśnienie – skalarna wielkość fizyczna, charakteryzująca stan napięcia ośrodka w danym punkcie, wyrażona jest stosunkiem siły  $F$  działającej prostopadle na jednostkę pola powierzchni  $A$  ośrodka

$$p = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Jednostką ciśnienia w układzie jednostek SI jest paskal  $1Pa = 1 \frac{N}{m^2}$  lub jednostki krotne (np.

$hPa = 10^2 Pa$ ,  $kPa = 10^3 Pa$ ,  $MPa = 10^6 Pa$ ,  $dPa = 10^{-1} Pa$ ).



Pojęciem ciśnienia posługujemy się we wszystkich przypadkach, gdzie wynik działania siły zależy nie tylko od jej wielkości, ale i od powierzchni, na którą ta siła działa np. ciśnienie działające na tłok silownika.

Jako ciśnienie odniesienia (równe zero) przyjmuje się ciśnienie mierzone względem próżni bezwzględnej (ciśnienie absolutne lub bezwzględnie)  $p$ .

Ciśnienie wywierane przez atmosferę ziemską nazywane jest ciśnieniem atmosferycznym lub barometrycznym  $p_b$

Ciśnienie względne to:

- nadciśnienie  $p_n$ , będące nadwyżką ciśnienia absolutnego ponad ciśnienie barometryczne

$$p_n = p - p_b \quad (10)$$

- podciśnienie  $p_v$ , stanowiące różnicę między ciśnieniem barometrycznym a ciśnieniem absolutnym

$$p_v = p_b - p \quad (11)$$

Do pomiaru ciśnienia w cieczech i gazach stosujemy manometry.

4. Równanie Bernoulliego – suma ciśnienia i całkowitej energii mechanicznej płynu jest wielkością stałą w każdym punkcie rurki prądu płynu

$$\rho gh + \frac{\rho v^2}{2} + p = const \quad (12)$$

Prawo zachowania energii podane w roku 1738 przez Daniela Bernoulliego, odnosi się do przepływu płynów nieściśliwych (o stałej gęstości) i nielepkich (nieznaczące siły tarcia lub ich brak). Podaje wzajemną zależność między pracą a energią. Wyraz pierwszy wyraża energię potencjalną położenia, wyraz drugi – energię kinetyczną płynu, a trzeci – energię ciśnienia. Znajduje zastosowanie np. w wyznaczeniu prędkości przepływu płynu na podstawie pomiarów ciśnienia, obliczeniu spadku ciśnienia na określonej wysokości itd.

5. Przepływ płynów.

Liczba Reynoldsa- jest kryterium określającym rodzaj przepływu (laminarny, turbulentny) wyraża się ją równaniem

$$R_e = \frac{c \cdot D}{\nu} \quad (13)$$

gdzie:

$c$  - prędkość przepływu płynu  $\frac{m}{s}$ ;  $D$  - średnica przewodu  $m$ ;  $\nu$  - lepkość kinematyczna  $\frac{m^2}{s}$

Liczba Reynoldsa jest bezwymiarowa. Dla przepływu w rurciągach gładkich przepływ jest laminarny, jeżeli  $R_e < 2320$ . Przepływ turbulentny występuje, jeżeli  $R_e > 3000$ . Dla wartości liczby  $R_e$  od 2320 do 3000 przepływ ma charakter przejściowy od laminarnego (uwarstwionego) do turbulentnego (burzliwego). Liczba Reynoldsa określa podobieństwo przepływu. Przepływy są podobne, jeżeli odpowiednie liczby Reynoldsa posiadają jednakową wartość. Rodzaj przepływu decyduje o wielu zjawiskach na przykład o wielkości oporów przepływu, a także o intensywności wymiany ciepła.

Natężenie przepływu płynu:

- objęściowe natężenie przepływu (strumień objętości, wydatek objętościowy) – objętość płynu, jaka przepływa przez przekrój poprzeczny przewodu w jednostce czasu,
- masowe natężenie przepływu (strumień masy, wydatek masowy) to masa płynu, jaka przepływa przez przekrój poprzeczny przewodu w jednostce czasu.

Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynów za pomocą zwojek pomiarowych reguluje norma ( PN-93/M-53950/01).

#### 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Określ pojęcie płynu?
2. Jakie są własności płynu?
3. Co to jest gęstość płynu?
4. Co to jest lepkość płynu?
5. Co to jest ściśliwość płynu?
6. Jakie znaczenie ma stopień wilgotności powietrza w technice wytwarzania sprężonego powietrza?
7. Podaj sens fizyczny równania Bernoulliego?
8. Co to jest liczba Reynoldsa?
9. Co oznaczają pojęcia „przepływ laminarny” i „przepływ turbulentny”?
10. Co to jest strumień masy i strumień objętości płynu?

#### 4.4.3. Ćwiczenia

Na tym etapie kształcenia zostanie przedstawiona propozycja projektu (problemu do rozwiązania). W tej sferze istotne jest wykorzystanie tekstowych i pozatekstowych źródeł informacji. Do realizacji projektu zalecane jest wykorzystanie: komputera, edytorów graficznych i tekstu, archiwizacji zbiorów, bazy danych, arkuszy kalkulacyjnych.

Projekt 1.

Opis do projektu. Urządzenia transportowe spełniają bardzo ważną rolę w każdym procesie produkcyjnym. Jednym z rodzajów urządzeń transportowych są przenośniki. Są to środki transportu o ruchu ciągłym, służące do przemieszczania materiałów w formie rozdrobnionej lub w postaci pojedynczych ładunków. Wśród przenośników wyróżnić można między innymi przenośniki pneumatyczne. W przenośnikach tych nośnikiem rozdrobnionego materiału jest najczęściej powietrze (gaz). Transport pneumatyczny należy do nowoczesnych sposobów masowego transportu zarówno materiałów sypkich jak i w kawałkach.

Część teoretyczna: dokonaj analizy podstawowych wielkości charakteryzujących przepływ w transporcie pneumatycznym.

Część praktyczna: przedstaw w dowolny sposób praktyczną realizację wybranego przenośnika pneumatycznego.

#### 4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) określić pojęcie płynu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić jakie są własności płynów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić pojęcie gęstości płynu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić pojęcie lepkości płynu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić pojęcie ściśliwości płynu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić pojęcie wilgotności?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić pojęcie ciśnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 8) podać sens fizyczny równania Bernoulliego?
- 9) określić co to jest liczba Reynoldsa?
- 10) określić co oznaczają pojęcia „przepływ laminarny” i „przepływ turbulentny”?
- 11) odróżnić pojęcia „natężenie strumienia masy” i „natężenie strumienia objętości” w przepływach płynu?

## 4.5. Przetworniki pomiarowe

### 4.5.1. Materiał nauczania

#### 1. Wprowadzenie.

Sterowanie procesem technologicznym wymaga ciągłej lub okresowej informacji o parametrach wielkości zmieniających się w czasie trwania procesu, a charakteryzujących jego przebieg. Źródłem takich informacji jest urządzenie pomiarowe. W urządzeniu pomiarowym wyróżniamy dwa podzespoły: czujnik pomiarowy i przetwornik pomiarowy.

Czujnik – służy do przetworzenia wielkości mierzonej (temperatura, ciśnienie, przemieszczenie, siła itd.) na wielkość pośrednią (przyrost rezystancji, siłę termoelektryczną, zmianę położenia suwaka potencjometru itd.).

Przetwornik pomiarowy – przetwarza wielkość pośrednią na znormalizowany sygnał wyjściowy elektryczny, pneumatyczny lub hydrauliczny.

#### 2. Czujniki

Czujniki klasyfikuje się według różnych kryteriów. W metrologii na przykład uzasadnione jest łączne omawianie czujników danej wielkości fizycznej (np. temperatury), opartych na różnych zasadach fizycznych pomiaru, niezależnie od rodzaju wyjścia.

W automatyce funkcjonuje podział według wielkości wyjściowej czujnika. Podział taki jest dogodny dla omawiania układów pomiarowych, w których one pracują. Z tego względu wyróżnia się czujniki o wyjściu elektrycznym i nieelektrycznym.

Czujniki o wyjściu elektrycznym można podzielić na bierne i czynne.

Czujnik bierny (parametryczny) przetwarza zmianę wielkości mierzonej na zmianę parametru obwodu elektrycznego (R, L, C, M). Na przykład termorezystor przetwarza zmianę temperatury na zmianę rezystancji.

Czujnik czynny (generacyjny) przetwarza wielkość mierzoną na siłę termoelektryczną, natężenie prądu elektrycznego lub ładunek. Na przykład termoelement przetwarza zmianę temperatury na zmianę siły termoelektrycznej.

Czujniki o wyjściu nieelektrycznym przetwarzają wielkość fizyczną na sygnał nieelektryczny. Przykładem może być termometr bimetaliczny.

Termometr bimetaliczny (rozszerzalnościowy) wykonany jest z dwóch spojonych ze sobą pasków metali (np. poprzez zgrzewanie, zwalcowanie) o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej. Wskutek ogrzewania następuje większe wydłużenie warstwy czynnej (o większym współczynniku rozszerzalności cieplnej) i wygięcie termobimetali w kierunku warstwy o mniejszym współczynniku cieplnym (warstwa bierna). Na warstwę bierną termobimetali o temperaturze pracy do 200<sup>0</sup>C najczęściej stosuje się invar (stop żelaza i niklu o zawartości 36 % niklu), który ma bliski zeru współczynnik rozszerzalności cieplnej. W przypadku wyższej temperatury pracy stosuje się stopy żelaza z niklem o zawartości Ni ponad 42%. Na warstwę czynną stosuje się zwykle wysokostopową stal nierdzewną, mosiądz, tombak. Termobimetale mają wiele zalet. Są tanie, lekkie, mają małą bezwładność cieplną, odporne na wstrząsy. Do wad można zaliczyć: duży rozrzut

charakterystyki (zależności odkształcenia od zmiany temperatury), trudna technologia wykonania blach i taśm bimetalowych. Termobimetale znalazły zastosowanie w układach kompensujących zmiany długości, siły, ciśnienia itp., powodowane zmianami temperatury, zabezpieczeniach nadmiarowo – prądowych i innych układach zwłoczných, jako elementy urządzeń termoregulacyjnych np. regulatora dwustawnego (np. w sprężenie AGD – żelazko, czajnik).

Przykładem czujnika o wyjściu elektrycznym biernym są termorezystory w których wykorzystuje się zjawisko zmiany rezystancji metali, półprzewodników i innych materiałów od temperatury. W przemysłowych zastosowaniach najczęściej używa się termorezystory metalowe RTD (ang. Resistance Temperature Detector).

Wykorzystują one zależność zmian rezystancji metali w funkcji temperatury. Zmiany te opisywane są równaniem:

$$R_t = R_0(1 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n) \quad (14)$$

gdzie:

$t$  – temperatura w  $^{\circ}\text{C}$ ,

$R_t, R_0$  – rezystancje termorezystora odpowiednio w temperaturach  $t$  i  $0^{\circ}\text{C}$ ,

$a_1 \dots a_n$  - cieplne współczynniki rezystancji odpowiednio pierwszego, drugiego i  $n$  – stopnia.

Liczba współczynników w równaniu (5.1) zależy od materiału, zakresu temperatur i wymaganej dokładności.

Pomiar temperatury czujnikiem termorezystancyjnym polega na zmierzeniu rezystancji czujnika umieszczonego w badanym ośrodku. Zmiana rezystancji jest określona średnim współczynnikiem  $\alpha$  wyznaczonym doświadczalnie dla danego metalu

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} \quad (15)$$

gdzie:

$t, t_0$  - temperatura odpowiednio  $t = 100^{\circ}\text{C}$  i  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ,

$R_t, R_0$  – rezystancje termorezystora odpowiednio w temperaturach  $t = 100^{\circ}\text{C}$  i  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$

Materiał, który ma być wykorzystany do wykonania czujnika temperatury powinien charakteryzować się: stałością charakterystyki rezystancji funkcji temperatury, dużym współczynnikiem temperaturowym rezystancji, odpornością na wpływy czynników zewnętrznych, prostą technologią umożliwiającą uzyskanie czujników o powtarzalnych parametrach. Własności wybranych metali przedstawia tabela. 1.

**Tabela. 1.** Własności metali stosowanych do budowy czujników termorezystancyjnych

Nazwa metalu	Temperatura topnienia w $^{\circ}\text{C}$	Rezystywność $\rho$ w $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ w temperaturze $20^{\circ}\text{C}$	Współczynnik temperaturowy rezystancji $\alpha$ w $1 / ^{\circ}\text{C}$ w zakresie $0 \div 100^{\circ}\text{C}$	Zakres pomiarowy w $^{\circ}\text{C}$
Platyna	1774	0,11	0,0039	- 200 ÷ + 850
Nikiel	1453	0,12	0,0063	- 60 ÷ + 250
Miedź	1084	0,017	0,0043	- 200 ÷ + 150

Termorezystor opisuje się przez oznaczenie metalu z jakiego jest wykonany oraz wskazanie nominalnej wartości jego rezystancji  $R = 100 \Omega$  w temperaturze  $t = 0^{\circ}\text{C}$  (np. Cu 100, Ni 100, Pt 100). Do wykonania termorezystorów można użyć różnych metali (np. miedzi, niklu, platyny), aczkolwiek współcześnie najczęściej stosuje się platynę. Ten szlachetny metal o dużej rezystywności nie tworzy związków chemicznych zmieniających jego własności. Termorezystory z tego metalu (Pt – RTD) posiadają dużą:

- powtarzalność – jest zdolnością czujnika do powtarzania wskazań w tych samych warunkach,

- stabilność – jest zdolnością czujnika do zachowania spójnych wskazań przy tej samej temperaturze (stałość charakterystyki) w dłuższych odstępach czasu,
- dokładność.

Norma IEC 751(International Electrotechnical Commission) wyznacza dwie klasy tolerancji dla czujników RTD:

- klasa A:  $\Delta t = \pm(0,15^{\circ}\text{C} + 0,002 \cdot |t|)$  tylko zakresu  $-200^{\circ}\text{C} \div 650^{\circ}\text{C}$ , dla RTD 2 i 3 przewodowych,
- klasa B:  $\Delta t = \pm(0,30^{\circ}\text{C} + 0,005 \cdot |t|)$  dla całego zakresu  $-200^{\circ}\text{C} \div 850^{\circ}\text{C}$ .

Wadą termorezystorów Pt-RTD są stosunkowo duże rozmiary sondy oraz konieczność stosowania układów nieczułych na rezystancję wyprowadzeń.

Istnieją dwa sposoby wykonania termorezystorów platynowych. Pierwszy z nich polega na nawinięciu na rdzeniu izolacyjnym (np. z miki, ceramicznym, szkła, kwarcu)) odcinka drutu platynowego o średnicy 0,03...0,2 mm. Drugi polega na umieszczeniu na podłożu ceramicznym ścieżki oporowej metodą naparowania w próżni lub technologii grubowarstwowej.

Pomiar temperatury z wykorzystaniem czujników termorezystancyjnych sprowadza się do pomiaru rezystancji jedną z metod stosowanych w miernictwie elektrycznym. Wybór odpowiedniego układu ma za zadanie zapewnić właściwą dokładność pomiaru. Gdy rezystancja przewodów jest pomijalnie mała można stosować układ dwuprzewodowy. Dla precyzyjnych pomiarów (jeżeli na przykład zaistnieje okoliczność zasilania długimi przewodami) należy stosować układ trzy lub czteroprzewodowy.

Charakterystyki termorezystorów podawane są zwykle w postaci tabelarycznej w normach lub poprzez podanie zależności  $R = f(t)$ .

Jak wspomniano termorezystory są czujnikami o wyjściu elektrycznym biernym (parametryczne) i określenie ich rezystancji wymaga pobudzenia prądem elektrycznym. Wiąże się to z nieuniknionym samoogrzewaniem się czujników (ciepło Joule'a) Zatem przez termorezystor nie może przepływać zbyt duży prąd, ponieważ powoduje to wydzielanie ciepła, które zwiększa temperaturę termorezystora i tym samym spowoduje błędne odczyty wartości na wyjściu.

Stosując termorezystory w systemach pomiarowych lub dokonując ich wymiany należy pamiętać o różnicach występujących pomiędzy normami poszczególnych państw lub normami specjalistycznymi.

Przykładem czujników o wyjściu elektrycznym czynnym (generacyjne) są termoelementy. Termoelementem lub termoparą jest układ dwóch różnych metali lub stopów metali połączonych ze sobą trwale na jednym końcu (spoina). Termopary przy zmianie temperatury na wejściu reagują zmianą siły termoelektrycznej na wyjściu. Ich siła termoelektryczna  $e_t$  jest w przybliżeniu proporcjonalna do różnicy temperatur  $(t - t_0)$

$$e_t \approx c(t - t_0) \quad (16)$$

gdzie:

$t$  – temperatura spoiny w  $^{\circ}\text{C}$ ,

$t_0$  – temperatura odniesienia (otoczenia) w  $^{\circ}\text{C}$ ,

$c$  - czułość termopary w  $\mu\text{V} / ^{\circ}\text{C}$ .

Współczynnik proporcjonalności  $c$  (czułość) określający siłę termoelektryczną przy różnicy  $1^{\circ}\text{C}$  wyznacza się doświadczalnie. Jego wartość zależna jest od rodzaju metali tworzących spoinę.

Metalom i stopom, stosowanym do budowy termoelementów, stawia się duże wymagania. Termoelement powinien charakteryzować się: liniowością, powtarzalnością i stałością charakterystyki  $e = f(t - t_0)$ , dużą czułością, odpornością na wpływy czynników zewnętrznych, niskim kosztem.

Wadą termopary (w porównaniu z termometrem oporowym) jest konieczność utrzymywania złącza odniesienia w stałej temperaturze i nieco mniejsza dokładność. Tolerancje (klasa 1, 2 i 3) dla poszczególnych termoelementów wyznacza norma (PN – EN 60584 -2:1997).

Termoelementy praktycznie cechuje się przez porównanie ze wskazaniem termoelementów wzorcowych lub według tak zwanych podstawowych punktów stałych przy wykorzystaniu określonych i stałych wartości krzepnięcia czystych metali. W pomiarach temperatury termoparami przy wymaganej dużej dokładności należy uwzględnić błąd wynikający ze zmiany temperatury złącza (podgrzewanie lub oziębianie wskutek przepływu prądu przez złącze).

Termoelementy opisuje się przez oznaczenie literowe. Od właściwego podłączenia elektrod (plus / minus) termoelementu zależy prawidłowość wskazań na wyjściu. Stąd oplot z odpowiednim kolorem przewodów doprowadzających oznacza odpowiednią polaryzację.

Najczęściej stosowane termoelementy oraz ich parametry zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Termoelementy i ich wybrane parametry

Oznaczenie literowe	Skład chemiczny		Kolor przewodów		Zakres temperatur [°C]	Czułość [ $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ ] w temperaturze $^\circ\text{C}$	Siła termoelektryczna przy skrajnych granicach temperatury [mV]
	+	-	+	-			
J	Fe	Cu-Ni	czarny	biały	- 200 ÷ 1200	52	- 8,095 ÷ 69,553
K	Ni-Cr	Ni-Al	zielony	biały	- 270 ÷ 1372	39,5	- 6,458 ÷ 54,886
T	Cu	Cu-Ni	brązowy	biały	- 270 ÷ 400	38,5	- 6,258 ÷ 20,872
E	Ni-Cr	Cu-Ni	fioletowy	biały	- 270 ÷ 1000	x	- 9,835 ÷ 76,373
N	Ni-Cr-Si	Ni-Si-Mg	różowy	biały	- 270 ÷ 1300	x	- 4,345 ÷ 47,513
R	Pt-Rh13	Pt	pomarańczowy	biały	- 50 ÷ 1768	x	- 0,226 ÷ 21,101
S	Pt-Rh10	Pt	pomarańczowy	biały	- 50 ÷ 1768	5,6	- 0,236 ÷ 18,693

Termorezystory i termoelementy dla przemysłowego użytku umieszcza się w osłonach, która zakończona jest głowicą z zaciski.

### 3. Przetworniki.

Urządzenie pomiarowe (zespół pomiarowy) służy do przetworzenia mierzonej wielkości fizycznej na inną wielkość fizyczną, nadając tej ostatniej znormalizowaną formę. Normalizacją sygnałów pomiarowych zajmują się międzynarodowe organizacje np. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO, Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna IEC, a przyjęte standardy są stosowane przez producentów aparatury pomiarowej, kontrolnej i sterowniczej. Tabela 3 ukazuje najczęściej spotykane sygnały standardowe.

**Tabela 3.** Najczęściej spotykane sygnały standardowe:

1.	Sygnały elektryczne:	
	prądu stałego	0 – 5 mA,
	prądu stałego	0 – 20 mA,
	prądu stałego	4 – 20 mA,
	napięcia stałego	- 10..0..+10 V,
	napięcia stałego	- 15..0..+15 V,
	napięcia stałego	0 – 5 V,
	napięcia stałego	0 – 10 V,
2.	Sygnały pneumatyczne:	20 – 100 kPa

Urządzenia hydrauliczne współpracują bezpośrednio z czujnikami o wyjściu siłowym, więc sygnał hydrauliczny nie wymaga standaryzacji.

Współczesne przetworniki pracując w różnych zastosowaniach przemysłowych, kojarzone są w zależności od procesu technologicznego przez sygnały elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne.

Przetworniki dzielą się na pomiarowe i sygnałowe.

Przetwornik pomiarowy zamienia wielkość pośrednią otrzymaną z czujnika na znormalizowany sygnał wyjściowy.

Przetworniki sygnałowe mają standardowe sygnały wejściowe i wyjściowe i służą głównie do zmiany sygnałów standardowych lub wprowadzenia oddzielenia galwanicznego. Do nich można również zaliczyć przetworniki międzysystemowe zamieniające np. standardowy sygnał pneumatyczny na standardowy sygnał elektryczny lub odwrotnie. Przykładem są przetworniki typu  $p / I$  (przetwarzają ciśnienie na natężenie prądu elektrycznego).

W przetwornikach o elektrycznym sygnale wyjściowym (np. typu  $p/I$ ,  $U/I$ ,  $R/I$ ,  $\Delta l / I$ ) istotne jest określenie rezystancji w pętli standardowego sygnału wyjściowego. Jeśli nie określimy odpowiedniej wartości rezystancji urządzenie może ulec uszkodzeniu. Oblicza się ją, korzystając z prawa Ohma

$$R = \frac{U}{I} \quad (17)$$

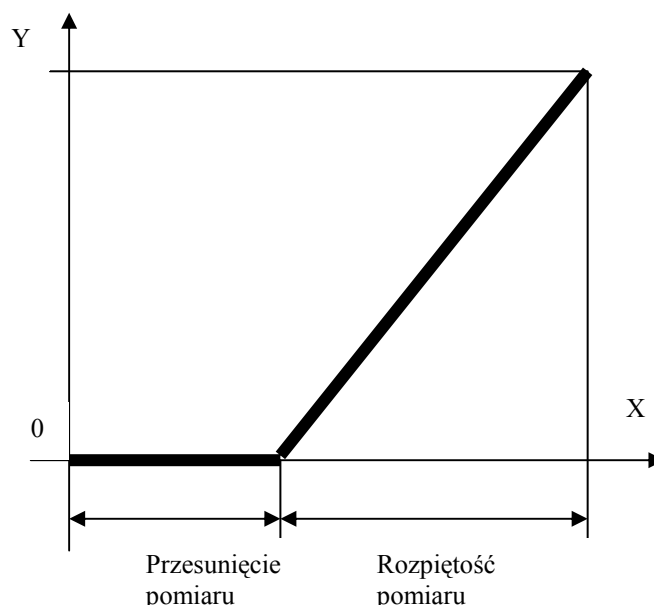
Na przykład dla wartości napięcia  $U = 10V$ , rezystancja pętli prądowej przy standardzie  $I = 4 - 20mA$  wyniesie odpowiednio  $R = 2,5k\Omega$  dla  $I = 4mA$  i  $R = 500\Omega$  dla  $I = 20mA$ .

Obwody wejściowe przetworników małych napięć zawierają zwykle układy kompensacji zmian temperatury wolnych końców termoelementu (mostek kompensacyjny) a przystosowane do podłączenia termorezystorów mają przyłącza dwu-, trój- lub czteroprzewodowe, stąd istotna jest umiejętność łączenia tych czujników.

W elektrycznych i elektronicznych przetwornikach pomiarowych i sygnałowych stosuje się w większości układy ze sprzężeniem zwrotnym (od sygnału: prądowego, napięciowego) a także pełną separację galwaniczną obwodów wejściowych od wyjściowych. W elektronicznych przetwornikach mikroprocesorowych separację taką zapewniają np. transoptory. Wśród przetworników wyróżnia się grupę przetworników dwuprzewodowych. Przewody zasilające tych przetworników są jednocześnie przewodami sygnałowymi. Przetworniki te mogą pracować tylko z sygnałem standardowym  $4 \div 20mA$ . Przetworniki tego typu znalazły zastosowanie w iskrobezpiecznych systemach automatyki.

Przetworniki pracują najczęściej w trudnych warunkach, w ruchu ciągłym. Od nich wymaga się dużej niezawodności, odporności na zakłócenia i uszkodzenia mechaniczne, oraz stabilności parametrów metrologicznych w czasie. Wymagania stawiane przetwornikom są podobne do tych, jakie stawia się czujnikom pomiarowym np.:

- a) liniowość, powtarzalność, stałość w czasie charakterystyki statycznej,
- b) brak histerezy charakterystyki statycznej,
- c) duża czułość i mały błąd przetwarzania,
- d) dobre własności dynamiczne (mała stała czasowa).



**Rys. 13.** Charakterystyka statyczna przetwarzania przetwornika  $y = f(x)$ ,  $x$  – sygnał wejściowy,  $y$  – sygnał wyjściowy

Przetworniki przechodziły kolejne przeobrażenia techniczno – konstrukcyjne. Współczesne konstrukcje przetworników pomiarowych oparte są na wykorzystaniu techniki mikroprocesorowej. Dobór przetwornika do danego układu sprowadza się do wybrania odpowiedniej konfiguracji, a następnie dokonania jego parametryzacji. Czynności te można wykonać przy pomocy przycisków umieszczonych na płycie czołowej przetwornika, dodatkowego terminala lub przy pomocy komputera poprzez transmisję szeregową (np. poprzez RS232 lub RS485) i odpowiedni program. Zakłady produkujące przetworniki nadają ostatnio nową jakość wyrobom. Zastosowanie produktów programowych współpracujących z przyrządem czy specjalną kartą pomiarową umożliwiło realizację nowych przetworników (przyrządów) nazwanych początkowo PC- Instruments, a obecnie przyrządami wirtualnymi (Virtual Instruments).

#### 4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Dlaczego w układach automatyki stosuje się standardowe sygnały?
2. Jakie sygnały standardowe są stosowane w układach automatyki?
3. Jaka jest budowa i zasada działania termoelementu, termorezystora (czujników o wyjściu elektrycznym)?
4. Jaka jest budowa i zasada działania czujnika termobimetalowego (o wyjściu nieelektrycznym)?
5. Co oznaczają nazwy Pt100, J, K?
6. Dlaczego wyprowadzenia termoelementów oznacza się kodem kolorów?
7. Jaki wpływ ma temperatura otoczenia na wyniki pomiarów metodami elektrycznymi?
8. Dlaczego w przetwornikach zależy nam na uzyskaniu liniowej charakterystyki statycznej?
9. W jaki sposób przetwornik typu p/I (ciśnienie / natężenie prądu elektrycznego) może reagować na zanik sygnału wejściowego lub wyjściowego?



### 4.5.3. Ćwiczenia

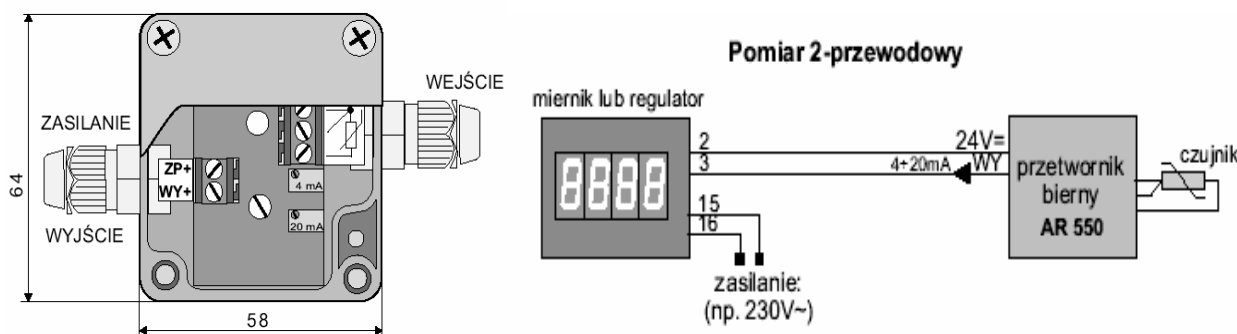
#### Ćwiczenie 1

W procesie badania wskazanego przetwornika rys 14 a i b (poniżej):

- dokonać pomiaru natężenia prądu elektrycznego funkcji przyrostu temperatury w zakresie od  $t_0 = 0^{\circ}C$  (lód) do  $t_1 = 100^{\circ}C$  (wrzątek),
- sporządzić charakterystykę  $I = f(t)$  dla przetwornika,
- zamodelować możliwe zakłócenia w pracy układu.

a)

b)



**Rys. 14.** Przetwornik (AR 550/P3/Z3 firmy APAR), a – widok przetwornika z rozmieszczeniem kostek zaciskowych i regulacji, b – sposób podłączenia przetwornika z czujnikiem Pt 100 (3 przewodowy) i odbiornikiem sygnału wyjściowego (miernikiem lub regulatorem).

źródło: Mikulezycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

W pomiarach należy wykorzystać czujnik z wodą i lodem dla zapewnienia  $t_0 = 0^{\circ}C$  (temperatura topnienia lodu) i kuchenkę elektryczną umożliwiającą dostarczanie energii cieplnej uzyskanie temperatury wrzenia wody  $t_1 = 100^{\circ}C$ .

Sposób wykonania ćwiczenia:

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z informacjami zawartymi w treści zadania,
- 2) zapoznać się z dokumentacją producenta,
- 3) wyszczególnić zagrożenia i zasady BHP których należy przestrzegać podczas procesu badania przetwornika,
- 4) ustalić sposób pomiaru temperatury i natężenia prądu elektrycznego,
- 5) ustalić wartości znamionowe: przetwornika prądu, napięcia, rezystancji w pętli prądowej oraz rodzaj napięcia zasilania (stały, przemienny),
- 6) ustalić rodzaj i parametry czujnika realizującego pomiar temperatury dla wybranego przetwornika,
- 7) określić: sposób montażu, uruchomienia, warunków pracy, serwisu, szczególne zalecenia w zakresie obsługi i bezpieczeństwa,
- 8) określić zapotrzebowanie np. na: materiały, narzędzia, elementy układu, zasilacz, aparaturę kontrolno-pomiarową i regulacyjną, przetwornik i inny sprzęt,
- 9) zadbać o bezpieczeństwo swoje i osób współpracujących,
- 10) pobrać wymienione wyżej z miejsca składowania na podstawie zapotrzebowania oraz sprawdzić ich kompletność i jakość na stanowisku,
- 11) odczytać i wypisać dane z tabliczki znamionowej,

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

- 12) porównać dane z tabliczki znamionowej z danymi podanymi przez producenta w dokumentacji przetwornika (instrukcja obsługi, karty katalogowe, Dokumentacja Techniczno- Ruchowa DTR, katalogi, ulotki producenta, itp.),
- 13) wskazać ewentualne różnice i dokonać analizy rozbieżności (na tej podstawie formułować wnioski),
- 14) zestawić układ pomiarowy do badania przetwornika według instrukcji (w pierwszej kolejności łączyć obwód prądowy, następnie napięciowy),
- 15) przygotować czajnik z wodą i lodem dla zapewnienia pomiaru temperatury początkowej ok.  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ,
- 16) umieścić w czajniku czujnik Pt – 100 (3 przewody) i sondę pomiarową termometru cyfrowego,
- 17) wykonać czynności przygotowawcze do wykonania pomiarów i zapisu parametrów (układ przed uruchomieniem powinien być sprawdzony przez prowadzącego zajęcia),
- 18) włączyć badany układ i kuchenkę elektryczną do źródła zasilania,
- 19) mierzyć parametry (z zachowaniem środków ostrożności)  $I = f(t)$  poprzez zmianę dopływu energii cieplnej do czajnika, w zakresie zmian temperatury od  $t = 0 \div 100^{\circ}\text{C}$ ,
- 20) wyłączyć kuchenkę elektryczną z chwilą uzyskania temperatury wrzenia wody,
- 21) wyłączyć badany układ,
- 22) zgłosić prowadzącemu gotowość przystąpienia grupy ćwiczącej do zamodelowania zakłóceń,
- 23) załączyć ponownie układ bez konieczności ponownego sterowania dopływem energii cieplnej do czajnika,
- 24) sprawdzić działanie przetwornika po wprowadzeniu zakłóceń (np. brak zasilania, zwarcie czujnika, dołączony szeregowo w obwód czujnika Pt -100 dodatkowy rezystor, gwałtowne oziębienie się obiektu (np. przez wrzucenie kolejnej porcji lodu),
- 25) rozpoznać przyczynę powstałych zakłóceń i ich skutków w pracy przetwornika,
- 26) wyłączyć zasilanie i zdemontować układ,
- 27) odnieść na miejsce składowanie materiały, narzędzia, elementy układu, zasilacz, aparaturę kontrolno-pomiarową i regulacyjną, przetwornik i inny sprzęt wykorzystany w procesie badania przetwornika,
- 28) uporządkować stanowisko badań,
- 29) wykreślić charakterystykę statyczną przetwornika  $I = f(t)$  z wykorzystaniem sprzętu komputerowego i odpowiedniego programu (np. Excel),
- 30) dokonać analizy wyników pomiaru,
- 31) sporządzić protokół z badań.

#### Wyposażenie stanowiska:

- przetwornik pomiarowy (np. AR 550/P3/Z2 firmy APAR) z kartą katalogową, instrukcją montażu i obsługi,
- termorezystor Pt100 (3 przewody) – zgodny z PN-83/M-53852,
- zestaw rezystorów,
- miliamperomierz magnetoelektryczny analogowy lub miernik uniwersalny cyfrowy,
- zasilacz stabilizowany DC ( $U=0 \div 48\text{V}$ ),
- czajnik metalowy z wodą pitną
- lód dla zapewnienia temperatury obiektu ok.  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ,
- kuchenka elektryczna z instrukcją obsługi i bezpieczeństwa w języku polskim,
- termometr cyfrowy przeznaczony do pomiarów temperatury powierzchniowej cieczy, gazów i powietrza z sondą pomiarową Pt 100 i z instrukcją obsługi w języku polskim,
- stanowisko komputerowe dla wykonania wykresów parametrów  $y = f(x)$  przetwornika,
- podstawowe narzędzia do montażu,
- przewody zasilające,

- sieć przemysłowa AC = 230 V,
- zestaw instrukcji dla potrzeb wykonania ćwiczenia,
- wprowadzenie teoretyczne do instrukcji dla potrzeb samokształcenia kierowanego,
- katalogi firmowe czujników i przetworników przemysłowych,
- katalogi ogólnotechniczne,
- literatura ogólnotechniczna i dotycząca tematu (biblioteka podręczna pracowni),
- multimedia dotyczące czujników i przetworników przemysłowych i ukazujące miejsca instalacji czujników i przetworników w przemyśle.

#### 4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wskazać cel stosowania w UAR standardowych sygnałów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić jakie sygnały standardowe i jakie ich wartości stosowane są w układach automatyki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać budowę i zasadę działania czujników o wyjściu elektrycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać budowę i zasadę działania termobimetalu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) dobrać termoelement do wymaganej temperatury pracy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) uzasadnić potrzebę kodowania kodem kolorów wyprowadzeń termoelementów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) obliczyć wartość rezystora w pętli prądowej na wyjściu przetwornika typu ciśnienie /prąd?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) ocenić jaki wpływ ma temperatura otoczenia na wyniki pomiarów metodami elektrycznymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) uzasadnić dlaczego w przetwornikach zależy nam na uzyskaniu liniowej charakterystyki statycznej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić w jaki sposób przetwornik dowolnego typu może reagować na zanik sygnału wejściowego lub wyjściowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) rozróżnić przetworniki pomiarowe biorąc za podstawę do analizy sygnał wejściowy i wyjściowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.6. Rodzaje regulatorów

### 4.6.1. Materiał nauczania

Rodzaje regulatorów

Występujące w praktyce regulatory można sklasyfikować według różnych kryteriów m.in. według: rodzaju energii zasilającej, sygnałów występujących w regulatorze, charakteru zmian wielkości zadanej, liczbę sterowanych parametrów, ze względu na postać transmitancji.

1. Podział ze względu na rodzaj energii zasilającej:
  - a) regulatory bezpośredniego działania – nie korzystają ze źródeł energii pomocniczej. Energię potrzebną do sterowania obiektem czerpią z układu za pośrednictwem elementu pomiarowego(czujnika),
  - b) regulatory pośredniego działania – pobierają energię ze źródła pomocniczego i w zależności od rodzaju energii pomocniczej można wyróżnić:
    - regulatory elektryczne,
    - regulatory pneumatyczne,
    - regulatory hydrauliczne,

- mieszane (elektropneumatyczne, elektrohydrauliczne).
- 2. Podział ze względu na sygnały występujące w regulatorze:
  - a) analogowe (o wyjściu ciągłym i nieciągłym),
  - b) cyfrowe,
  - c) mieszane (analogowo – cyfrowe).
- 3. Podział ze względu na charakter zmian wielkości zadanej:
  - a) regulatory stałowartościowe – realizują zadanie regulacji wokół punktu pracy,
  - b) regulatory nadążne – realizują zadanie śledzenia sygnału zadanego przez sygnał wyjściowy z obiektu,
  - c) regulatory ekstremalne – nastawy regulatora dobiera się na podstawie optymalizacji zadanego wskaźnika jakości.
- 4. Podział ze względu na liczbę sterowanych parametrów:
  - a) jednoparametrowe,
  - b) wieloparametrowe.
- 5. Podział ze względu na postać transmitancji operatorowej:
  - a) proporcjonalne P,
  - b) całkujące I,
  - c) proporcjonalno – różniczkujące PD,
  - d) proporcjonalno – całkujące PI,
  - e) proporcjonalno – całkująco – różniczkujące PID.

Zasady regulacji wybranych regulatorów.

Poprawne działanie układu regulacji zależy od doboru odpowiedniego typu regulatora do obiektu regulacji. Wybrany typ regulatora określa zasadę regulacji tzn. zależność funkcyjną wiążącą sygnał odchyłki regulacji  $e(t)$  z wymuszeniem regulującym  $u(t)$ .

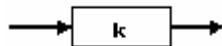
W regulatorach ciągłych zależność ta opiera się na proporcjonalności, całkowaniu i różniczkowaniu odchyłki  $e(t)$ . Możemy zatem uwzględnić konfigurację: P,PI,PD,PID. Oznaczenia poszczególnych typów regulatorów pochodzą od pierwszych liter angielskich nazw poszczególnych operacji (P – proportional, I – integration, D – differentiation).

Opisująca idealną strukturę regulatora transmitancja ma określoną postać i realizację w układzie blokowym:

- regulator P (proporcjonalny), realizuje mnożenie przez stały współczynnik

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k ; u(t) = k_p \cdot e(t) \quad (18)$$

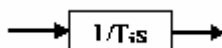
$e(t)$   $u(t)$



- regulator I (całkujący), realizuje całkowanie

$$G_R(s) = \frac{1}{T_i s} ; u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (19)$$

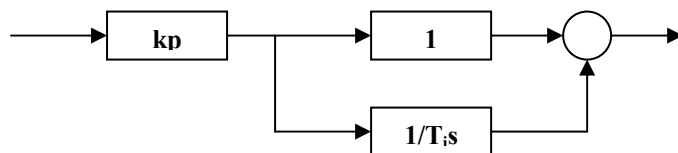
$e(t)$   $u(t)$



- regulator PI (proporcjonalno – całkujący)

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right); u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (20)$$

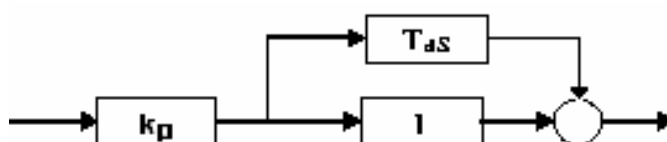
e(t) u(t)



- regulator PD( proporcjonalno – różniczkujący)

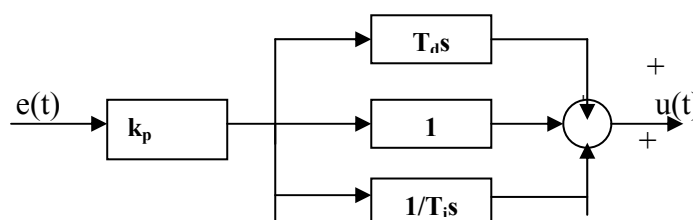
$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p (1 + T_d s); u(t) = k_p e(t) + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (21)$$

e(t) u(t)



- regulator PID (proporcjonalno – całkująco – różniczkujący):

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right); u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (22)$$



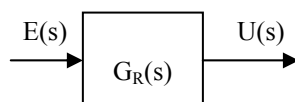
gdzie:

$k_p$  - współczynnik wzmocnienia (wzmocnienie proporcjonalne).

$T_i$  - czas zdwojenia (stała czasowa akcji całkującej),

$T_d$  - czas wyprzedzenia (stała czasowa akcji różniczkującej),

$G_R(s)$ - transmitancja operatorowa – wielkość zdefiniowana jako stosunek transformaty Laplace'a odpowiedzi  $U(s)$  do transformaty wymuszenia  $E(s)$ , przy zerowych warunkach początkowych.



Transmitancje regulatorów i odpowiedzi regulatora przy wymuszeniu skokowym i wymuszeniu liniowym przedstawia tabela 4.

Ze wzorów (18), (19) i (20) wynika, że dopóki na wejściu do regulatorów pojawia się niezerowa odchyłka regulacji  $e(t)$ , dopóty wymuszenie regulujące wzrasta. W praktyce oznacza to, że w przebiegach przejściowych układów z regulatorami o działaniu całkującym nie występuje

odchyłka statyczna (wielkość regulowana w stanach ustalonych pokrywa się z wielkością zadaną). Tej cechy nie mają układy z regulatorami bez działania całkującego (P, PD).

Współczynniki występujące w równaniach definiujących poszczególne regulatory nazywamy nastawami. Każdy regulator posiada charakterystyczny przedział zmienności parametrów nastaw  $k_p, T_i, T_d$ . Zwykle zamiast współczynnika wzmocnienia  $k_p$  regulatory mają skalowaną wartość zakresu proporcjonalności  $x_p$  wówczas

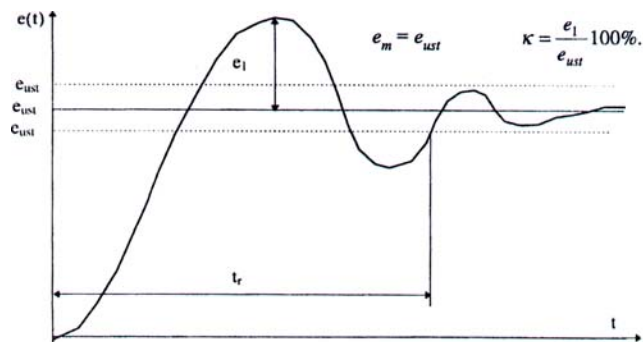
$$x_p = \frac{1}{k} \cdot 100\% . \quad (23)$$

Nastawy  $T_i$  i  $T_d$  regulatorów można określić na podstawie odpowiedzi układu na wymuszenie skokowe.

Do oceny jakości regulacji najczęściej stosuje się:

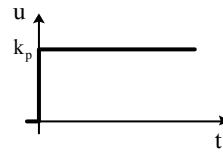
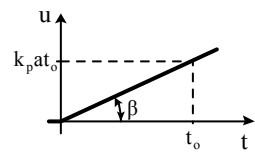
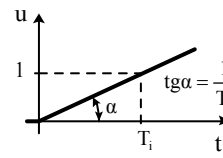
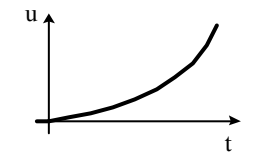
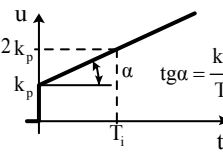
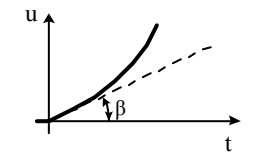
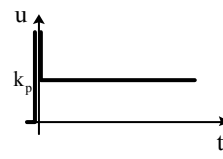
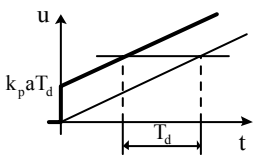
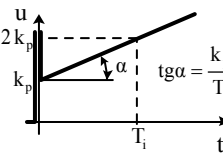
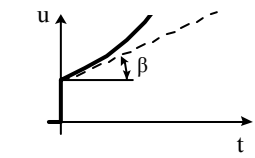
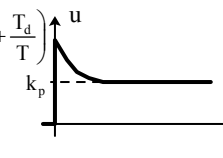
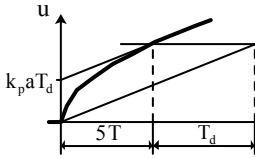
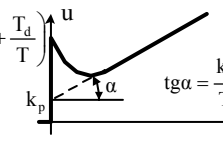
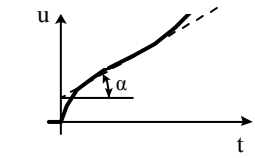
- czas regulacji – nazywa się czas liczony od chwili przyłożenia wymuszenia do chwili, po której odchylenie regulacji jest stałe, mniejsze od dopuszczalnych granic uchybu (zwykle przyjmuje się  $\pm 5\%$  uchybu ustalonego lub uchybu maksymalnego),
- odchylenie maksymalne uchybu regulacji  $e_{\max}$ ,
- przeregulowanie, które się określa jako

$$\kappa = \frac{e_1}{e_{\max}} 100\% \text{ lub } \kappa = \frac{e_1}{e_{ust}} 100\% \quad (24)$$



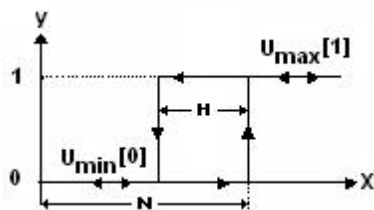
Rys. 15. Przebieg procesu regulacji ze wskaźnikami regulacji.

**Tabela 4.** Rodzaje regulatorów i odpowiedzi regulatora przy wymuszeniu skokowym i wymuszeniu liniowym.

Typ	Transmitancja $\frac{U(s)}{E(s)}$	Charakterystyka przy wymuszeniu skokowym $e = 1$	Charakterystyka przy wymuszeniu liniowym $e = at$
<b>P</b>	$k_p$		
<b>I</b>	$\frac{1}{T_i s}$		
<b>PI</b>	$k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$		
<b>PD</b>	$k_p (1 + T_d s)$		
<b>PID</b>	$k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$		
<b>PD</b>	$k_p \left(1 + \frac{T_d s}{T s + 1}\right)$ reg. rzeczywisty		
<b>PID</b>	$k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T s + 1}\right)$ reg. rzeczywisty		

Regulatory dwustanowe (dwustawne, dwupołożeniowe).

W regulatorach dwustanowych (regulatory nieciągłe) człon wykonawczy nie jest nastawiany proporcjonalnie do sygnału uchybu, lecz jest przełączany skokowo. W regulatorze tym działa element o charakterystyce zawierającej strefę nieczułości  $N$  i pętlę histerezy o szerokości  $H$  (rysunek 16). Zmiana stanu  $y$  od 0 (wyłączone) do 1 (załączone) następuje gdy wielkość  $x$  rośnie i osiągnie wartość  $N$ . Dalszy wzrost  $x$  nie spowoduje już zmiany stanu  $y=1$ . Zmiana stanu  $y$  od 1 do 0 następuje, gdy wielkość  $x$  maleje i osiągnie wartość  $N-H$ . Dalszy spadek wartości  $x$  nie wnosi zmiany stanu  $y=0$ . Charakterystyka  $y = f(x)$  nosi nazwę histerezowej (od pętli histerezy  $B = f(H)$ ) przy wyznaczaniu krzywej magnesowania), lub przekaźnikowej (od charakterystyki przekaźnika elektromagnetycznego mającego podobny wykres).



Rys. 16. Charakterystyka statyczna regulatora dwustanowego.

źródło: Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

## 4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Dokonaj klasyfikacji regulatorów?
2. Jakie są właściwości regulatorów ciągłych?
3. Jakie są właściwości regulatorów nieciągłych – dwustanowych?

## 4.6.3. Ćwiczenia

Projekt 1.

Opis do projektu.

Zalety regulacji dwupołożeniowej (prosty algorytm regulacji, niski koszt, łatwość użycia) sprawiły, że regulatory są powszechnie stosowane w wielu gałęziach przemysłu i sprzęcie AGD.

Część teoretyczna: dokonaj analizy możliwości zastosowań regulatorów dwupołożeniowych.

Część praktyczna: przedstaw w dowolny sposób praktyczną realizację wybranego regulatora dwupołożeniowego.

## 4.6.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- |  | Tak                      | Nie                      |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) sklasyfikować regulatory?                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) określić właściwości regulatorów ciągłych?    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) określić właściwości regulatorów nieciągłych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 4.7. Elementy wykonawcze

### 4.7.1. Materiał nauczania

Zadaniem zespołu wykonawczego jest przetworzenie sygnału przychodzącego z urządzenia, które generuje algorytm sterowania (regulator, stacyjka sterowania, lub nadrzędne urządzenie sterujące np. komputer) na odpowiedni dopływ energii lub masy do obiektu.

Głównym elementem zespołu wykonawczego UAR jest siłownik (element wykonawczy), który dostarcza energii mechanicznej potrzebnej do zmiany położenia elementu nastawczego (zaworu, przepustnicy itp.). Istnieje duża różnorodność siłowników, a ich klasyfikacja dotyczy np. :

- rodzaju wykorzystywanej energii pomocniczej (pneumatyczne, hydrauliczne i elektryczne),
- rozwiązania konstrukcyjnego (tłokowe, membranowe, mieszkowe, workowe i dętkowe),
- zmiany siły działającej na element wykonawczy (z amortyzacją, bez amortyzacji, specjalne),
- możliwości wywierania przez nie siły (jednostronnego i dwustronnego działania).

Budowa i działanie wybranych elementów wykonawczych:

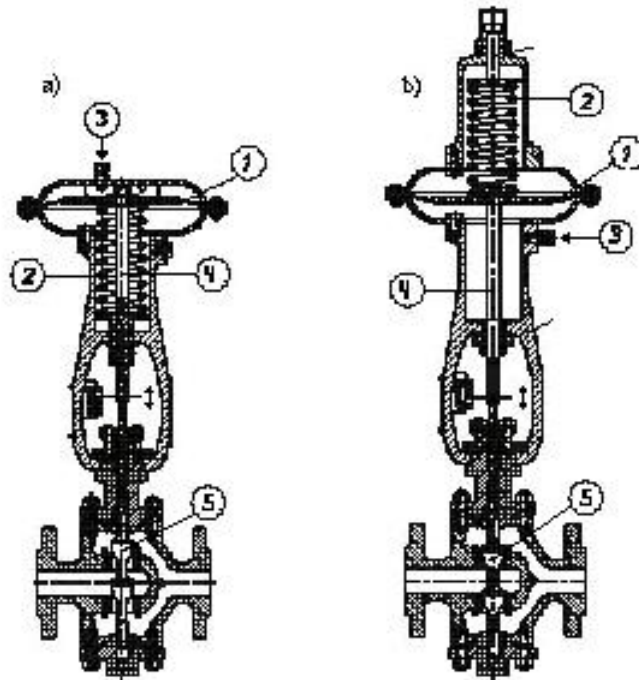
---

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”



## 1. Siłownik pneumatyczny membranowy.

Na rys. 17 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne siłownika membranowego ze sprężyną.



**Rys. 17.** Siłownik pneumatyczny membranowo – sprężynowy (producent – Zakłady Automatyki „Polna” w Przemyśle): a) o działaniu prostym (typ 37) , b) o działaniu odwróconym (typ 38) : 1 – membrana, 2 – sprężyna, 3 – doprowadzenie ciśnienia sterującego, 4 – trzpień, 5 – grzyb zaworu.

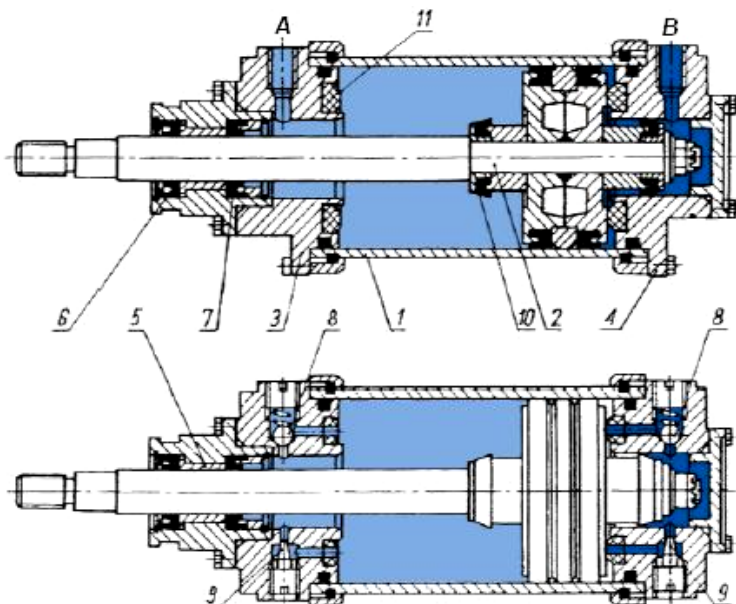
Źródło: Szejnach W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. WNT. Warszawa, 2005

W siłowniku o działaniu prostym (rys.17-a) sprężone powietrze (3) jest doprowadzone nad membranę (1) podpartą z drugiej strony sprężyną (2). Pod wpływem ciśnienia powietrza membrana siłownika naciska na płytę i pokonując opór sprężyny przesuwa trzpień siłownika (4) w dół, do pozycji odpowiadającej równowadze sił. Liniowe przesunięcie trzpienia zaworu połączonego z grzybem (5) (element nastawczy) powoduje zmianę pola przepływu gniazda, wskutek czego wielkość natężenia przepływu czynnika przepływającego przez zawór zmienia się w zależności od pozycji grzyba. W siłowniku o działaniu odwróconym powietrze doprowadzane jest pod membranę. Wielkość przesunięcia trzpienia w nieobciążonym siłowniku pneumatycznym wynika przede wszystkim z równowagi sił wytworzonych przez ciśnienie sterujące i ugiętą sprężynę. W siłowniku o pneumatycznym sygnale nastawczym w zakresie  $20 \div 100$  kPa trzpień zacznie się przesuwać dopiero przy sygnale  $p \geq 20$  kPa, a jego maksymalny przesuw wystąpi przy wartości  $p=100$  kPa. Jeżeli zakres sygnału ciśnieniowego pokrywa się z zakresem sprężyny, to na pokonanie sił oporu podczas przestawienia elementu nastawczego siłownik nie dysponuje nadwyżką siły. W celu uzyskania tej nadwyżki konieczne jest stosowanie większych zmian sygnału ciśnieniowego  $p$  niż zakres sprężyny lub wyzyskanie do przestawienia elementu nastawczego tylko części przesunięcia trzpienia. Jeśli sprężone powietrze doprowadzone jest pod membranę działanie jest odwrócone (rys. 17 b).

## 2. Siłownik pneumatyczny tłokowy dwustronnego działania z amortyzacją.

Siłownik pneumatyczny tłokowy dwustronnego działania z amortyzacją uderzeń tłoka (rys.18) znajduje się w stanie spoczynkowym przy skrajnym prawym położeniu. Jeżeli w czasie pracy sprężone powietrze wpłynie przez otwór B, podnosi kulkę zaworu zwrotnego (8). Dostając się pod tłok spowoduje uzyskanie parametrów roboczych i przesunięcie siłownika w lewo. Przy zbliżeniu

się do położenia krańcowego po lewej stronie siłownika tłok jest amortyzowany. Uszczelka (10) wsuwając się do cylindrycznego wytoczenia zamyka otwór A i tworzy „poduszkę pneumatyczną” uniemożliwiając w ten sposób swobodny wypływ powietrza. Powietrze to po zamortyzowaniu tłoka w lewym skrajnym położeniu może odpływać powoli przez zawór dławiący (9) do wytoczenia a dalej do otworu A. Przesunięcie tłoka w prawą stronę i jego amortyzacja w skrajnym położeniu odbywa się identycznie.

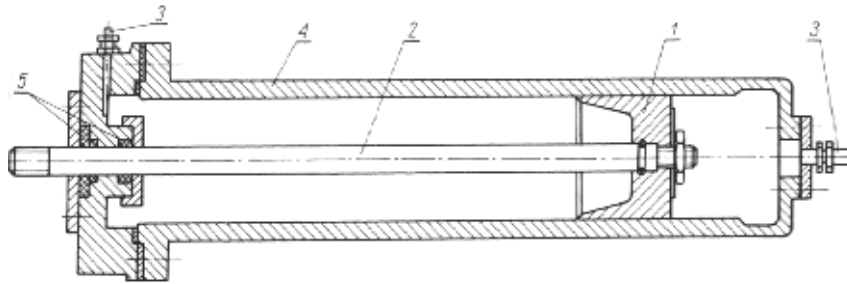


**Rys. 18.** Siłownik pneumatyczny tłokowy dwustronnego działania z amortyzacją uderzeń tłoka: 1- tuleja cylindrowa, 2- zespół tłoka z tłoczyskiem, 3- pokrywa przednia, 4 – pokrywa tylna, 5 – tulejka prowadząca tłoczysko, 6 – pierścień zgarniający, 7 – pierścień uszczelniający, 8 – zawory zwrotne, 9 zawory dławiące, 10 – uszczelka zamontowana na tłoczysku.

Źródło: Szejnach W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. WNT. Warszawa, 2005

### 3. Siłownik hydrauliczny tłokowy liniowy dwustronnego działania

W siłowniku hydraulicznym prostoliniowym dwustronnego działania (rys 19) ruch tłoka odbywa się pod działaniem cieczy roboczej. Ciecz wpływa do komory tłokowej cylindra przez otwór doprowadzający (3 – prawy), działając na powierzchnię tłoka A (1). Wytwarza się wówczas ciśnienie o wartości zależnej od oporów instalacji i sił użytecznych obciążających tłoczysko. Wykorzystywana jest tam podstawowa zależność (wzór 9), która po przekształceniu ( $F = p \cdot A$ ), określa wartość siły wynikającej z ciśnienia  $p$  i powierzchni  $A$ . Jeśli siła działająca przekroczy wymienione opory, następuje wysuw tłoka. W tym czasie następuje odprowadzenie cieczy z komory tłoczyska przez otwór odprowadzający (3 – lewy). Zmiana kierunku przepływu cieczy spowoduje oddziaływanie tej cieczy na powierzchnię pierścieniową tłoka w komorze tłoczyska. Działanie to spowoduje wsunięcie się tłoka. Z komory tłokowej nastąpi równocześnie odprowadzenie cieczy przez otwór odprowadzający (3 – prawy). Działanie siłownika jest efektem przekształcenia energii hydraulicznej w mechaniczną.

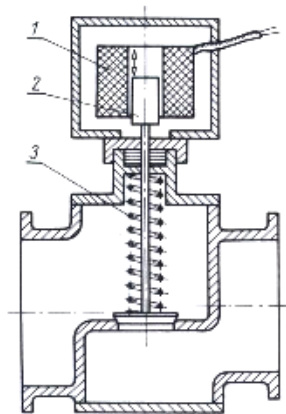


**Rys. 19.** Siłownik hydrauliczny tłokowy liniowy dwustronnego działania: 1- tłok, 2-tłoczyisko, 3- doprowadzenie ciśnień sterujących, 4- cylinder, 5 – uszczelnienia.

Źródło: Pizoń A.: Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki. WNT, Warszawa, 1995

#### 4. Siłownik elektromagnetyczny

Siłowniki elektromagnetyczne stosuje się do napędu zaworów o małych średnicach nominalnych. Działanie siłownika (rys. 20) polega na całkowitym otwarciu bądź na zupełnym zamknięciu dopływu cieczy lub gazu. Otwarcie dopływu następuje dzięki przyciąganiu przez elektromagnes rdzenia o właściwościach magnetycznych, połączonego z iglicą lub z grzybkim zaworu. Zamknięcie dopływu następuje w wyniku wyłączenia prądu w obwodzie cewki elektromagnesu i dociśnięcia zaworu przez sprężynę. W zastosowaniu są również siłowniki o konstrukcji odwróconej, wówczas załączenie elektromagnesu powoduje zamknięcie zaworu. Siłowniki znalazły zastosowanie m.in. w technice klimatyzacyjnej i urządzeniach chłodniczych.



**Rys. 20.** Siłownik elektromagnetyczny: 1-cewka elektromagnesu, 2- rdzeń, 3- sprężyna zwrotna.

Źródło: Pizoń A.: Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki. WNT, Warszawa, 1995

#### 4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Jaki jest cel stosowania elementów wykonawczych w układach automatycznej regulacji?
2. Jakie rodzaje energii wykorzystuje się w elementach wykonawczych?
3. Jaka jest budowa i zasada działania siłownika pneumatycznego membranowego?
4. Jaka jest budowa i zasada działania pneumatycznego siłownika liniowego?
5. Jaka jest budowa i zasada działania siłownika hydraulicznego liniowego?
6. Jaka jest budowa i zasada działania siłownika elektromagnetycznego?

### 4.7.3. Ćwiczenia

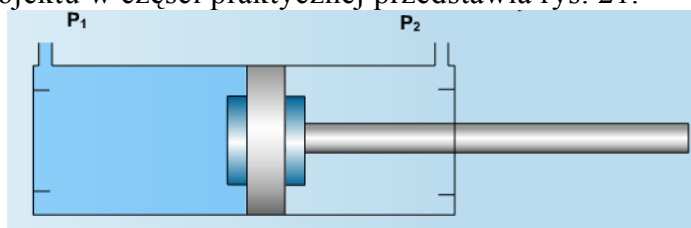
Projekt 1.

Opis do projektu. Wykorzystując symulacyjne programy komputerowe (np. Fluid Sim, Fluid Studio firmy Festo), programy grafiki komputerowej, dokumentację producenta wyjaśnij budowę i zasadę działania oraz wskaż możliwości zastosowania elementów wykonawczych pneumatycznych, hydraulicznych i elektrycznych.

Część teoretyczna: dokonaj analizy możliwości zastosowań elementów wykonawczych: pneumatycznych, hydraulicznych i elektrycznych.

Część praktyczna: przedstaw w dowolny sposób budowę, sposób działania i zastosowanie wybranego elementu wykonawczego (pneumatycznego, hydraulicznego lub elektrycznego).

Przykład realizacji projektu w części praktycznej przedstawia rys. 21.



Rys. 21. Element animacji komputerowej ukazujący ideę pracy siłownika pneumatycznego dwustronnego działania z amortyzacją

Źródło: Pizoń A.: Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki. WNT, Warszawa, 1995

### 4.7.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) określić cel stosowania elementów wykonawczych w układach automatycznej regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić jakie rodzaje energii wykorzystuje się w elementach wykonawczych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać budowę i zasadę działania siłownika pneumatycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać budowę i zasadę działania siłownika hydraulicznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać budowę i zasadę działania siłownika elektrycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wskazać przykłady zastosowań siłowników pneumatycznych, hydraulicznych, elektrycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.8. Układy regulacji temperatury, poziomu, ciśnienia

### 4.8.1. Materiał nauczania

Najczęściej występującymi wielkościami w procesach regulacji są: temperatura, poziom cieczy i ciśnienie. Wyróżnienie tych wielkości zaznacza potrzebę zastosowania regulatorów o nieskomplikowanej konstrukcji, łatwych w wykonaniu, prostych w obsłudze, tanich i niezawodnych. Poniżej przedstawiono wybrane regulatory i możliwości ich zastosowania w układach regulacji temperatury, poziomu cieczy i ciśnienia.

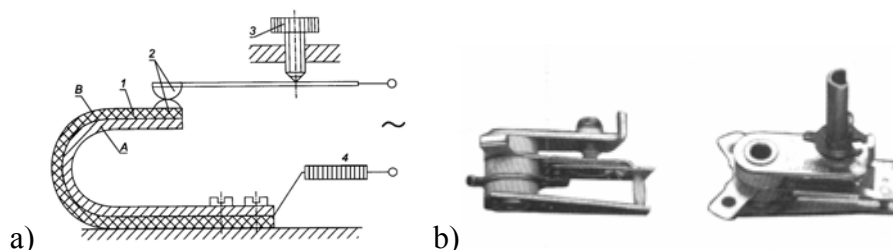
1. Regulacja temperatury.

Obiektem regulacji temperatury jest żelazko – jedno z pierwszych domowych urządzeń elektrycznych (wynalazca: Henry W. Weely, USA, 1882 r.). Zadaniem układu regulacji (rys. 22) jest utrzymanie temperatury na pożądanej wartości. Nastawianie wartości zadanej realizuje się

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

przez zmianę położenia śruby regulacyjnej (3). Elementem pomiarowym w układzie i przełączającym jednocześnie jest w tym regulatorze taśma bimetaliczna – bimetal (1). Po włączeniu zasilania na odbiorniku rezystancyjnym – grzałce (4) wydzieli się energia cieplna. Skutkiem tego wzrasta temperatura żelazka (od temperatury otoczenia). Przy wzroście temperatury bimetal ulega odkształceniu, przerywając obwód elektryczny grzałki poprzez rozłączenie styków (2) w momencie, gdy temperatura przekroczy wartość nastawioną. Po obniżeniu się temperatury następuje kolejne załączenie.

W wymienionym obiekcie regulacji dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników sprzętu (możliwość porażenia prądem elektrycznym) wszystkie elementy wiodące prąd (w tym styki) są wzajemnie odizolowane od innych elementów materiałami odpornymi na ciepło m.in. przez zastosowanie materiałów ceramicznych (rys b). Dodatkowo producenci przewidują wykonanie izolacji elektrycznej i termicznej dla śruby regulacyjnej. Standardem jest wykonanie uchwyty i całej obudowy z materiałów izolujących dopływ ciepła (uniknięcie oparzeń).



**Rys. 22.** a) Regulator temperatury w żelazku: 1- bimetal, 2 – styki, 3- śruba regulacyjna, 4 – grzałka, A- materiał o małym współczynniku rozszerzalności cieplnej, B- materiał o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej  
b) Termostat nastawialny bimetalowy (Microtherm GmbH- Niemcy).

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

Na podstawie opisu działania przedstawionego regulatora temperatury można określić jego cechę. Sterowanie obiektem następuje za pomocą kolejnego otwierania i zamykania dopływu energii do odbiornika. Ten sposób sterowania w którym regulator wytwarza sygnały załącz lub wyłącz (rys.16) zależy od tego czy wielkość regulowana jest mniejsza, czy większa od wartości zadanej (tzn. zależy od znaku odchyłki regulacji), jest wspólny dla wszystkich regulatorów dwustanowych.

## 2. Regulacja poziomu cieczy w zbiornikach otwartych i zamkniętych.

Sygnalizowanie i regulowanie poziomu cieczy jest powszechnie realizowane w zbiornikach otwartych i zamkniętych. W przemyśle zadanie regulacji poziomu cieczy można zrealizować często w oparciu o proste techniki regulacji.

Działanie innego regulatora z magnetycznym sygnalizatorem poziomu cieczy (dwustanowego) opiera się na:

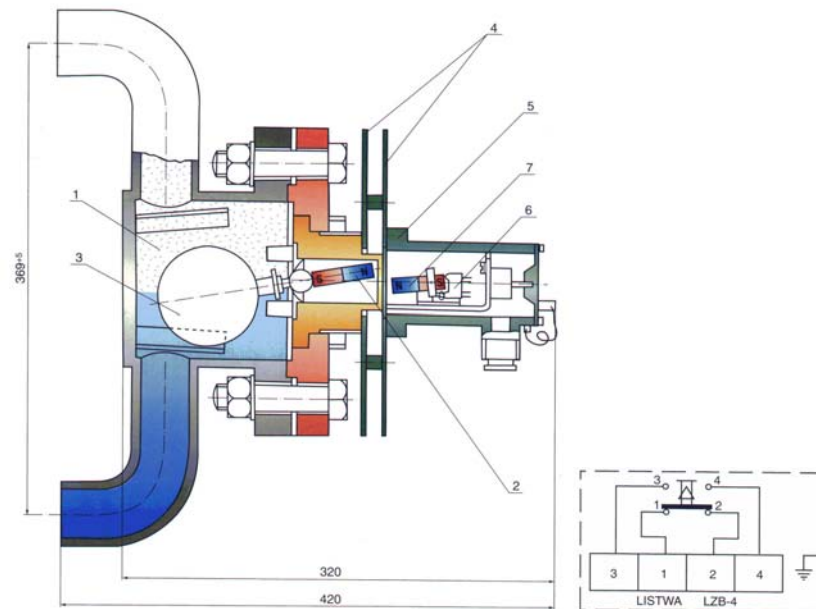
- kontroli poziomu cieczy wypełniającej zbiornik przez czujnik pływakowy,
- reakcji magnetycznego sygnalizatora,
- przełączaniu zestyków łącznika,
- wyłączeniu lub załączeniu (działanie dwustanowe) urządzenia dozującego ciecz do zbiornika (np. elektrozawór, pompa).

Sygnalizator magnetyczny poziomu cieczy składa się z zamkniętej połączeniem kołnierзовym ciśnieniowej komory pływakowej (1), w której na poziomej osi zawieszony jest magnes stały (2). Na zewnętrznej części komory pływakowej znajdują się radiatory (4), do których przymocowana jest szczelna osłona sygnalizatora (5). Wewnątrz osłony sygnalizatora znajduje się miniaturowy łącznik (6) sprzężony z drugim magnesem (7).

Unoszony na powierzchni cieczy czujnik pływakowy z wbudowanym magnesem stałym, tworzy z drugim magnesem rodzaj układu przerzutnika magnetycznego. W przypadku zmian położenia

pływaka (wywołanych zmianą poziomu cieczy pomiędzy  $h_{\max}$  i  $h_{\min}$ ), nastąpi zmiana kierunku działania siły pola magnetycznego magnesów. Spowoduje to przełączenie zestyków miniaturowego łącznika (np. kontaktronu). W dalszej kolejności załączenie (w przypadku osiągnięcia minimalnego poziomu cieczy  $h_{\min}$ ) lub wyłączenie (w przypadku osiągnięcia maksymalnego poziomu cieczy  $h_{\max}$ ) urządzeń dozujących ciecz do zbiornika (np. elektrozawór, pompa).

Ustalenie przez użytkownika parametru wysokości  $h$  poziomu cieczy zależy od miejsca zainstalowania sygnalizatora do zbiornika, a histerezy  $\Delta h$  od długości ramienia pływaka.



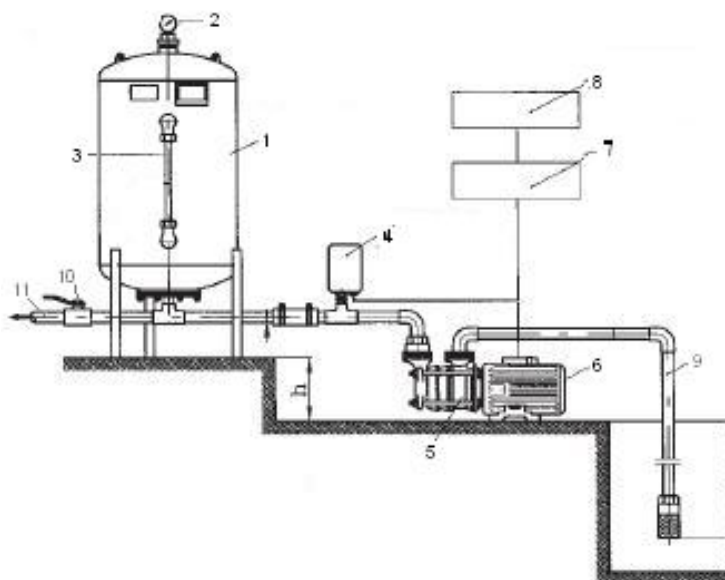
**Rys. 23.** Magnetyczny sygnalizator poziomu cieczy UPp – 31 (ZPAS – Przygórze Śląskie) i schemat połączeń łącznika: 1-komora pływakowa, 2-pierwszy magnes, 3- pływak, 4- radiatory, 5- szczelna osłona, 6- łącznik miniaturowy, 7 – drugi magnes. Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

### 3. Regulacja ciśnienia w automatycznej instalacji hydroforowej.

Skojarzenie zaopatrzenia odbiorców w wodę pitną z odpowiednim ciśnieniem wody w lokalnej sieci można zrealizować w oparciu o automatyczne instalacje hydroforowe. Instalacje te są stosowane w budynkach, gdzie brak jest miejskiej sieci wodociągowej a także, gdy brak jest odpowiedniego ciśnienia do zaopatrzenia wyższych kondygnacji budynków. Na rysunku 24 przedstawiono schemat instalacji hydroforowej do zasilania wodociągu domowego.

W układzie tym pompa samozasysająca (5) pobiera wodę z ujęcia wody pitnej (np. studnia) i tłoczy rurą ssawną (9) do zbiornika hydroforu (1). Silnik elektryczny (6) napędzający pompę jest sterowany za pomocą wyłącznika ciśnieniowego (4). Wyłącznik ten załączy silnik elektryczny (6), gdy ciśnienie w hydroforze spadnie do wartości dolnej  $p_{\min}$ , oraz wyłączy silnik, gdy ciśnienie osiągnie wartość górną  $p_{\max}$ .

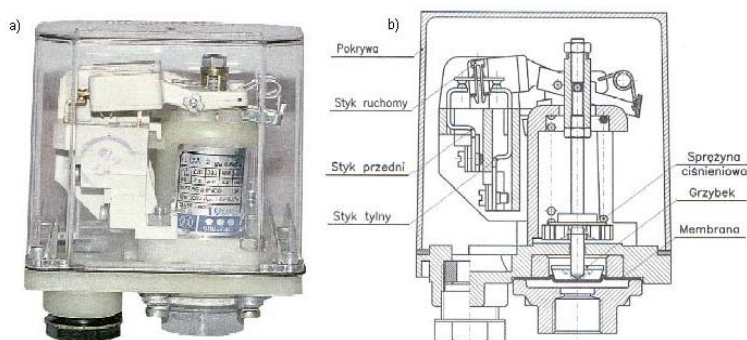




**Rys. 24.** Automat wodociągowy wolnostojący ASB – 4 (producent: Hydro – Vacuum S.A w Grudziądzu): 1- zbiornik, 2 –manometr, 3 – poziomowskaz, 4 – łącznik (wyłącznik) ciśnieniowy, 5 – pompa, 6 – silnik, 7 – układ sterująco – zabezpieczający, 8 – bezpieczniki instalacyjne, 9 – rura ssawna, 10 – zawór, 11 – rura tłoczna.

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

Łącznik (wyłącznik) ciśnieniowy reaguje na zmianę ciśnienia w instalacji hydroforowej. W wyniku wzrostu ciśnienia następuje zachwianie równowagi sił pochodzących od ciśnienia sterującego i sprężyny. Układ grzybek – membrana – sprężyna przesunięty zostanie ku górze, powodując otwarcie styków skojarzonych z zasilaniem silnika, a przez to wstrzymanie ssania wody przez pompę. Spadek ciśnienia w instalacji hydroforowej, spowoduje wypchnięcie przez sprężynę układu w dół i przez to zamknięcie styków umożliwiających załączenie silnika oraz ssanie wody do układu.



**Rys. 25.** Łącznik ciśnieniowy LCA (producent: Hydro – Vacuum S.A w Grudziądzu): a) Widok ogólny, b) budowa.  
Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

#### 4. Układ regulacji ciśnienia sprężarki.

Innym przykładem regulacji ciśnienia jest układ dający możliwość dopasowania wydajności sprężarki do aktualnego zapotrzebowania na sprężone powietrze. Ponieważ bezpośredni pomiar dokładnego zużycia powietrza jest trudny do zrealizowania i kosztowny, to z reguły tendencje zapotrzebowania na powietrze określane są przez pomiar ciśnienia np. w zbiorniku sprężarki. Pomiar ten przenosi się wprost na regulację – najczęściej dwustanową – z wykorzystywaniem

elektropneumatycznych wyłączników ciśnieniowych o podobnej zasadzie działania jak wyłącznik przedstawiony na rys. 25.

Sprężarka przerywa tłoczenie po osiągnięciu pewnego ciśnienia  $p_{\max}$ , a ponownie rozpoczyna tłoczenie, gdy ciśnienie w instalacji obniży się na skutek zużycia powietrza do pewnego ciśnienia  $p_{\min}$ . Zakres ciśnień  $p_{\min} - p_{\max}$  może być swobodnie ustawialny przez użytkownika, jednak z zachowaniem określonych zasad:

- $p_{\min}$  powinno być wyższe niż nominalne ciśnienie robocze wymagane przez odbiorniki, z uwzględnieniem spadku ciśnienia w instalacji między punktem pomiaru ciśnienia i odbiornikami,
- $p_{\max}$  nie może przekraczać nominalnego ciśnienia sprężarki,
- różnica ciśnień  $p_{\max} - p_{\min}$  nie może być zbyt mała, grozi to przekroczeniem dopuszczalnej częstości włączeń napędu lub przedwczesnym zużyciem aparatury regulacyjnej: różnica ta (zakres ciśnień) wynosi zwykle 0,15 – 0,2 MPa. Mniejsze wartości dopuszcza się, gdy pojemność zbiorników gromadzących powietrze jest bardzo duża w stosunku do wydajności sprężarki.

W większych agregatach sprężarkowych wyłącznik ciśnieniowy współpracuje z bardziej rozbudowanym układem elektrycznym, zawierającym obwody rozruchu, regulacji i nadzorowania pracy całego urządzenia. Coraz częściej w dziedzinie przygotowania powietrza stosuje się cały system sterowania elektronicznego sprężarek i ich stanu pracy w oparciu m.in. o zdalną komputerową kontrolę, pomiar, załączanie i wyłączanie, raportowanie i wizualizację.

#### 4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Jaki jest cel stosowania regulacji: temperatury, poziomu cieczy, ciśnienia?
2. W jaki sposób można zrealizować układ regulacji temperatury?
3. W jaki sposób można zrealizować układ regulacji poziomu cieczy?
4. W jaki sposób można zrealizować układ regulacji ciśnienia?
5. Jakie są zasady ustalania zakresu ciśnień w sprężarce?

#### 4.8.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1. Dokonaj badania układu dwustanowej regulacji temperatury zastosowanej w żelazku elektrycznym. Na podstawie wyniku badań:

- narysuj charakterystykę histerezoową,
- ustal szerokość pętli histerezy,
- ustal temperaturę zadaną.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wskazać obiekt regulacji, urządzenie regulujące,
- 2) ustalić sygnały zadany, nastawczy, zakłócenia,
- 3) określić sposób regulacji,
- 4) narysować schemat blokowy,
- 5) przygotować tabele w celu dokumentowania pomiarów,
- 6) wskazać zagrożenia od urządzeń elektrycznych i grzejnych oraz określić zasady udzielenia pierwszej pomocy,
- 7) zadbać o bezpieczeństwo swoje i osób współpracujących,



- 8) ustawić wartość zadaną śrubą regulacyjną,
- 9) umieścić sondę pomiarową termometru cyfrowego na obiekcie regulacji,
- 10) włączyć żelazko do źródła zasilania,
- 11) obserwować stan pracy urządzenia (wyłączenie / załączenie) i notować temperaturę w tych stanach,
- 12) wyznaczyć parametry regulacji jak w zadaniu,
- 13) na podstawie wyników badań omówić właściwości regulacji dwustanowej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- żelazko z regulatorem dwustanowym i sygnalizacją załączenia i wyłączenia (żarówka),
- termometr cyfrowy z sondą pomiarową,
- instrukcja obsługi termometru,
- instrukcja obsługi i bezpieczeństwa żelazka w języku polskim,
- instalacja elektryczna.

#### 4.8.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) przytoczyć przykłady, opisać budowę i działanie układu regulacji temperatury?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) przytoczyć przykłady, opisać budowę i działanie układu regulacji poziomu cieczy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) przytoczyć przykłady, opisać budowę i działanie układu regulacji ciśnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) badać parametry charakterystyczne dla danego typu regulacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) analizować i wskazywać zagrożenia dla zdrowia i życia na stanowisku badawczym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) udzielić pierwszej pomocy w sytuacji powstania zagrożenia zdrowia i życia przy obsłudze urządzeń grzejnych i elektrycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.9. Wybrane układy sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego

### 4.9.1. Materiał nauczania

#### 1. Wstęp.

W pneumatycznych urządzeniach głównym źródłem energii jest sprężone powietrze. Wytwarzana w np. sprężarkach energia sprężonego powietrza (pneumatyczna) zostaje dalej zamieniona na energię mechaniczną. Tę formę energii wykorzystują m.in. narzędzia pneumatyczne i układy napędowe. Współcześnie układy pneumatyczne często należy rozpatrywać w kombinacji z innymi źródłami energii i układami sterowań. W tych kategoriach wykorzystuje się kombinację różnych rozwiązań technicznych i urządzeń z zakresu:

- hydropneumatyki ( połączenie hydrauliki i pneumatyki),
- elektropneumatyki (połączenie elektrotechniki, elektroniki z pneumatyką).

Układy pneumatyczne znalazły zastosowanie dzięki licznym zaletom, są nimi :

- względnie bezpieczne warunki użytkowania (przecieki powietrza z instalacji nie są wybuchowe i szkodliwe),

- stosunkowo niska cena instalacji i urządzeń,
- łatwy transport i magazynowanie (sieć, zbiorniki),
- ekologiczny i powszechnie dostępny nośnik energii,
- odporność na wahania temperatury otoczenia,
- prostota konstrukcji i łatwość napraw,
- odporność na przeciążenia,
- duży moment obrotowy,
- powolne narastanie siły (szczególne znaczenie przy przeciążeniu np. chwytaków robota),
- stosunkowo duże prędkości ruchu siłowników (do ok. 4m/s),
- możliwości osiągnięcia znacznej liczby obrotów do 30 000 min<sup>-1</sup> (silniki pneumatyczne) i 450 000 min<sup>-1</sup> (małe turbiny),
- mała masa przypadająca na jednostkę mocy.

Do wad układów pneumatycznych można zaliczyć :

- trudności w osiągnięciu bardzo dużych sił (ograniczenie ciśnienia roboczego),
- straty spowodowane wypływem powietrza do atmosfery,
- gwałtowny rozruch,
- trudności w uzyskaniu małych i stałych prędkości ruchu,
- trudności w sterowaniu położenia elementu wykonawczego,
- mgła olejowa z urządzeń podczas wypływu zanieczyszcza otoczenie stanowiska roboczego,
- hałas przy wypływie powietrza do atmosfery.

W pneumatycznych i elektropneumatycznych układach napędowych, które są obiektem naszych zainteresowań, można wyróżnić następujące grupy elementów lub elementy:

- wytwarzania sprężonego powietrza (np. sprężarki),
- przesyłania sprężonego powietrza (np. sieć przesyłowa),
- przygotowania sprężonego powietrza (np. filtry, reduktory, smarownice, zawory odcinające),
- wejściowe (np. przełączniki, przyciski, wyłączniki krańcowe, dysze, czujniki),
- przetwarzania informacji (np. zawory, elementy logiczne),
- sterujące pracą członów wykonawczych (np. zawory rozdzielające),
- elementy wykonawcze (np. siłowniki, silniki pneumatyczne).

## 2. Wytwarzanie sprężonego powietrza

Do wytwarzania sprężonego powietrza służą sprężarki (kompresory). Urządzenia te zwiększają ciśnienie przez zmniejszenie objętości, względnie przetłaczają gazowe media robocze do ciśnień powyżej 0,05-0,1 MPa. Sprężaniu gazu towarzyszy wzrost temperatury stąd potrzeba wietrzenia lub chłodzenia.

Profesjonalne sprężarki przemysłowe pod względem konstrukcyjnym ogólnie dzielimy na:

- sprężarki waporowe – wykorzystujące zmniejszenie się objętości przestrzeni sprężającej,
- sprężarki przepływowe, które wykorzystują wzrost energii powietrza przepływającego przez wirujący z dużą prędkością specjalnie ukształtowany wirnik.

Sprężarki mogą funkcjonować jako urządzenia przenośne lub są mogą być zainstalowane w centralnym systemie zaopatrzenia powietrza ( przy znacznym zapotrzebowaniu w sprężone powietrze). Sprężarki napędzane są silnikami spalinowymi lub elektrycznymi (agregaty). W warunkach szkolnych wykorzystuje się najczęściej sprężarki napędzane silnikiem elektrycznym. Agregat sprężarkowy składa się z silnika elektrycznego, sprężarki z chłodnicą pośrednią i końcową, zbiornika ciśnieniowego, układu sterującego, również filtrów i często osuszacza. Przykładowe rozwiązania w firmowych kartach katalogowych.

### 3. Elementy przewodzące czynnik roboczy.

Do elementów tych można zaliczyć :

- główne przewody zasilające (prowadzone przez miejsca łatwo dostępne, odporne na korozję i niedrogie np. wykonane ze stali ocynkowanej, miedzi, tworzywa sztucznego, aluminiowe z systemem złącz np. Transair),
- przewody doprowadzające (o właściwej elastyczności, odporne na obciążenia np. gumowe, z tworzyw sztucznych),
- tłumiki hałasu (ograniczają hałas przy wydmuchu powietrza z elementów roboczych),
- elementy przyłączeniowe, szybkozłącza (służą do szybkich, pewnych, trwałych i precyzyjnych połączeń instalacji).

Szybkozłącza znalazły szerokie zastosowanie w systemie połączeń rozłącznych. W układach z przepływającym medium gazowym lub płynnym zastępują często tradycyjne złącza gwintowane.

Zalety połączeń z szybkozłączem:

- możliwość częstego montażu i demontażu,
- ograniczenie przestrzeni montażowej,
- pełnienie funkcji zaworu,
- krótki czas trwania operacji.

Wady połączeń z szybkozłączem:

- wyrzucanie pod ciśnieniem wtyczki (zjawisko odrzutu). Zapobiega się temu zjawisku przez produkcję wtyczek z tłumikiem zwrotnym. Ich zadaniem jest wydłużenie czasu wypływu powietrza sprężonego w węźle (np. Rectusafe).

### 4. Przygotowanie sprężonego powietrza

W napędach pneumatycznych baczna uwaga winno się zwracać na problemy związane z czystością sprężonego powietrza.

Woda ( wilgoć ) i cząsteczki brudu dostają się do sieci wraz z zasysanym przez sprężarkę powietrzem powodując często trwałe uszkodzenia urządzeń pneumatycznych. Dlatego należy je wytrącić poprzez stosowanie sprężarek bezolejowych lub filtrowanie.

Urządzeniem przeznaczonym do zatrzymywania cząstek o odpowiedniej wielkości z przepływającego przez nie gazu lub cieczy jest filtr. Przez filtrowanie dąży się do :

- zmniejszenia zużycia części ruchomych przez drobiny,
- uniknięcia zakłóceń działania na zatkania szczelin, zawieszenia się elementów sterowniczych,
- zanieczyszczenia produktu, z którym przepływające medium może mieć kontakt.

Główne elementy filtra :

- obudowa wytrzymała na ciśnienie,
- króćce wlotowy i wylotowy o odpowiedniej średnicy przyłączy,
- wkład filtracyjny,
- urządzenie do odprowadzania kondensatu,
- ekonomizer pokazujący stratę ciśnienia na wkładzie filtra.

Parametry filtra:

- dokładność filtracji ( zgrubne 1-5  $\mu\text{m}$ ; dokładne 0,01 – 0,5  $\mu\text{m}$ ),
- sposób działania (mechaniczne, koalescencyjne, sorbujące-głównie węgiel aktywowany, sterylne),
- wielkość przepływu,
- charakterystyczny spadek ciśnienia na filtrze.

Najczęściej do filtra dołączany jest jednocześnie zawór redukcyjny umożliwiający regulację ciśnienia w przewodach roboczych.

Sprężone powietrze winno być osuszone. Osuszanie polega na uwalnianiu z powietrza zawartych w nim cząsteczek wody i oleju. Proces osuszania realizuje się poprzez:

- osuszanie absorbcyjne,

- osuszanie adsorbcyjne,
- osuszanie przez oziębianie.

Osuszanie adsorbcyjne jest chemiczną metodą osuszania sprężonego powietrza, w której stosuje się sole ( najczęściej NaCl podlegające regularnej wymianie). Wchodzące do osuszacza powietrze przepływa przez pochłaniacz (sól) która wiąże wilgoć rozpuszczając się. Wraz z wodą krople kapie na dno zbiornika.

Osuszanie adsorbcyjne jest fizycznym procesem osuszania sprężonego powietrza wykorzystującym środek sorbcyjny (na ogół żel silikonowy lub aktywowany tlenek glinu) na którym osadza się wilgoć.

Osuszanie przez oziębianie polega na tym, że oczyszczacz oziębiający sprężonego powietrza pracuje na zasadzie obniżenia temperatury punktu rosy. Temperatura punktu rosy jest temperaturą, do której musi być oziębiony gaz, aby doprowadzić do skroplenia pary wodnej w nim zawartej. Osuszane powietrze wchodzące do osuszacza przechodzi najpierw przez tak zwany wymiennik ciepła powietrze – powietrze. Przechodzące przez wymiennik ciepła (parownik) zimne i suche powietrze chłodzi doprowadzone ciepłe powietrze. Wytrącony kondensat oleju i wody jest odprowadzany z wymiennika ciepła do zbiornika.

Następuje przy tym powtórne wytrącenie kondensatu wody i oleju. Dalej można powietrze poddać dokładnemu oczyszczaniu poprzez filtr dokładnego oczyszczania.

Naoliwianie (smarowanie) sprężonego powietrza – wykonuje się często celowo i ma na celu doprowadzenie środka smarującego do wszystkich pracujących w układzie części trących. Smarownica działa na zasadzie zwężki Venturiego.

## 5. Elementy wejściowe

Elementy wejściowe przekazują do układu informację o stanie obiektu sterowania lub stanie elementów wykonawczych oraz służą do wprowadzenia informacji z zewnątrz.

W elementach tych można wyróżnić np.:

- czujniki – są elementem umożliwiającym wykrycie, przekazanie i określenie zmian wielkości mierzonej, w którym nośnikiem sygnału jest sprężone powietrze lub sygnał elektryczny,
- przełączniki – służą do zadawania krótkotrwałych sygnałów pneumatycznych lub elektrycznych (np. przyciskowe, pokrętne).

## 6. Elementy przetwarzające informację.

Do grupy tej należą min. elementy realizujące funkcje logiczne. Przykładowymi elementami są:

- element logiczny koniunkcji (pneumatyczny, elektryczny),
- element logiczny alternatywy (pneumatyczny, elektryczny)

przeznaczone do budowy kombinacyjnych i sekwencyjnych układów logicznych (np. zawory, elementy logiczne).

## 7. Elementy sterujące pracą członów wykonawczych.

Zawory są elementami wejściowymi i sterującymi, które wpływają na przebieg pracy elementów wykonawczych. Zawory dzieli się (np. zgodnie z normą ISO 1219) na:

- rozdzielające,
- sterujące kierunkiem przepływu,
- ciśnieniowe,
- odcinające.

Zawory rozdzielające są to elementy, których przełączenie powoduje zmianę kierunku przepływu sprężonego powietrza. Zawory te stosowane są głównie do sterowania elementami wykonawczymi (np. siłownikami) w pneumatycznych układach napędowych i sterujących. Istnieje cała rodzina zaworów rozdzielających sterowanych: pneumatycznie, mechanicznie, ręcznie, elektromagnetycznie.

Zawory sterujące kierunkiem przepływu są urządzeniami, które odcinają przepływ w jednym kierunku a odcinają w kierunku przeciwnym (np. zawory zwrotne, zawór przełącznik obiegu, zawór dławiąco – zwrotny, zawór szybkiego spustu).

Zawory ciśnieniowe są elementami, które regulują wartość ciśnienia lub są sterowane przez określoną wartość ciśnienia (np. zawory redukcyjne, bezpieczeństwa, progowe).

Zawory odcinające – są to elementy, które służą do bezstopniowego otwierania lub zamykania przelotu powietrza.

8. Elementy wykonawcze (np. siłowniki, silniki pneumatyczne).

Siłowniki pneumatyczne stanowią istotną część nowoczesnych konstrukcji i maszyn. Są to urządzenia dla których sprężone powietrze jest czynnikiem zasilającym. Nazwa siłowniki pneumatyczne jest ogólnym pojęciem określającym urządzenia, jako przemienniki potencjalnej energii na energię kinetyczną tłoczyska.

Można wyróżnić kilka grup siłowników pneumatycznych:

- siłowniki liniowe, które dzielą się na różne grupy w zależności od konstrukcji i przeznaczenia. Istnieją tradycyjne konstrukcje z cylindrem rurowym lub cylindrem wykonanym ze specjalnych profili. Realizowane są przez producentów zwarte konstrukcje precyzyjnych siłowników beztłoczyskowych, jednostki posuwowe, zespoły w układzie X – Y – Z (układ kartezjański), układy pozycjonujące;
- siłowniki obrotowe stosowane najczęściej do uruchamiania przepustnic,
- zaciski, uchwyty i elementy robotyki stosowane w automatyce i robotyce,
- amortyzatory, tłumiki uderzeń.

9. Symbole graficzne

Działanie elementów czy urządzeń (a nie konstrukcja) przedstawione jest w postaci graficznej. Stosowane symbole zawierane są w normach (PN ISO 1219).

Dla urządzeń pneumatyki i elektropneumatyki stosowane są oznaczenia przyłączy:

- 1 (P) przyłącza ciśnienia zasilania (wlot),
- 2,4,6 (A,B,C) przyłącza robocze – prowadzące do elementów wykonawczych – (oznaczenia – cyfry parzyste),
- 3,5,7 (R,S,T) przyłącza robocze – odpowietrzające (oznaczenia – cyfry nieparzyste),
- dla sygnałów sterujących (opisane oznaczeniami dwucyfrowymi):
  - 12,14,16 (X,Y,Z) – np. w zaworach rozdzielających przyłączy ma oznaczenie 12, gdy jego uaktywnienie powoduje powstanie połączenia przyłączy 1 i 2; oznaczenie 14, gdy jego uaktywnienie powoduje powstanie połączenia przyłączy 1 i 4,
  - 10, 11 – oznacza się przyłącza ciśnieniowe (np. w zaworze podwójnego sygnału).

W nawiasach przedstawiono dawne oznaczenia spotykane jeszcze w literaturze.

Na schematach w części elektrycznej:

- elektromagnesy zaworów rozdzielających oznaczamy kolejno:  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ,
- przekaźniki oznaczamy kolejno:  $K_1, K_2, \dots, K_n$ , (przy czym oznaczenia: cewek  $A_1$  od strony zasilania +,  $A_2$  od strony zasilania –, a styki liczbami)
- łączniki przyciskowe:  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ,
- czujniki, łączniki zbliżeniowe:  $B_1, B_2, \dots, B_n$ .

10. Uwagi końcowe.

a) Normalizacja.

W Polsce prowadzone są systematyczne prace nad wdrożeniem do Polskich Norm standardów norm Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO. Dla celów dydaktycznych i informacyjnych niezmiernie ważne jest śledzenie aktualnego stanu publikacji w tym zakresie.

b) Producenci.

Szczegółowe rozwiązania techniczne i konstrukcyjne elementów znajdują się w postaci opisów w kartach katalogowych i dokumentacji wyrobu firm (np. Prema, Semac, SMC, Festo). Często

wytwórcy elementów dydaktycznych podają informacje (w tym szczegóły rozwiązań i sposobu działania) z wykorzystaniem animacji i rysunku 3D (np. Festo) Informacje te są szczególnie przydatne w analizowaniu pracy układu i zamawianiu wybranych elementów.

## 4.9.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

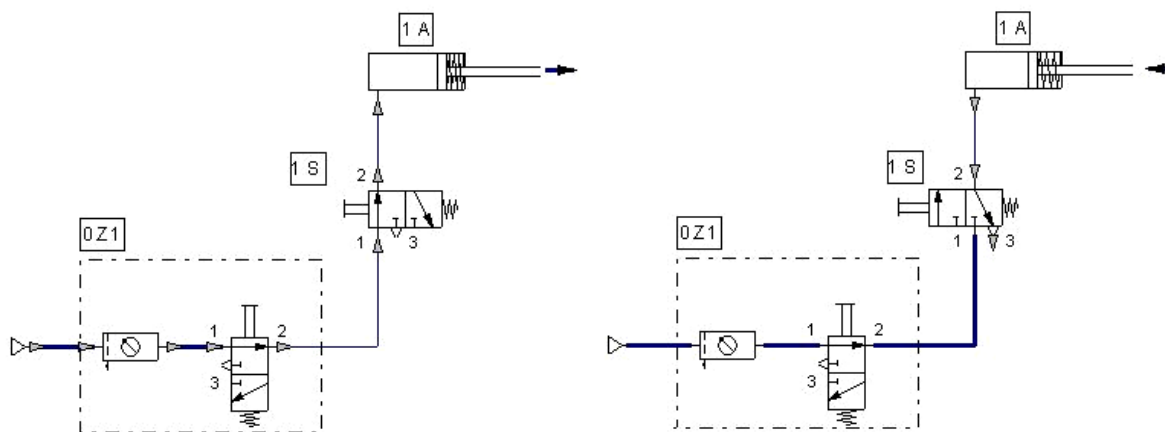
1. Jakie zalety i wady mają układy pneumatyczne?
2. Co rozumiesz pod pojęciem pneumatyka i elektropneumatyka?
3. Co to są elementy przewodzące czynnik roboczy w pneumatyce?
4. Na co trzeba zwrócić uwagę w procesie przygotowania sprężonego powietrza?
5. Jaką funkcję pełnią w pneumatyce i elektropneumatyce elementy wejściowe?
6. Jaką funkcję pełnią w pneumatyce i elektropneumatyce elementy przetwarzające informację?
7. Jaką funkcję pełnią elementy sterujące pracą członów wykonawczych w pneumatyce i elektropneumatyce?
8. Jakie zadanie spełniają elementy wykonawcze?
9. W jaki sposób oznaczamy elementy pneumatyki i elektropneumatyki?

## 4.9.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

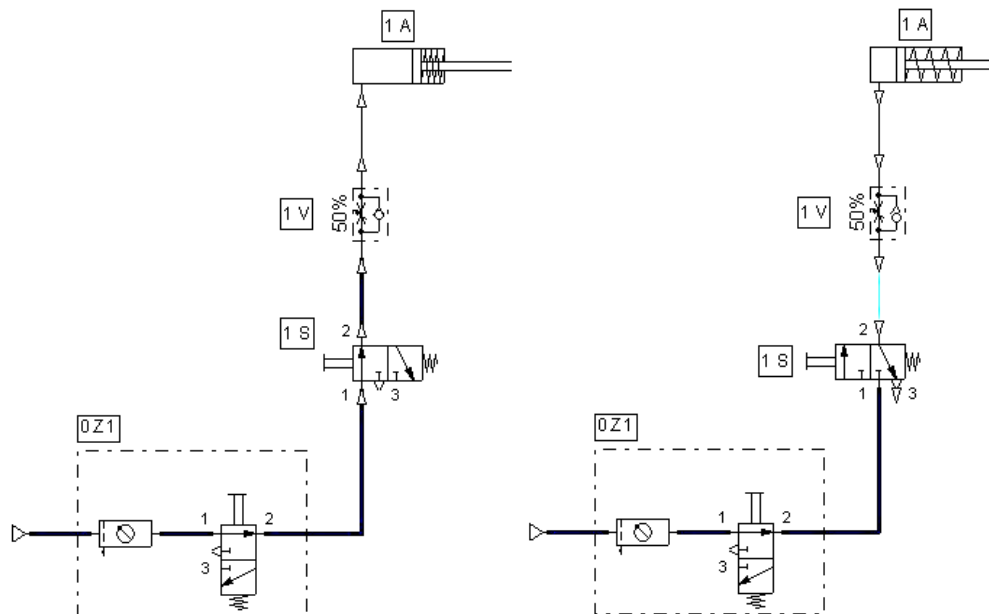
Dokonaj analizy działania i sterowania układów pneumatycznych i elektropneumatycznych:

- a) wykorzystując symulacyjny program komputerowy (np. FestoSIM, Fluid Studio) dokonaj analizy budowy, zasady działania i sterowania wybranych elementów, układów pneumatycznych i elektropneumatycznych.
- b) na podstawie schematu zmontuj i uruchom wybrane układy pneumatyczne i elektropneumatyczne:
  - sterowanie siłownikiem jednostronnego działania (rys. 27),
  - regulacja prędkości ruchu roboczego siłownika jednostronnego działania (rys. 28).
  - elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania (rys. 29).



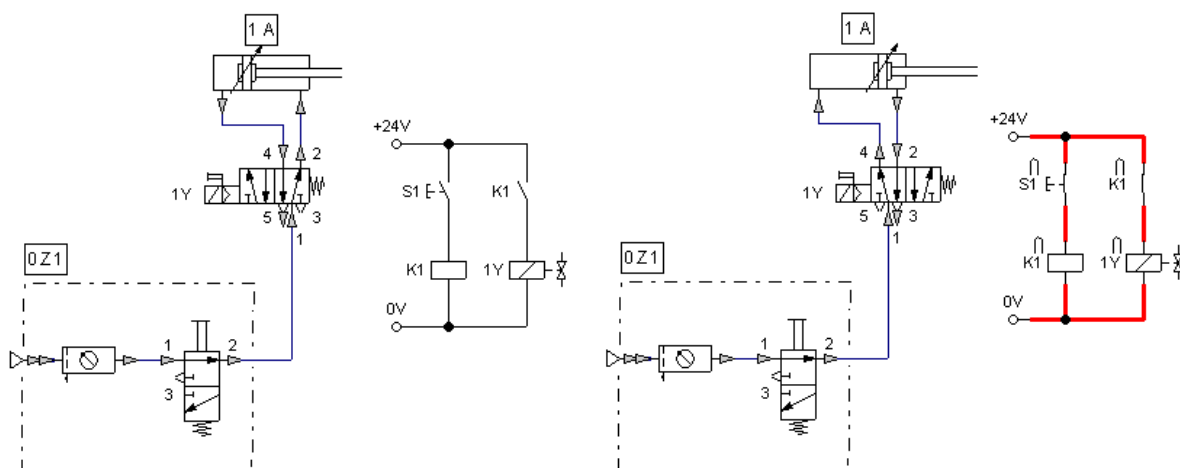
**Rys. 26.** Układ sterowania siłownikiem jednostronnego działania

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005



**Rys. 27.** Układ regulacji prędkości ruchu siłownika jednostronnego działania

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005



**Rys. 28.** Elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania.

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

### Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z normami ISO 1219,
- 2) rozpoznać przedstawione na schemacie elementy,
- 3) na podstawie programu komputerowego rozpoznać ich budowę, dokonać analizy ich działania i konfiguracji połączeń,
- 4) i konfiguracji połączeń,
- 5) wyróżnić zagrożenia od instalacji pneumatycznych, elektropneumatycznych i układów napędowych,
- 6) ograniczać miejsce pracy do określonego w poleceniu (bezpieczne miejsce dla obsługi),
- 7) sprawdzać na bieżąco stan techniczny siłowników, elementów, przewodów i urządzeń
- 8) zabezpieczających,
- 9) dobrać elementy do montażu na podstawie schematu,

- 10) używać sprawne i sprawdzone przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne zgodnie z instrukcją i przeznaczeniem,
- 11) montować elementy układu w odpowiedniej kolejności przy wyłączonym obiegu sprężonego powietrza,
- 12) zgłaszać prowadzącemu zajęcia gotowość instalacji do uruchomienia,
- 13) uruchomić układ i dokonać kontroli jego działania,
- 14) wyłączyć zasilanie elektryczne i dopływ sprężonego powietrza,
- 15) demontować układ w odpowiedniej kolejności,
- 16) materiały, przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne, elementy złożyć w miejscu składowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dydaktyczny zestaw pneumatyki i elektropneumatyki pozwalający w prosty sposób łączyć elementy i tworzyć różne aplikacje (np. Festo, Prema),
- system połączeń i konstrukcja nośna umożliwiająca tworzenie dowolnego układu sterowania pneumatyki i elektropneumatyki (np. Zakładów w Kętach, AMS, Rexroth)
- oprzyrządowanie i narzędzia specjalistyczne przewidziane przez producenta (np. zestawów edukacyjnych), dla potrzeb montażu, uruchamiania, kontroli pracy,
- programy dydaktyczne umożliwiające komputerowe tworzenie dowolnego układu sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego, umożliwiające symulację pracy i uszkodzeń (np. Fluid Studio, Fluid Sim firmy Festo)
- filmy dydaktyczne o treści instruktażowej ukazujące czynności i etapy pracy przy montażu, kontroli, obsłudze, diagnozowaniu, naprawie elementów,
- filmy dydaktyczne ukazujące zagrożenia od sprężonego powietrza oraz układów pneumatycznych i elektropneumatycznych i stanowisk wysoce zautomatyzowanych,
- normy, przepisy, dokumentacje techniczne i serwisowe, stanowiskowe, katalogi firmowe, instrukcje, rysunki, informacje techniczne dotyczące elementów napędowych, układów pneumatycznych i elektropneumatycznych.

#### 4.9.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) zaprojektować prosty układ sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego siłowników jednostronnego i dwustronnego działania, wykorzystując program komputerowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić działanie i zastosowanie wskazanych elementów pneumatycznych i elektropneumatycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wskazać zagrożenia od instalacji i urządzeń ciśnieniowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) montować układ sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego siłowników jednostronnego i dwustronnego działania na podstawie schematu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) sterować pracą siłowników jednostronnego i dwustronnego działania w układach pneumatycznych i elektropneumatycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 4.10. Wybrane układy sterowania hydraulicznego i elektrohydraulicznego

### 4.10.1. Materiał nauczania

#### 1. Wstęp.

Hydraulika jest działem techniki zajmującym się zastosowaniem mechaniki płynów do technicznego wykorzystania cieczy przy przenoszeniu zarówno energii jak i sygnałów.

Układy hydrauliczne ze względu na zasadę działania można podzielić na:

- hydrostatyczne – wykorzystują energię potencjalną cieczy (ciśnienie statyczne cieczy),
- hydrokinetyczne – wykorzystującą energię kinetyczną cieczy.

W znacznej części różnego rodzaju maszyn i urządzeń (jako układy napędowe, sterowania i regulacji) znalazły zastosowanie układy hydrostatyczne nazywane też układami hydraulicznymi.

Układy hydrauliczne realizowane są jako autonomiczne lub jako układy mieszane (np. elektrohydrauliczne, pneumohydrauliczne). W układach mieszanych obwód przenoszenia mocy jest rozwiązany jako układ hydrauliczny, a przenoszenie sygnałów sterujących realizowane jest przez układ elektryczny, elektroniczny lub pneumatyczny.

Układy hydrauliczne znalazły szerokie zastosowanie dzięki swoim licznym zaletom:

- możliwości rozwijania dużej mocy przy małych wymiarach i małej masie odbiorników hydraulicznych (siłowników i silników hydraulicznych),
- dużej łatwości sterowania,
- dobrym własnościami dynamicznym spowodowanym małą wartością momentu bezwładności obracających się elementów silnika hydraulicznego,
- możliwości ciągłego płynnego nastawienia prędkości,
- dobremu odprowadzeniu ciepła przez ciecz przenoszącą moc i sygnały sterujące,
- naturalnemu zabezpieczeniu przed przeciążeniem.

Układy hydrauliczne mają również pewne wady:

- stosunkowo duże straty mocy wywołane stratami ciśnienia i wewnętrznymi przeciekami cieczy w układzie,
- możliwość wystąpienia przecieków cieczy na skutek awarii,
- duża wrażliwość na zanieczyszczenia cieczy,
- zależność własności statycznych i dynamicznych układów od lepkości cieczy, która zmienia się wraz ze zmianą temperatury cieczy.

W układzie hydraulicznym można wyróżnić:

- elementy hydraulicznych stacji zasilających,
- elementy sterujące: kierunkiem przepływu, ciśnieniem cieczy, natężeniem przepływu,
- odbiorniki hydrauliczne ( silniki hydrauliczne, obrotowe i liniowe nazwane siłownikami).

Hydrauliczne układy automatyki znalazły zastosowanie tam, gdzie potrzebne są duże siły oddziaływania na obiekt (ruch kłapy, zaworu itp.). Podstawowe dziedziny zastosowań: automatyzacja obrabiarek, siłowni, niektórych urządzeń w przemyśle papierniczym, transport, technika lotnicza i wojskowa.

## 2. Zasilanie układów hydraulicznych (hydrauliczne stacje zasilające).

### 2.1. Ciecz robocza

Zadaniem cieczy roboczej jest przenoszenie energii zasilającej, usprawnienie poślizgu elementów, ochrona części metalowych przed korozją, odprowadzenie ciepła i cząstek zanieczyszczających.

Jako cieczy hydraulicznych używa się olejów mineralnych z dodatkami lub bez nich. W wykorzystaniu są również oleje syntetyczne o parametrach często przewyższających destylatory ropy naftowej. Należy pamiętać jednak o tym, że ciecze te są toksyczne i należy zachować szczególną ostrożność podczas transportu, magazynowania i eksploatacji urządzeń automatyki.

Przy wyborze cieczy należy brać pod uwagę:

- lepkość i temperaturowy współczynnik jej zmian,
- właściwości smarne,
- stabilność układu chemicznego,
- ściśliwość.

Odpowiednio dobrana lepkość cieczy ma zapewnić właściwą pracę i szczelność tłoków i zaworów. Mała lepkość (przy rzadkim oleju), obciąża nadmiernie części ruchome przez zmniejszenie się warstwy smarującej, powoduje ich szybkie zużycie i przecieki płynu. Duża lepkość (przy gęstym oleju) powoduje zwiększenie strat przepływu, pogarszanie się sprawności układu, sprawia, że układ wolno reaguje.

Lepkość jest zależna od temperatury. Stopień tej zależności określa współczynnik lepkości. Im większa jego wartość, tym mniej zmienia się lepkość przy zmianach temperatury.

Ciecze hydrauliczne powinny tworzyć odpowiednio wytrzymałe warstewki smarne pomiędzy częściami ruchomymi, zapobiegając w ten sposób ścieraniu się powierzchni ruchomych.

Chemiczna stabilność wynika z odporności cieczy na wytrącanie się szlamu i żywic, oraz (przy niektórych cieczach) ewentualnej możliwości tworzenia się emulsji mogącej redukować smarowanie i powodować korozję.

Ciecze hydrauliczne uważa się za nieściśliwe. W praktyce jednak z uwagi na absorbcję gazów lub napowietrzanie wykazują pewien stopień ściśliwości. Ściśliwość cieczy wyraża się liczbowo przez podanie modułu ściśliwości.

### 2.2. Zbiorniki cieczy roboczej.

W układzie hydraulicznym zbiornik:

- gromadzi pod ciśnieniem atmosferycznym objętość cieczy niezbędną do prawidłowego funkcjonowania układu (wyrównuje różnicę objętości cieczy zasysanej przez pompę tłocznej do odbiornika),
- odprowadza do otoczenia ciepło wywiązujące się w układzie,
- ogranicza skraplanie się wody z powietrza i dostawanie się jej do oleju,
- ogranicza zapowietrzenie oleju,
- oddziela cząstki stałe zawarte w cieczy roboczej,
- stanowi podstawę do mocowania pomp jak też innych zespołów.

Istnieją pewne zasady ogólne rozpatrywane przy wyborze zbiornika i jego eksploatacji:

- objętość cieczy w zbiorniku powinna być równa 3 – 5 wydajności pompy,
- maksymalna wysokość zwierciadła cieczy nie powinna przekraczać w czasie eksploatacji zbiornika 85 – 90 % wysokości zbiornika,
- objętość poduszki powietrznej (powietrze zawarte pomiędzy zwierciadłem cieczy a pokrywą górną lub górną ścianą zbiornika) powinna wynosić 10 – 15 % wysokości zbiornika.

Temperatura cieczy roboczej podczas pracy układu hydraulicznego nie powinna przekraczać 50 – 60 °C. Za wysoka temperatura cieczy roboczej obniża lepkość cieczy i tym samym przyspiesza

starzenie, skraca żywotność uszczelnień. Przy niskiej temperaturze dochodzi do szybkiego zużycia elementów poprzez tarcie. Wobec występowania tych zjawisk realizowane jest chłodzenie lub nagrzewanie cieczy.

Gromadzone w układzie ciepło odprowadzane jest przez zbiornik i inne elementy układu do otoczenia. Często uwzględnia się tutaj kształt zbiornika. Wysokie zbiorniki są korzystniejsze dla odprowadzenia ciepła, niskie i szerokie dla wydzielania się powietrza.

Jeżeli objętość zbiornika nie będzie wystarczająca do odprowadzenia wytworzonej w układzie ilości ciepła stosuje się urządzenia chłodzące w postaci:

- chłodnic powietrznych (możliwa różnica temperatur do 25 °C),
- chłodnic wodnych (możliwa różnica temperatur do 35 °C).

Dla szybkiego otrzymania optymalnej temperatury pracy układu (np. warunki zimowe) stosuje się często nagrzewnice w postaci wkładek grzejnych lub podgrzewaczy przepływowych.

Zbiornik dzieli się na komory (zasysającą i zlewową), które oddzielone są przegrodami: rozdzielającą (od dna do wysokości niższej niż poziom lustra cieczy) i przegrodę siatkową (odgradzającą komory od dna do wysokości przekraczającej lustro cieczy).

Jedna komora w której umieszcza się przewód spływowy (zlewowy) ma na celu umożliwienie wydzielania się z cieczy powietrza i gromadzenie zanieczyszczeń zawartych w cieczy na dnie zbiornika.

Druga komora z przewodem ssawnym otrzymuje przelaną ciecz (pozbawioną powietrza i zanieczyszczeń) przez przegrodę rozdzielającą.

Przewody ssawne i zlewowe nie mogą być umieszczone blisko siebie (potrzeba odprowadzenia ciepła) i przy samym dnie (aby nie poruszać zanieczyszczeń). W tym celu zagina się je poziomo lub ucina pod kątem 45°.

Dno zbiornika jest ukośne a w obie komory zaopatrzone są w otwory spustowe dla odprowadzenia zanieczyszczeń i cieczy w razie remontu.

### 2.3. Filtry.

Do usuwania zanieczyszczeń stałych w krążącej cieczy stosuje się filtry. Ze względu na miejsce montowania filtry można podzielić na:

- ssawne, montowane w przewodzie ssawnym pompy (dokładność filtrowania 60 – 100 μm),
- wysokociśnieniowe, montowane w przewodzie tłocznym (dokładność filtrowania 3 – 5 μm),
- niskociśnieniowe, montowane w przewodzie spływowym (dokładność filtrowania 10 – 25 μm).

W zastosowanych powszechnie filtrach wykorzystuje się mechaniczną filtrację polegającą na przepuszczaniu cieczy przez element filtrujący z kanałami przepływowymi o mniejszych przekrojach niż wymiary zanieczyszczeń. Jako elementy filtrujące wykorzystuje się: siatki metalowe, włókna metalowe, pakiety płytek metalowych, tkaniny, papier, spieki proszków metali i elementy ceramiczne.

### 2.4. Pompy.

Pompa hydrauliczna otrzymując energię z zewnątrz (od napędu), zasysa ciecz ze zbiornika i tłoczy ją przez występujące opory do instalacji układu hydraulicznego. Moc mechaniczna w pompie zostaje zamieniona na moc hydrauliczną powstającą przy tym straty mocy, które wyraża sprawność.

Pompa powinna wytworzyć wymagane natężenie przepływu i ciśnienie cieczy.

Natężenie przepływu generowane przez pompę (wydajność pompy) zależy od typu i parametrów konstrukcyjnych rozpatrywanej pompy. Miarą wielkości pompy jest wydajność właściwa (objętość robocza, skokowa). Określa ona objętość cieczy wytłaczanej z pompy na jeden obrót. Liczba obrotów zatem jest tutaj szczególnie ważna, ponieważ wydajność pompy zależy wprost od nich.

W katalogach producenci posługują się pojęciem ciśnienia nominalnego.

Ciśnienie nominalne jest to najwyższa wartość ciśnienia w przewodzie tłocznym, która może zapewnić pompa w dowolnym czasie bez ujemnego wpływu na jej trwałość. Należy zatem liczyć się z możliwością uszkodzenia pompy w przypadku, gdy przekroczy jej wartości dopuszczalne.

Ciśnienie w układzie powstaje tylko wówczas, gdy ciecz napotyka na opory wewnętrzne (np. wynikają z sumarycznego tarcia w przewodach i zespołach, tarcia cieczy, strat przepływu w miejscach dławienia) i zewnętrzne (np. zależne od aktualnego obciążenia siłowników, tarcia mechanicznego, ze statecznego obciążenia i siły bezwładności). Ciśnienie cieczy w układzie hydraulicznym nie jest z góry ustalone przez pompę, tylko wytwarza się w zależności od istniejących oporów. W skrajnym przypadku ciśnienie może przekroczyć wartości przy której zostanie zniszczona najsłabsza część układu. Aby temu zapobiec w obudowie pompy umieszcza się zawór ograniczający ciśnienie jako zawór bezpieczeństwa na którym nastawia się maksymalne ciśnienie, dostosowane do pompy i układu.

Przy wyborze pompy rozpatrujemy też jej inne cechy jak: rodzaj pompy, rodzaj mocowania, temperatura pracy, wytwarzanie hałasu, rodzaj zalecanej cieczy roboczej.

## 2.5. Napędy układu hydraulicznego.

Napęd układu hydraulicznego realizowany jest ręcznie lub za pomocą silników (elektrycznych, spalinowych). W hydraulice stacjonarnej moc mechaniczną dla pompy dostarczają silniki elektryczne, w hydraulice pojazdowej – silniki spalinowe. W dużych maszynach i urządzeniach stosuje się centralne układy hydrauliczne, w których wszystkie odbiorniki układu są zasilane ze wspólnej instalacji zasilającej mającej jeden lub kilka agregatów. W celu oszczędności miejsca i mocy instalacje (przewody) ciśnieniowe, zlewowe i dla przecieków realizowane są zbiorczo.

## 2.6. Akumulatory

Akumulator hydrauliczny służy do stabilizowania ciśnienia przez magazynowanie energii, oddawanej potem w chwilach zwiększonego obciążenia stacji zasilającej. W nowoczesnych akumulatorach wewnątrz zbiornika umieszczony jest pęcherz z wypełnionym gazem (np. azotem), który oddziela od siebie gaz i ciecz. Gdy ciśnienie płynu rośnie następuje działanie cieczy na pęcherz i przez to zmiana geometrii wewnętrznej gazu. Przy obniżeniu się ciśnienia w układzie zmagazynowana w ściślim gazie energia jest oddawana do układu. Najogólniej do podtrzymania ciśnienia cieczy w układzie z pęcherzem wykorzystuje się sprężystość gazu.

## 3. Sterowanie.

Przenoszenie energii od pompy do odbiorników realizuje się przy pomocy przewodów hydraulicznych. Wzdłuż drogi przepływu cieczy montowane są elementy sterujące kierunkiem przepływu, natężeniem przepływu i ciśnieniem cieczy. Elementy sterujące przyjęto nazywać ogólnym pojęciem zawory.

Zawory to przyrządy służące do sterowania przepływem energii dzięki temu można sterować lub regulować kierunek przepływu, ciśnienie, natężenie przepływu a przez to i prędkość przepływu. W zależności od spełnianej funkcji- zadania rozróżnia się cztery rodzaje zaworów:

- rozdzielacze,
- zawory ciśnieniowe,
- zawory sterujące natężeniem przepływu,
- zawory odcinające.

Rozdzielacze – sterują kierunkiem (otwierają i zamykają drogę) przepływu strumienia cieczy do określonego miejsca obwodu hydraulicznego, przez co określają kierunki ruchu i położenie członów wykonawczych. Rozdzielacze mogą być sterowane ręcznie, mechanicznie, pneumatycznie,

hydraulicznie lub elektrycznie. Rozdzielacze sterowane elektrycznie wyposażone są w elektromagnesy skokowe określające funkcję wyłącz – załącz.

Zawory ciśnieniowe (przelewowe, reduktory ciśnienia, zawory maksymalne) – mają za zadanie regulowanie lub sterowanie ciśnieniem w całym układzie hydraulicznym lub jego określonej części.

Zawory sterujące natężeniem przepływu – współpracują z zaworami ciśnieniowymi, umożliwiają sterowanie lub regulację prędkości ruchu zespołów wykonawczych. Przy zasilaniu stałym natężeniem przepływu trzeba przepływ dzielić. Następuje to najczęściej przy współdziałaniu zaworów przepływowych i ciśnieniowych.

W zaworach odcinających wyróżnia się zawory zwrotne i zawory zwrotne sterowane. Zawory zwrotne umożliwiają przepływ cieczy tylko w jednym kierunku, przy drugim zamkniętym. Przy zaworach zwrotnych sterowanych kierunek zaporowy można otworzyć przez odpowiedni sygnał otwierający.

#### 4. Odbiorniki hydrauliczne.

W układach hydraulicznych wyróżnia się odbiorniki o ruchu liniowym (siłowniki) i obrotowym (silniki).

Siłowniki są członami napędów przetwarzającymi moc hydrauliczną w mechaniczną. Przez działanie ciśnienia na powierzchnię poruszającego się tłoka powstaje ruch liniowy.

Rozróżnia się:

- siłowniki jednostronnego działania – ciśnienie cieczy działa w nich tylko na jedną powierzchnię tłoka, przez co ruch roboczy odbywa się tylko w jednym kierunku (ruch powrotny następuje pod wpływem zewnętrznej siły lub działania sprężyny),
- siłowniki dwustronnego działania – ciśnienie cieczy działa w nich przemiennie na obie strony tłoka, przez co ruch napędzany zachodzi w obu kierunkach.

Silniki (napędy obrotowe) napędzane cieczą roboczą, przetwarzają moc hydrauliczną na moc mechaniczną z tym, że wytwarzają ruch obrotowy lub wahliwy.

Dla utrzymania równomiernej pracy siłowników należy z układu usunąć powietrze. Czyni się to przez umieszczenie automatycznego zaworu odpowietrzającego w najwyższym położonym punkcie układu. Również same siłowniki są dostarczane przez producentów ze śrubami odpowietrzającymi. Często króćce te wykorzystuje się do zamontowania przyrządów mierzących ciśnienie.

Przy wyborze siłownika powinny być uwzględniane: obciążenie, ciśnienie, sprawność siłownika, możliwości wyboczenia. Zależności te uwzględniają stosowne normy lub wykresy i dane katalogowe producenta.

#### 5. Symbole.

Dla zrozumienia działania układu, wprowadzono znormalizowane (norma ISO 1219) graficzne symbole (umowny abstrakcyjny rysunek), przedstawiające funkcjonalne cechy elementu lub urządzenia. W symbolach elementów pneumatyki i hydrauliki można zauważyć pewne wspólne cechy.

Pompy i silniki hydrauliczne są przedstawiane przez okrąg zaznaczony wałkiem napędowym lub odbiorczym. O kierunku przepływu informują zaczerpnięte trójkąty (ciecz) umieszczone w okręgu. W pneumatyce trójkąt pozostaje nie zaczerpnięty. Symbole pomp i silników hydraulicznych różnią się tylko przeciwnie skierowanymi wierzchołkami trójkątów. Pochylona strzałka umieszczona na symbolu oznacza, że istnieje możliwość zmiany nastaw.

Rozdzielacze są przedstawione jako wzajemnie przylegające kwadraty. Liczba kwadratów oznacza liczbę możliwych połączeń realizowanych przez dany rozdzielacz. Strzałki w kwadratach wskazują na kierunek przepływu. Linie pokazują jak przy danym wysterowaniu są połączone w poszczególne otwory doprowadzające i odprowadzające.

Do oznaczenia połączeń mają zastosowanie oznaczenia literowe: P, T, A, B, L (oznaczenia takie są wyróżnione m.in. przez firmę Festo w programach do edycji schematów i symulacyjnych np. Fluid Sim, Fluid Studio). Oznaczenia odnoszą się zawsze do położenia spoczynkowego zaworu. Jeżeli ono nie istnieje, to stosuje się oznaczenia odnoszące się do położenia jakie zajmuje rozdzielacz w położeniu wyjściowym układu. Położenie wyjściowe zawór zajmuje samoczynnie po usunięciu siły, która nim steruje.

W oznaczeniach rozdzielaczy zawsze na początku podaje się liczbę połączeń (dróg) a potem liczbę ich możliwych połączeń (kombinacji). Rozdzielacze mają przynajmniej dwa możliwe położenia i przynajmniej dwa połączenia. Na przykład rozdzielacz 2/2 jest rozdzielaczem dwudrogowym dwupołożeniowym.

Wysterowania (przełączanie) rozdzielacza może być realizowane w różny sposób (przyciski ręczne, pedały, zderzaki, wyłączniki krańcowe, przyciski z rolkami itp.), dlatego symbol praktyczny rozdzielacza zostaje uzupełniony o informację co do sposobu przełączania.

Do realizacji ruchu powrotnego służy sprężyna. Ruch powrotny rozdzielacza np. z zatraskiem może być też realizowany poprzez ponowny ruch przełączający.

Symbolem zaworów ciśnienia jest kwadrat. Strzałka wskazuje kierunek przepływu. Podłączenia (króćce) do zaworów można opisać przez P (podłączenie ciśnienia) i T (podłączenie do zbiornika) lub przez A i B.

Położenie strzałki w kwadracie pokazuje czy zawór w położeniu spoczynkowym jest zamknięty czy otwarty. W symbolu zaworów rozróżnia się też zawory o stałej nastawie i nastawialne. Nastawialne oznaczają się przez skośnie umieszczoną na sprężynie strzałkę.

#### 4.10.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

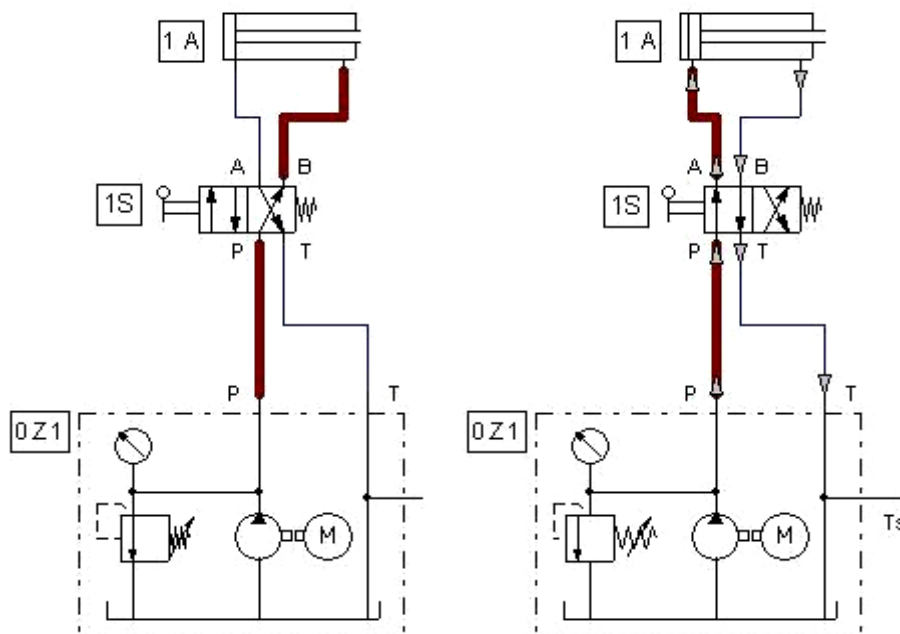
1. Jakie zalety i wady mają układy hydrauliczne?
2. Co rozumiesz pod pojęciem hydraulika i elektrohydraulika?
3. Jakie właściwości powinna mieć ciecz robocza urządzeń hydraulicznych?
4. Jakie zadanie spełnia zbiornik cieczy i jakie są zasady przy jego doborze?
5. Jaka rolę w układzie hydraulicznym pełnią filtry?
6. W jaki sposób realizowane jest sterowanie w układach hydraulicznych i elektrohydraulicznych?
7. Jaka rolę pełnią i jak można klasyfikować odbiorniki hydrauliczne?
8. W jaki sposób oznacza się elementy hydrauliczne i elektrohydrauliczne na schematach?

#### 4.10.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

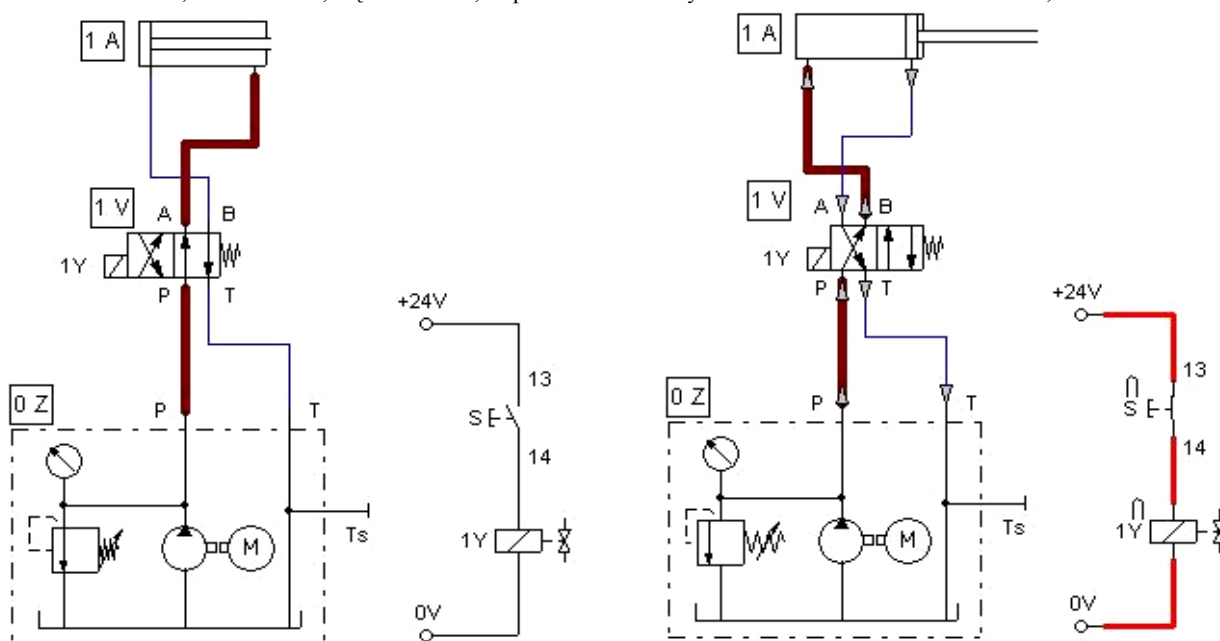
Dokonaj analizy działania i sterowania układów hydraulicznych i elektrohydraulicznych:

- a) wykorzystując symulacyjny program komputerowy (np. FestoSIM, Fluid Studio) dokonaj analizy budowy, zasady działania i sterowania wybranych elementów hydraulicznych i elektrohydraulicznych,
- b) na podstawie schematu zmontuj i uruchom wybrane układy hydrauliczne i elektrohydrauliczne:
  - sterowanie siłownikiem dwustronnego działania (rys. 30),
  - elektrohydrauliczny układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania (rys. 31)



**Rys. 29.** Sterowanie siłownikiem dwustronnego działania

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopaska R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005



**Rys. 30.** Elektrohydrauliczny układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania.

Źródło: Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopaska R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005

### Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z normami ISO 1219,
- 2) rozpoznać przedstawione na schemacie elementy,
- 3) na podstawie programu komputerowego rozpoznać ich budowę, dokonać analizy ich działania i konfiguracji połączeń,
- 4) wyróżnić zagrożenia od instalacji elektropneumatycznych układów napędowych hydraulicznych i elektrohydraulicznych,

- 5) ograniczać miejsce pracy do określonego w poleceniu (bezpieczne miejsce dla obsługi),
- 6) wyróżnić parametry elementów użytych w ćwiczeniu,
- 7) dobrać elementy do montażu,
- 8) pobrać z miejsca składowania elementy do montażu,
- 9) sprawdzać na bieżąco stan techniczny siłowników, elementów, przewodów i urządzeń zabezpieczających,
- 10) montować elementy układu w odpowiedniej kolejności na podstawie schematu, przy wyłączonym obiegu cieczy hydraulicznej,
- 11) używać sprawne i sprawdzone przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne zgodnie z instrukcją i przeznaczeniem,
- 12) zgłaszać prowadzącemu zajęcia gotowość instalacji do uruchomienia,
- 13) uruchomić układ zgodnie z procedurą i dokonać kontroli jego działania,
- 14) wyłączyć zasilanie,
- 15) demontować układ w odpowiedniej kolejności,
- 16) materiały, przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne, elementy złożyć w miejscu składowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dydaktyczny zestaw hydrauliki i elektrohydrauliki pozwalający w prosty sposób łączyć elementy i tworzyć różne aplikacje,
- system połączeń i konstrukcja nośna umożliwiająca tworzenie dowolnego układu sterowania hydrauliki i elektrohydrauliki,
- oprzyrządowanie i narzędzia specjalistyczne przewidziane przez producenta (np. zestawów edukacyjnych), dla potrzeb montażu, uruchamiania, kontroli pracy,
- programy dydaktyczne umożliwiające komputerowe tworzenie dowolnego układu sterowania hydrauliki i elektrohydrauliki umożliwiające symulację pracy i uszkodzeń (np. Fluid Studio, Fluid Sim firmy Festo)
- filmy dydaktyczne o treści instruktażowej ukazujące czynności i etapy pracy przy montażu, kontroli, obsłudze, diagnozowaniu, naprawie elementów,
- filmy dydaktyczne ukazujące zagrożenia od układów napędowych hydraulicznych i elektrohydraulicznych,
- normy, przepisy, dokumentacje techniczne i serwisowe, stanowiskowe, katalogi firmowe, instrukcje, rysunki, informacje techniczne dotyczące elementów napędowych, układów hydraulicznych i elektrohydraulicznych.

#### 4.10.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) zaprojektować prosty układ sterowania hydraulicznego i elektrohydraulicznego siłowników jednostronnego i dwustronnego działania, wykorzystując program komputerowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić działanie i zastosowanie wskazanych elementów hydraulicznych i elektrohydraulicznych ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wskazać zagrożenia od instalacji i urządzeń ciśnieniowych hydraulicznych i elektrohydraulicznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) montować układ sterowania hydraulicznego i elektrohydraulicznego siłowników jednostronnego i dwustronnego działania na podstawie schematu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) sterować pracą siłowników jednostronnego i dwustronnego działania w układach hydraulicznych i elektrohydraulicznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 4.11. Zasady montażu układów automatyki

### 4.11.1. Materiał nauczania

Podczas realizacji przydzielonego zadania obejmującego montowanie i testowanie wskazanego układu automatyki, należy przedsięwziąć szereg czynności, mających na celu prawidłowe jego wykonanie. Czynności te podzielone zostały na trzy etapy: planowanie, organizowanie stanowiska pracy, montaż i testowanie.

#### 1. Planowanie.

a) zaplanować i zapisać w odpowiednim formularzu kolejne czynności związane z montażem wskazanych układów automatyki na przykład: elektrycznych, pneumatycznych, elektropneumatycznych, hydraulicznych, elektrohydraulicznych,

b) zapisać w odpowiednim formularzu wykaz odzieży i środków ochrony indywidualnej, materiałów, elementów, narzędzi, przyrządów, sprzętu kontrolno-pomiarowego koniecznych do przeprowadzenia montażu wskazanych układów: elektrycznych, pneumatycznych, elektropneumatycznych, hydraulicznych, elektrohydraulicznych (np. olej, przewody, siłowniki, rozdzielacze, zawory, elementy logiczne, filtry, czujniki, wyłączniki, styczniki, przekaźniki, zabezpieczenia, elementy sygnalizacji i sterowania, wkrętaki, klucze, szczypce, cęgi, manometry, suwmiarka, przymiar, miernik uniwersalny),

c) wykonać w odpowiednim formularzu rysunki, schematy, szkice pomocnicze, obliczenia (np. siły użytecznej siłownika, prądu nastawy, rezystancji obciążenia) niezbędne do wykonania montażu układów pneumatycznych, elektropneumatycznych, hydraulicznych, elektrohydraulicznych, elektrycznych,

d) wyróżnić wszelkie zagrożenia jakie mogą zaistnieć podczas procesu montażu i wstępnego uruchomienia,

e) określić czas niezbędny do wykonania zadania.

#### 2. Organizowanie stanowiska pracy.

a) dobrać do przeprowadzenia montażu układu automatyki odzież roboczą i środki ochrony indywidualnej (np. kombinezon, beret, okulary ochronne, rękawice),

b) zapewnić czystość otoczenia (np. stanowiska, wózków transportowych) i materiałów (np. możliwość zanieczyszczenia cieczy hydraulicznej – właściwą cieczą napełniać przez filtry, potrzeba używania ściereczek bez włosków),

c) pobrać z miejsca magazynowania (składowania) materiały, narzędzia, sprzęt kontrolno-pomiarowy, elementy i urządzenia potrzebne do montażu układu automatyki,

d) dostarczyć na stanowisko pracy materiały, narzędzia, sprzęt kontrolno-pomiarowy, elementy i urządzenia potrzebne do montażu układu automatyki uwzględniając właściwy sposób transportu (np. instrukcje producenta), zgodnie z przepisami oraz zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska,

e) uważać na możliwości powstania uszkodzeń w czasie transportu, czynności te wykonywać według wskazań producenta,

f) sprawdzić kompletność materiałów, narzędzi, sprzętu kontrolno-pomiarowy, elementów urządzenia potrzebnych do montażu układu automatyki,

g) skompletować i rozmieścić na stanowisku pracy materiały, narzędzia, sprzęt kontrolno – pomiarowy i urządzenia potrzebne do montażu układu automatyki zgodnie z zasadami przepisami oraz zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska oraz dokumentacją i instrukcjami (np. na stanowisku rozmieścić tylko przedmioty niezbędne do operacji, częściej używane narzędzia i elementy umieścić bliżej, narzędzia trzymane w lewym ręku umieszczać z lewej strony, rysunki umieszczać w ramkach),

h) sprawdzić stan techniczny maszyn, materiałów, narzędzi, urządzeń i sprzętu zgodnie z przepisami oraz zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska oraz instrukcjami (np. naruszenie stanu izolacji, uszkodzenie trzonka, oznaczenie czerwoną kreską ciśnienia maksymalnego na manometrze).

### 3. Montaż i uruchomienie wskazanych układów automatyki.

a) dobrać elementy do montażu układu automatyki na podstawie schematu, dokumentacji i instrukcji np. przewody ciśnieniowe z tworzywa sztucznego dla przyłączy wtykowych, przewody o odpowiednich kolorach, czujnik Pt 100, elementy z zestawu do pneumatyki lub hydrauliki,

b) przy doborze rur, przewodów giętkich, łączników gwintowych/ kołnierzy zwrócić uwagę na: prawidłowy zakres ciśnienia, grubość ścian, materiał, ewentualne uszkodzenia,

c) przy doborze przewodów określić i sprawdzić: rodzaj przewodnika (Cu, Al) średnicę, rodzaj izolacji, kolor przewodów, stan izolacji,

d) dobrać wymagane narzędzia monterskie, np.: klucze (wewnętrzne – imbusowe, płaskie, nasadowe), wkrętaki (płaskie i krzyżowe), nożyce do cięcia rur i przewodów z tworzywa sztucznego, narzędzia pomiarowe (np. przymiar taśmowy, suwmiarkę), aparaturę kontrolno-pomiarową i przyrządy pomiarowe (np. manometr, woltomierz) do wykonania czynności montażowych i kontrolno-pomiarowych układów automatyki,

e) montować elementy układu automatyki zgodnie ze schematem, dokumentacją, instrukcjami w określonej kolejności, (np.: sterujące, wykonawcze, nastawcze, logiczne, zasilające), przy zastosowaniu procedury i zasad ogólnych i przewidzianych przez producenta (nie stosować nadmiernych sił, śruby mocujące dokręcać równomiernie przy zastosowaniu momentów dokręcających, stosować podkładki, zachować odpowiedni kierunek usytuowania przewodów przy wkręcaniu, uważać na mocowanie i prawidłowe ułożenie przewodów giętkich, uniemożliwić ocieranie się i uderzanie przewodów, zastosować odpowiednie łuki dla przewodów, stosować zalecane przez producenta uszczelki elastyczne),

f) kontrolować jakość wykonywanych prac montażowych układów automatyki, ewentualne nieprawidłowości usuwać na bieżąco,

g) posługiwać się w sposób prawidłowy narzędziami monterskimi, przyrządami pomiarowymi i aparaturą kontrolno-pomiarową podczas montażu układów automatyki,

h) sprawdzić prawidłowość połączenia (np. przewodów dla zapewnienia właściwego kierunku obrotu silnika) i usytuowania elementów układu automatyki (np. siłowniki nie mogą mieć kolizji) zgodnie z rysunkami, schematem, dokumentacją i instrukcjami,

i) uruchomić układ z zachowaniem procedury stosownej i wymaganej dla danego urządzenia (elektrycznego, pneumatycznego, hydraulicznego) posługując się wszelką dokumentacją i instrukcjami,

j) wykonać wstępne czynności sprawdzenia urządzenia bez obciążenia (np. działanie zabezpieczeń zmontowanego układu automatyki, szczelność układu, kierunek obrotu silnika wskazania aparatury kontrolno – pomiarowej,) na podstawie dokumentacji i instrukcji z zastosowaniem procedury wymaganej dla danego urządzenia,

k) porównać wartości parametrów z podanymi w zadaniu,

l) wyłączyć układ oraz zdemontować go we właściwej kolejności, posługując się we właściwy sposób odpowiednimi do zadania narzędziami,

m) na każdym etapie wykonania zadania (przygotowanie do montażu, montaż, uruchomienie, demontaż układu automatyki) utrzymać ład i porządek na stanowisku pracy, stosować się do zaleceń zawartych w instrukcji obsługi (np. instrukcji obsługi sprężarki), zasad i przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska,

n) uporządkować i oczyścić stanowisko pracy, urządzenia, sprzęt, narzędzia (np. ślady palców na częściach roboczych narzędzi pomiarowych przetrzeć szmatką lekko natłuszczoną wazeliną techniczną),

- o) uporządkować i ułożyć w miejscu magazynowania (składowania) narzędzia, sprzęt, elementy, przyrządy pomiarowe, aparaturę kontrolno-pomiarową oraz środki ochrony indywidualnej,
- p) zagospodarować zużyte materiały pomocnicze oraz odpady przez umieszczenie ich w odpowiednio dobranych i oznakowanych pojemnikach stosując się do lokalnych zasad i przepisów,
- q) ocenić realizację zadania w odniesieniu do założeń zawartych w treści zadania, dokumentacji i instrukcjach ze szczególnym zwróceniem uwagi na parametry i funkcję układu,
- r) wykonać zadanie w przewidzianym czasie.

### 4.11.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Czy potrafisz ustalić etapy wykonania zadania obejmującego montowanie i testowanie wskazanego układu automatyki?
2. Co rozumiesz pod pojęciem planowanie montażu i testowania wskazanego układu automatyki?
3. Co rozumiesz pod pojęciem organizowanie stanowiska pracy montażu i testowania wskazanego układu automatyki?
4. Co rozumiesz pod pojęciem montaż i testowanie wskazanego układu automatyki?
5. Czy potrafisz ustalić zasadę montażu dla wybranego układu automatyki?

### 4.11.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Wykonaj montaż i testowanie wskazanego układu automatyki. Realizując zadanie należy:

- ustalić etapy wykonania zadania,
- ustalić czynności na etapie planowania,
- ustalić czynności na etapie organizacji stanowiska,
- ustalić czynności na etapie montażu i testowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) ustalić etapy wykonania zadania posługując się układem zasad montażu (przedstawionym w punkcie 4.11.1) lub procedury postępowania ustalonej przez producenta,
- 2) ustalić czynności na etapie planowania,
- 3) ustalić czynności na etapie organizowania stanowiska,
- 4) ustalić czynności na etapie montażu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- wybrany układ automatyki,
- dokumentacja producenta i instrukcje stanowiskowe,
- przepisy i normy dotyczące wybranych elementów układu automatyki.

#### 4.11.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) ustalić etapy wykonania zadania wskazanego układu automatyki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) ustalić czynności planowania montażu i testowania wskazanego układu automatyki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) ustalić czynności organizowania stanowiska montażu i testowania wskazanego układu automatyki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) ustalić czynności wykonania montażu i testowania wskazanego układu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 4.12. BHP przy eksploatacji instalacji i urządzeń ciśnieniowych

##### 4.12.1. Materiał nauczania

###### 1. Zagrożenia wypadkowe.

Na zagrożenie wypadkowe przy pracy mają wpływ trzy czynniki: materialny, organizacyjny, ludzki.

Do czynnika materialnego zalicza się:

- materiały, surowce, produkty i półprodukty, materiały pomocnicze itp.
- teren szkolny, fabryczny: składowiska, pomosty, kanały, mosty, nasypy, ogrodzenia itp.
- budynki pomieszczenia i środowiska pracy: elementy konstrukcyjne budynków, instalacje elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne, grzewcze, sanitarne, wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia powietrza, cieczy itp.
- urządzenia techniczno – produkcyjne: maszyny i urządzenia związane z procesami produkcyjnymi (montaż, uruchomienie, konserwacja, serwis, naprawa), transportem oraz magazynowaniem poszczególnych urządzeń.

W skład czynnika organizacyjnego wchodzi: organizacja pracy na stanowisku roboczym, organizacja produkcji, organizacja działalności bhp w placówce oświatowej, zakładzie pracy i inne.

Do czynnika ludzkiego zalicza się człowieka wraz z jego indywidualnymi celami w stosunku do wymagań na danych stanowiskach roboczych.

Dla zmniejszenia liczby wypadków zorganizowano instytucjonalną działalność polegającą na stosowaniu nadzoru zapobiegawczego i nadzoru bieżącego.

Podstawą nadzoru zapobiegawczego jest:

- uwzględnienie wymagań bhp w projektach budowy i przebudowy obiektów, w projektach organizacji robót itp.
- stosowanie maszyn, urządzeń i narzędzi przystosowanych do wymagań BHP,
- stosowanie automatycznie działających urządzeń zabezpieczających, opracowanie normatywów, przepisów, zarządzeń, instrukcji i regulaminów BHP.

Podstawą nadzoru bieżącego jest:

- poprawienie organizacji pracy zgodnie z wymogami BHP,
- przeprowadzanie instruktaży, systematycznego szkolenia i doszkalania w zakresie bhp;
- popularyzacja i propaganda zasad bhp;
- korzystanie przez pracowników ze środków ochrony osobistej i zabezpieczeń;
- wdrażanie zatrudnionych do przestrzegania zasad BHP.

Profilaktyka wypadkowa ma trzy fazy: wykrycie, zgłoszenie i usunięcie zagrożeń.

## 2. BHP przy eksploatacji instalacji i urządzeń ciśnieniowych.

Podczas eksploatacji instalacji i urządzeń ciśnieniowych pneumatycznych i hydraulicznych obowiązują przepisy i normy bezpieczeństwa:

- Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym (Dz.U. Nr. 122, poz. 1321 oraz z 2002 r. Nr 74, poz. 676),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji niektórych urządzeń ciśnieniowych (Dz.U. Nr 135 poz. 1269),
- normy dotyczące urządzeń pneumatycznych i hydraulicznych (PN-EN 983:1999 – Pneumatyka, PN – EN 982: 1999 – Hydraulika),
- normy, przepisy, normowania i reguły techniczne dotyczące instalacji i urządzeń ciśnieniowych w szczególności określające i ustalające wymiary, postać, obliczenia, materiały i dopuszczalne obciążenie wymagane dla instalacji i urządzeń ciśnieniowych,
- zasady postępowania w przypadku kontroli instalacji i urządzeń ciśnieniowych wydawane przez organizacje i stowarzyszenia zawodowe,
- przepisy i zasady ogólne dotyczące zapobieganiu niebezpieczeństwom.

Główne ryzyko wypadkowe przy obsłudze urządzeń zawierających gazy i ciecze pod ciśnieniem stanowi niebezpieczeństwo wybuchu lub niekontrolowanego wypływu cieczy. Bezpośrednią przyczyną wypadków i awarii urządzeń jest ciśnienie. Najczęściej w wyniku jego działania następuje: rozerwanie zbiornika w wyniku zastosowania ciśnienia ponad dopuszczalną normę, rozerwanie zbiornika na skutek przepalenia lub uszkodzenia ścianek przez korozję, wyrwanie źle założonego uszczelnienia, wytrysk płynu na znajdujących się obok ludzi. Dlatego na wszystkich osobach, które mają kontakt z instalacjami i urządzeniami ciśnieniowymi nakłada się obowiązek wzmożonej ostrożności. Urządzenia ciśnieniowe powinny być obsługiwane przez osoby zaznajomione z niebezpieczeństwem oraz sposobami chronienia przed nim (np. sprężarki mogą obsługiwać osoby pełnoletnie z uprawnieniami).

Urządzenia, w których ciśnienie przekracza 0.07 MPa podlegają stałemu dozorowi technicznemu przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT). Każde takie urządzenie, powinno mieć dokładnie określone dopuszczalne ciśnienie maksymalne, po przekroczeniu, którego powinny zadziałać natychmiast urządzenia zabezpieczające przed awarią (np. zawory bezpieczeństwa). Poza tym urządzenie powinno posiadać aparaturę kontrolną, umożliwiającą obsłudze tych urządzeń orientować się w każdej chwili o wysokości ciśnienia panującego wewnątrz zbiornika. Tarcze manometrów powinny być dobrze oświetlone i mieć czerwoną kreskę, wskazującą najwyższe dopuszczalne ciśnienie. W pomieszczeniach, gdzie znajdują się urządzenia ciśnieniowe, muszą być zachowane prawidłowe warunki pracy dla tych urządzeń. Ponadto muszą być wywieszane instrukcje ich obsługi pod względem technicznym, bezpieczeństwa pracy oraz ochrony przeciwpożarowej.

Podczas wykonywania prac będziesz znajdował się w warunkach szczególnego zagrożenia zdrowia i życia. Wszelkie urządzenia należy traktować zawsze tak, jak gdyby mogły mieć zwarcie, spowodować wyciek lub obrażenie. Dlatego należy postępować według określonych zasad ogólnych oraz szczegółowych dotyczących poszczególnych urządzeń (pneumatycznych, hydraulicznych i elektrycznych).

### a) Zasady ogólne.

Należy:

- czytać uważnie dokumentacje techniczno-ruchowe i wszelkie instrukcje stanowiskowe,
- rozeznaczyć ewentualne zagrożenia i kontrolować je,
- zastosować się dokładnie do wskazówek i zaleceń i wymagań osoby prowadzącej zajęcia,
- postępować zgodnie z zaleceniami instrukcji,
- nosić odpowiednią odzież stosownie do wymagań,

- nosić tylko zatwierdzony sprzęt ochronny (np. przez Krajowy Instytut Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracowniczego),
- ograniczać miejsce pracy do określonego w poleceniu,
- unikać obsługi urządzeń, co do których nie jesteśmy pewni jego działania,
- znać wartości znamionowe (np. natężenia prądu elektrycznego, temperatury, ciśnienia) dla całego sprzętu, który podlega eksploatacji,
- realizować zasilanie urządzeń wzdłuż ścieżki ochronnej, aby nie zostały uszkodzone przez poruszający się osprzęt,
- stosować sprzęt jedynie w środowiskach dla których jest on obliczony i wykonany,
- przewidzieć, gdzie zostaną umieszczone przyciski; stop, wyłącznik awaryjny, zawory odcinające,
- przewidzieć swobodny dostęp do tych urządzeń,
- przed każdym uruchomieniem urządzenia, sprawdzić czy zabezpieczenia i urządzenia ostrzegawcze działają prawidłowo,
- uwzględnić w razie potrzeby wyłączenie (np. zagrożenie życia lub zdrowia, jeżeli w czasie pracy urządzeń stwierdzi się podwyższoną temperaturę, łuk elektryczny, swąd spalenizny),
- zgłaszać osobie prowadzącej zajęcia gotowość instalacji do uruchomienia,
- zgłaszać wszelkie nieprawidłowości i usterki,
- zdjąć osobistą biżuterię i zakryć lub spiąć z tyłu długie włosy,
- trzymać części ciała lub luźne ubranie z dala od poruszającego się sprzętu lub części,
- zatrzymać obracające lub przemieszczające się przedmioty przed dokonaniem pomiarów,
- zastosować w naprawach oryginalne części zamienne (wykonując modyfikacje możemy unieważnić zatwierdzenia i stworzyć zagrożenie dla bezpieczeństwa),
- składać zużyty sprzęt, odpady i zbędne materiały wykorzystane podczas pracy według lokalnych instrukcji i przepisów,
- przed spożywaniem posiłków i po wykonaniu prac zabrudzoną skórę należy myć odpowiednimi środkami BHP, mydłem i wodą.

Nie wolno:

- obsługiwać lub regulować jakiegokolwiek sprzętu bez obecności osoby uprawnionej (świadczenie kwalifikacyjne) i przeszkolonej w udzielaniu pierwszej pomocy,
- eksploatować urządzenia przy znanym wadliwym działaniu lub nieszczelności,
- obciążać urządzenia ponad nominalną wartość (np. ciśnieniem większym niż maksymalne obliczone ciśnienie robocze dla dowolnego elementu w układzie),
- przebywać w strefie roboczej urządzeń, oraz nie umieszczać tam żadnych przedmiotów przy włączonym układzie sterowania,
- ponownie uruchamiać lub obchodzić automatycznych blokad bezpieczeństwa lub zabezpieczeń,
- kierować strumienia powietrza i cieczy na siebie lub inne osoby a także na przedmioty na stanowisku,
- stosować sprężonego powietrza do usuwania pyłów z ciała lub ubrań,
- używać rozpuszczalników do usuwania brudnych plam ze skóry,
- składować łatwopalnych materiałów w pomieszczeniu ponad niezbędne minimum wynikające z procesu technologicznego, materiały te należy przechowywać w opisanych technologicznych pojemnikach (obecność materiałów łatwopalnych i przypadkowa iskra, może spowodować ogień lub wybuch co zwiększy prawdopodobieństwo obrażenia obsługi i uszkodzenia sprzętu),
- pozostawić zabrudzeń na jakimkolwiek sprzęcie wykorzystanym w czasie pracy( w procesie przywracania czystości stosować lokalne procedury porządkowe).

Ponadto należy być świadomym, że niektóre niebezpieczeństwa podczas zajęć z racji badań nie mogą być całkowicie wyeliminowane. Istnieje możliwość powstawania:

- gorących powierzchni pieców grzejnych i lutownic,
- ładunków elektrycznych od kondensatorów,

- reakcji alergicznych i innych problemów zdrowotnych wskutek stosowania różnych substancji w procesie technologicznym,
- przemieszczeń elementów wyposażenia bez ostrzeżenia.

b) w zakresie pneumatyki należy:

- zapoznać się z podstawową dokumentacją (dokumentacją techniczną – ruchową i instrukcją obsługi sprężarki, opisem technicznym i instrukcjami stanowiskowymi itp.),
- sprawdzać na bieżąco stan techniczny sprężarki, siłowników, elementów, przewodów i urządzeń zabezpieczających,
- ustawiać sprężarki w miejscu odosobnionym, dźwiękochłonnym, dobrze wietrzonym,
- stosować wyłącznie części zgodne z normą,
- uwzględnić wyraźną widoczność wartości ciśnienia roboczego,
- sprawdzić czy urządzenia są dopuszczone na maksymalne ciśnienie robocze,
- używać sprawdzone przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne,
- używać przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne zgodnie z instrukcją i przeznaczeniem,
- nie wykonywać połączeń przy włączonym obiegu sprężonego powietrza,
- zgłaszać nauczycielowi prowadzącemu gotowość instalacji do uruchomienia,
- zasilanie podłączyć dopiero po podłączeniu i sprawdzeniu wszystkich obwodów,
- podczas pierwszego uruchomienia urządzenia ciśnienie powoli nastawiać do ciśnienia roboczego,
- ograniczać miejsce pracy do określonego w poleceniu (bezpiecznego miejsca dla obsługi),
- nie przebywać w strefie roboczej urządzeń, oraz nie umieszczać tam żadnych przedmiotów przy włączonym układzie sterowania,
- przewidzieć montaż ręcznego wyłącznika odcinającego dopływ sprężonego powietrza w linii obsługującej urządzenie, pozwala to na obniżenie ciśnienia pneumatycznego i zamknięcie układu pneumatycznego przed wykonaniem czynności przeglądu,
- uwzględnić w razie potrzeby wyłączenie awaryjne urządzeń, stanowiska min. poprzez swobodny dostęp do przycisku awaryjnego.

Nieuwaga lub nieświadomość występowania zjawiska odrzutu może spowodować zagrożenie zdrowia lub życia obsługi. Najczęściej zjawisko to ma miejsce przy wypinaniu przewodu z instalacji stałej, naściennej, lub zamontowanej na wysokości. Człowiek wykonujący operację rozłączenia, oddziałując na kołnierz szybkozłącza jest w stanie spowodować jego otwarcie, nie trzymając drugą ręką przewodu z wtyczką. Gdy złącze znajduje się bezpośrednio nad głową człowieka stanowi to zagrożenie dla jego życia.

Innym niekorzystnym zjawiskiem jest hałas, który jest efektem akustycznym wynikającym z rozchodzenia się fal dźwiękowych o uciążliwym dla słuchu człowieka natężeniu (odgłosy pracy silników, maszyn, rozprężania powietrza itp.). W pneumatyce hałas powstaje głównie przy wytwarzaniu sprężonego powietrza (sprężarki) oraz przy jego wydmuchu (rozprężanie) z elementów roboczych. Metodami walki z hałasem jest montowanie sprężarek w osobnych pomieszczeniach, stosowanie obudów dźwiękoszczelnych, odpowiedniej technologii jak również tłumików hałasu na wylocie z elementów roboczych.

c) w zakresie hydrauliki należy:

- ograniczyć miejsce pracy do określonego w poleceniu (bezpiecznego miejsca dla obsługi),
- nie obsługiwać urządzeń, których funkcja nie jest znana,
- zapoznać się z podstawową dokumentacją (dokumentacją techniczną – ruchową i instrukcją obsługi urządzeń hydraulicznych, opisem technicznym i instrukcjami stanowiskowymi itp.),
- stosować części zgodne z normą instrukcją, zaleceniem i przeznaczeniem przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne,
- przewidzieć montaż ręcznego wyłącznika bezpieczeństwa w łatwo dostępnym miejscu,
- sprawdzić czy urządzenia są dopuszczone na maksymalne ciśnienie robocze,

- uwzględnić wyraźną widoczność wartości ciśnienia roboczego,
- używać sprawdzone przyrządy kontrolno-pomiarowe i narzędzia specjalistyczne zgodnie z instrukcją i przeznaczeniem,
- znać wszelkie wartości nastaw,
- chronić urządzenia przed uszkodzeniem i zanieczyszczeniem,
- nie wykonywać połączeń przy włączonym obiegu cieczy,
- sprawdzać na bieżąco stan techniczny agregatu hydraulicznego, elementów hydraulicznych, przewodów i urządzeń zabezpieczających,
- wykonać linie zasysające w taki sposób, aby umożliwić zasysanie powietrza,
- zainstalować awaryjny wyłącznik bezpieczeństwa w łatwo dostępnym miejscu,
- uwzględnić w razie potrzeby wyłączenie awaryjne urządzeń, stanowiska min. poprzez swobodny dostęp do przycisku awaryjnego,
- sprawdzić, czy wszystkie połączenia odprowadzenia zwrotne prowadzą do zbiornika,
- sprawdzić temperaturę oleju linii zasysającej pompy (nie może przekroczyć wartości nominalnej np.  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
- przed uruchomieniem urządzenie należy przepłukać, następnie odnowić filtry,
- nie wykonywać połączeń przy włączonym obiegu pompy i zasilaniu elektrycznym,
- zgłaszać osobie prowadzącej zajęcia gotowość instalacji do uruchomienia,
- zasilanie włączyć dopiero po podłączeniu i sprawdzeniu wszystkich obwodów,
- nie przebywać w strefie roboczej urządzeń, oraz nie umieszczać tam żadnych przedmiotów przy włączonym układzie sterowania,
- podczas pierwszego uruchomienia urządzenia prawie całkowicie otworzyć zawór ograniczenia ciśnienia i powoli nastawiać urządzenie na ciśnienie robocze,
- odpowietrzyć urządzenie i siłowniki, przewody hydrauliczne prowadzące do zasobnika,
- prace remontowe mogą być prowadzone dopiero po wypuszczeniu płynu z zasobnika, jeśli to możliwe, odłączyć zasobnik od urządzenia. Nie wypuszczać zawartości pojemnika w niekontrolowany sposób,
- dla zasobników ciśnieniowych obowiązują przepisy techniczne i muszą być regularnie kontrolowane.

- uniemożliwić kontakt oczu i skóry z cieczą hydrauliczną,

- zabezpieczyć rozlaną ciecz hydrauliczną.

d) w zakresie instalacji i urządzeń elektrycznych należy:

- zastosować wymagane przepisami środki ochrony przeciwporażeniowej,
- stosować dla urządzeń elektrycznych jedynie przewód elektryczny o właściwym przekroju i izolacji, aby sprostać potrzebom lokalnych warunków pracy i obliczeniowym wartościom prądu,
- podczas prac z urządzeniami rozłączyć zasilanie, tworząc widoczną przerwę (np. wtyczka wyciągnięta z zasilania, bezpiecznik topikowy wykręcony), miejsce rozłączenia zablokować i oznakować przed przypadkową eksploatacją,
- zaniechać pracy jeśli obecna jest stojąca woda,
- zaniechać połączeń elektrycznych, gdy jest podawane zasilanie.

3. W przypadku zaistnienia wypadku należy:

- wyłączyć urządzenie z ruchu w trybie awaryjnym,
- udzielić lub zapewnić udzielenie pierwszej pomocy osobom poszkodowanym,
- niezwłocznie zawiadomić osoby odpowiedzialne za stan BHP: inspektora BHP, dyrektora placówki,
- zabezpieczyć miejsce wypadku.



## 4.12.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Wskaż zagrożenia pochodzące od instalacji i urządzeń ciśnieniowych?
2. Określ sposoby zapobiegania zagrożeniom pochodzącym od instalacji i urządzeń ciśnieniowych?
3. Jak zareagować podczas sytuacji zagrożenia przy instalacji i urządzeniach ciśnieniowych.
4. W jaki sposób udzielić pierwszej pomocy osobie poszkodowanej w wypadku?

## 4.12.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Dokonaj analizy zagrożeń występujących podczas instalacji i eksploatacji wybranego urządzenia ciśnieniowego (np. przenośnej sprężarki).

Sposób wykonania ćwiczenia.

Dokonując analizy uczeń powinien rozpatrywać i pogrupować występujące zagrożenia według czynników: materialnego, organizacyjnego, ludzkiego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- sprężarka,
- dokumentacja producenta,
- instrukcje stanowiskowe,
- przepisy i normy dotyczące instalacji i urządzeń ciśnieniowych.

## 4.12.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wskazać zagrożenia pochodzące od instalacji i urządzeń ciśnieniowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zapobiegać zagrożeniom pochodzącym od instalacji i urządzeń ciśnieniowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) w sposób właściwy, zgodnie z procedurą, wyłączyć urządzenia ciśnieniowe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) właściwie zareagować podczas sytuacji zagrożenia, wypadku i udzielić pierwszej pomocy osobie poszkodowanej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

### Instrukcja dla ucznia

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Zapoznaj się z „Zestawem zadań testowych”.
3. Podpisz imieniem i nazwiskiem „Kartę odpowiedzi”.
4. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej „Karcie odpowiedzi”.
5. „Zestaw zadań testowych” składa się z zadań zamkniętych (zadań wielokrotnego wyboru).
6. Zadania wielokrotnego wyboru mają 4 wersje odpowiedzi, z których tylko jedna jest prawidłowa. Prawidłową odpowiedź należy zakreślić znakiem X we właściwym miejscu na karcie odpowiedzi.
7. W przypadku pomyłki błędna odpowiedź należy zakreślić kółkiem i ponownie zakreślić znakiem X odpowiedź prawidłową.
8. Jeżeli udzielenie odpowiedzi na jakieś pytanie sprawia Ci trudność, to opuść je i przejdź do zadania następnego. Do zadań bez odpowiedzi możesz wrócić później.

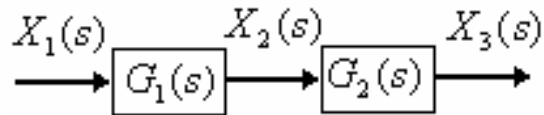
Celem przeprowadzanego pomiaru dydaktycznego jest sprawdzenie poziomu wiadomości i umiejętności, jakie zostały ukształtowane w wyniku zorganizowanego procesu kształcenia w jednostce modułowej „Montowanie i sprawdzanie układów automatyki”. Życzę powodzenia!

### Zestaw zadań testowych

1. Układ, w którym wielkość sterowana nie jest uwzględniana przy wyznaczeniu sygnału sterującego nazywamy:
  - a) zamkniętym układem sterowania,
  - b) otwartym układem sterowania,
  - c) układem z odchyłką regulacji,
  - d) układem wprowadzającym zakłócenie.
2. Urządzenie przetwarzające temperaturę na siłę termoelektryczną zgodnie z określonym prawem, nazywane jest:
  - a) czujnikiem generacyjnym,
  - b) sumatorem,
  - c) regulatorem,
  - d) zadajnikiem.
3. Rysunek przedstawia element możliwy do wykorzystania w układzie regulacji:
  - a) ciśnienia,
  - b) poziomu cieczy,
  - c) temperatury,
  - d) różnicy ciśnień.
4. Właściwość płynu polegająca na zmianie objętości określonej masy płynu pod wpływem zmian ciśnienia nazywamy:
  - a) wilgotnością,
  - b) ściśliwością,
  - c) lepkością,
  - d) gęstością.
5. Możliwości zastosowań urządzeń pneumatyki są ograniczone przez:
  - a) ściśliwość powietrza i niskie ciśnienie,
  - b) nastawianie w sposób ciągły prędkości i siły,



- c) małą masę urządzeń przypadającą na jednostkę mocy,  
d) niewybuchowość.
6. Oznaczeniem Pt 100 przyjęto opisywać:
- termorezystor platynowy,
  - termoelement typu J,
  - czujnik membranowy,
  - termistor NTC.
7. Najczęściej spotykane sygnały standardowe w pneumatyce wynoszą odpowiednio:
- $p = 0 \div 20 Pa$ ,
  - $p = 20 \div 100 Pa$ ,
  - $p = 100 \div 200 Pa$ ,
  - $p = 200 \div 600 kPa$ .
8. Transmitancja operatorowa bloku zastępczego  $G(s)$  połączenia kaskadowego (jak na rysunku obok) wynosi:
- $G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s)$ ,
  - $G(s) = \frac{G_1(s)}{G_2(s)}$ ,
  - $G(s) = \frac{G_1(s)}{1 \pm G_1(s) \cdot G_2(s)}$
  - $G(s) = G_1(s) + G_2(s)$ .

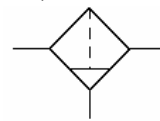


9. Idealną strukturę regulatora typu PI opisuje transmitancja:

- $G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$ ,
- $G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p (1 + T_d s)$ ,
- $G_R(s) = \frac{1}{T_i s}$ ,
- $G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$ .

10. Rysunek i symbol obok przedstawia (według normy ISO 1219):

- filtr sprężonego powietrza,
- zawór redukcyjny,
- zawór rozdzielający,
- pneumatyczny siłownik dociskowy.



11. Zmianę kierunku strumienia cieczy do określonego miejsca obwodu hydraulicznego (np. do komór siłownika) można zrealizować za pomocą:
- zaworu rozdzielającego,
  - zaworu redukcyjnego,
  - zaworu regulującego ciśnienie,
  - zaworu odcinającego.
12. Jeżeli na siłownik pneumatyczny o średnicy tłoka  $D = 20 \text{ mm}$ , działa siła  $F = 80 \text{ N}$ , to ciśnienie  $p$  w układzie będzie równe:
- $p = 542 \text{ kPa}$ ,
  - $p = 254 \text{ kPa}$ ,

- c)  $p = 452 \text{ kPa}$ ,
  - d)  $p = 1600 \text{ kPa}$ .
13. Jeżeli w układach hydraulicznych nastąpi uszkodzenie przewodu giętkiego należy:
- a) doraźnie obniżyć ciśnienie,
  - b) wyłączyć układ i natychmiast wymienić przewód,
  - c) sprawdzać poziom cieczy w zbiorniku,
  - d) wyłączyć awaryjny zawór bezpieczeństwa.
14. Urządzenia ciśnieniowe podlegają stałemu dozorowi Urzędu Dozoru Technicznego, jeżeli ich ciśnienie nominalne przekracza wartość:
- a)  $0,01 \text{ MPa}$ ,
  - b)  $0,07 \text{ MPa}$ ,
  - c)  $0,01 \text{ hPa}$ ,
  - d)  $0,07 \text{ hPa}$ .

## KARTA ODPOWIEDZI

Zakreśl poprawną odpowiedź w karcie odpowiedzi (tabela 5).

Imię i nazwisko ..... Klasa ..... Data .....

**Tabela 5.** Karta odpowiedzi dla jednostki modułowej pt. „Montowanie i sprawdzanie układów automatyki”

Nr zadania	Wariant odpowiedzi				Punkty
1.	a	b	c	d	
2.	a	b	c	d	
3.	a	b	c	d	
4.	a	b	c	d	
5.	a	b	c	d	
6.	a	b	c	d	
7.	a	b	c	d	
8.	a	b	c	d	
9.	a	b	c	d	
10.	a	b	c	d	
11.	a	b	c	d	
12.	a	b	c	d	
13.	a	b	c	d	
14.	a	b	c	d	
Razem:					

## 6. LITERATURA

Publikacje książkowe:

1. Górecki A., Grzegórski Z.: Montaż i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP, Warszawa, 1996.
2. Kijewski J, Miller A., Pawlicki K., Szolc T.: Maszynoznawstwo. WSiP, Warszawa, 1993.
3. Pizoń A.: Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki. WNT, Warszawa, 1995.
4. Szejnach W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. WNT. Warszawa, 2005.
5. Schmidt D., Baumann M., Kaufmann H., Paetzold H., Zippel B: Mechatronika. REA, Warszawa, 2002.
6. Kaczorek T, Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT. Warszawa, 2005.
7. Mikulczycki T. Podstawy automatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998

Czasopisma:

8. „Pneumatyka”. Wydawnictwo Lektorium, Wrocław. Dwumiesięcznik.
9. „Pomiary Automatyka Robotyka”. Wydawnictwo Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa. Miesięcznik.

W poradniku ponadto wykorzystano materiały pochodzące z katalogów firm:

10. APAR w Warszawie.
11. CPP Prema Kielce.
12. Festo Didactic w Warszawie.
13. Hydro – Vacuum S.A. w Grudziądzu.
14. Relpol S.A. w Żarach.
15. Zakładów Automatyki „Polna” w Przemyślu.
16. Zakładów Automatyki Polna-Śląsk Sp.zo.o. w Katowicach
17. ZETKAMA – Fabryka Armatury Przemysłowej S.A.w Kłodzku.