



MINISTERSTWO EDUKACJI  
NARODOWEJ



**Aleksandra Tomczak**

## **Stosowanie układów automatyki i sterowania 311[31].Z2.05**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**  
**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy**  
**Radom 2006**

Recenzenci:

mgr inż. Jacek Malec

mgr Barbara Przedlacka

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Małgorzata Urbanowicz

Konsultacja:

dr inż. Bożena Zając

Korekta:

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[31].Z2.05 „Stosowanie układów automatyki i sterowania” zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik technologii chemicznej.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	5
<b>3. Cele kształcenia</b>	6
<b>4. Materiał nauczania</b>	7
<b>4.1. Podstawowe pojęcia automatyki</b>	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	12
4.1.3. Ćwiczenia	12
4.1.4. Sprawdzian postępów	13
<b>4.2. Układy regulacji automatycznej</b>	14
4.2.1. Materiał nauczania	14
4.2.2. Pytania sprawdzające	34
4.2.3. Ćwiczenia	34
4.2.4. Sprawdzian postępów	38
<b>4.3. Sterowanie procesami i automatyzacja produkcji</b>	39
4.3.1. Materiał nauczania	39
4.3.2. Pytania sprawdzające	47
4.3.3. Ćwiczenia	47
4.3.4. Sprawdzian postępów	50
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	51
<b>6. Literatura</b>	57

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w zdobywaniu podstawowej wiedzy o układach sterowania i automatyki wykorzystywanych w przemyśle chemicznym.

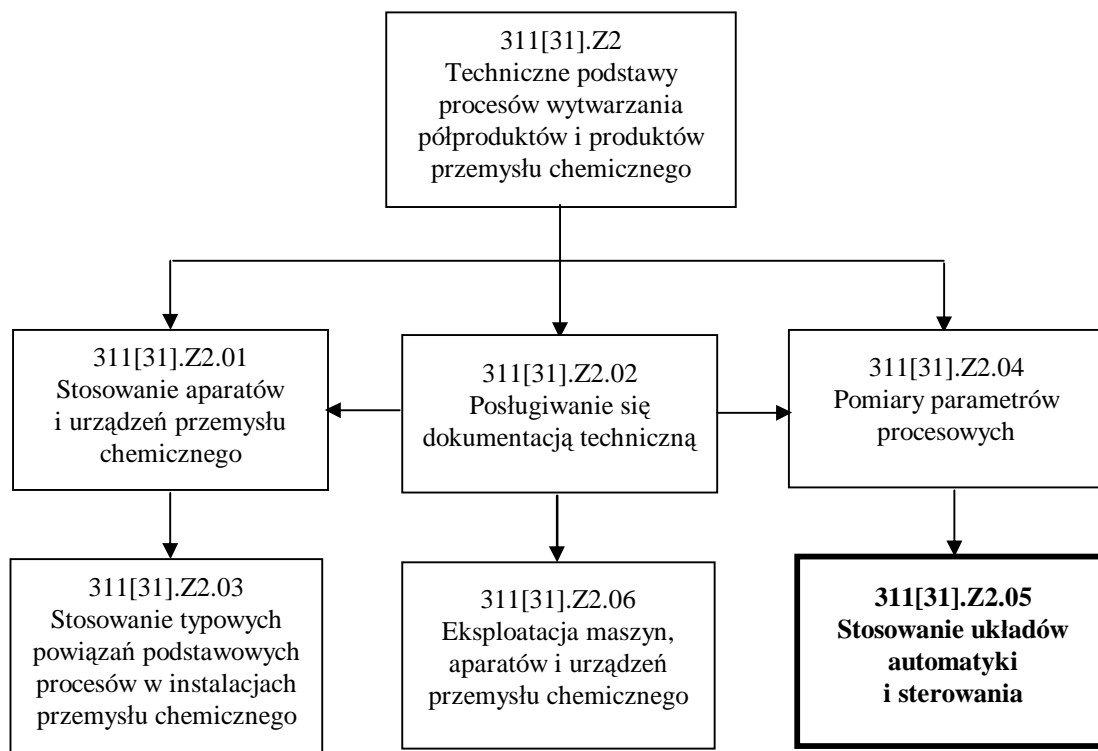
W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, czyli wykaz niezbędnych umiejętności i wiedzy, które powinieneś mieć opanowane, aby przystąpić do realizacji tej jednostki modułowej,
- cele kształcenia tej jednostki modułowej, czyli wykaz umiejętności i wiedzy, które powinieneś opanować po zapoznaniu się z zamieszczonym w tym poradniku materiałem,
- materiał nauczania (rozdział 4), który umożliwi Ci samodzielne przygotowanie się do wykonania ćwiczeń i zaliczenia sprawdzianów. W rozdziale tym, oprócz materiału nauczania, zamieszczono:
  - pytania sprawdzające, które pomogą Ci ustalić, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń,
  - opis ćwiczeń do wykonania wraz z wykazem materiałów potrzebnych do ich realizacji. Wykonanie zaproponowanych ćwiczeń pomoże Ci ukształtować umiejętności praktyczne,
  - sprawdzian postępów, czyli zestaw pytań sprawdzających, który pomoże Ci ustalić, które z zamieszczonych w materiale nauczania treści musisz jeszcze raz powtórzyć,
- sprawdzian osiągnięć,
- literaturę, dzięki której możesz poszerzyć swoją wiedzę.

Jeżeli będziesz mieć trudności ze zrozumieniem tematu lub ćwiczenia, to poproś nauczyciela o wyjaśnienie i ewentualne sprawdzenie, czy dobrze wykonujesz daną czynność.

## **Bezpieczeństwo i higiena pracy**

W pracy musisz przestrzegać regulaminu pracowni, przepisów bhp i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych. Szczególną uwagę musisz zwrócić na zasady bhp w czasie wykonywania ćwiczeń laboratoryjnych. W czasie przygotowywania stanowiska pracy zwróć uwagę na zasady ergonomii.



Schemat układu jednostek modułowych

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej, powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- stosować się do przepisów bhp obowiązujących w czasie wykonywania ćwiczeń,
- zorganizować stanowisko pracy zgodnie z wymogami ergonomii,
- określać zastosowanie podstawowych procesów chemicznych i fizycznych w technologii chemicznej,
- czytać proste schematy blokowe.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej, powinieneś umieć:

- wyjaśnić pojęcia: regulacja, obiekt regulacji, charakterystyka obiektu regulacji, regulator, siłownik, element wykonawczy, sterowanie układy sterowania,
- scharakteryzować budowę i zasadę działania urządzeń regulacji i sterowania,
- rozróżnić znormalizowane symbole urządzeń regulacji i sterowania,
- scharakteryzować zasady regulacji podstawowych parametrów procesowych,
- zorganizować stanowisko pracy laboratoryjnej,
- dokonać regulacji podstawowych parametrów procesowych,
- określić zasady sterowania podstawowymi procesami fizycznymi i chemicznymi,
- rozróżnić na schematach urządzenia sterowania i regulacji,
- określić przemysłowe zastosowanie urządzeń regulacji i sterowania,
- podać przykłady stosowania urządzeń regulacji i sterowania w podstawowych procesach fizycznych i chemicznych przemysłu chemicznego,
- zastosować wymagane przepisy bhp oraz ochrony przeciwpożarowej podczas wykonywania prac laboratoryjnych i w warunkach przemysłowych.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Podstawowe pojęcia automatyki

#### 4.1.1. Materiał nauczania

##### Układy sterowania

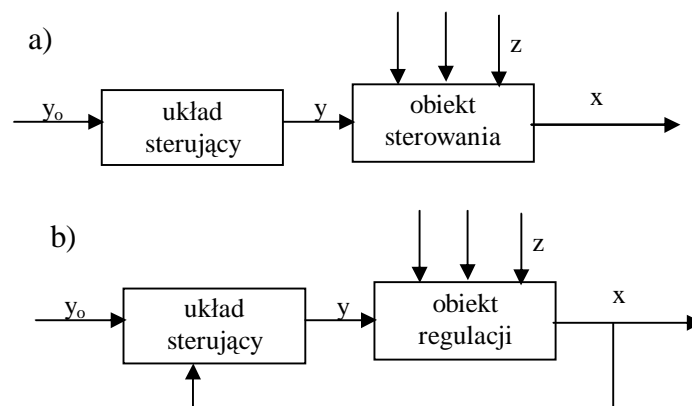
**Sterowanie** to celowe oddziaływanie na określony proces (**obiekt sterowania**) w celu osiągnięcia zamierzonego celu. Na przykład proces produkcji mocznika musi być prowadzony w temperaturze  $160^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ , w niższej temperaturze proces zachodzi ze zbyt niską wydajnością, w wyższej zachodzą niepożądane reakcje uboczne. Należy więc tak sterować wytwarzaniem mocznika, aby proces ten (który jest obiektem sterowania) zachodził w ściśle określonej temperaturze (w ten sposób osiągniemy zamierzony cel).

**Układ sterujący** (urządzenie sterujące) to urządzenie lub zespół urządzeń sterujących przebiegiem procesu.

**Układ sterowania** to zespół składający się z jednego lub więcej obiektów sterowania i układu sterującego. Można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje układów sterowania:

- otwarty,
- zamknięty (regulacja).

W układzie otwartym nie ma sprzężeń zwrotnych, tzn. stan obiektu sterowania, uzyskany w wyniku sterowania, nie wpływa na zmianę działania urządzenia sterującego (rys.1a).



$x$  – wielkość sterowania,  $y$  – wielkość sterująca,  $z$  – zakłócenia,  
 $y_o$  – sygnał wejściowy urządzenia sterującego

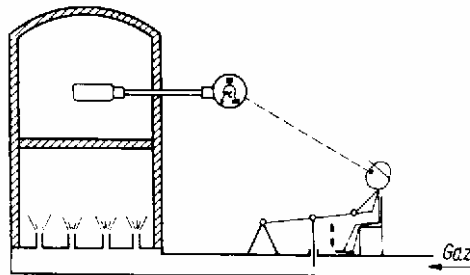
**Rys. 1.** Schemat blokowy układu sterowania: a) otwartego, b) zamkniętego [6]

W układzie zamkniętym wartość wielkości sterowanej jest wprowadzana do urządzenia układu sterującego przez sprzężenie zwrotne, tzn. stan obiektu sterowania, uzyskany w wyniku sterowania, wpływa na zmianę działania urządzenia sterującego (rys.1b). Sterowanie w układzie ze sprzężeniem zwrotnym nazywamy **regulacją**, a obiekt sterowania, w takim układzie, obiektem regulacji.



Układy sterowania można również podzielić na układy:

- sterowania ręcznego (operator kontroluje stan obiektu sterowania, porównuje go z wielkością zadaną i reguluje) (rys.2),
- sterowania automatycznego (zdalnego), w którym obowiązki operatora przejmuje układ sterujący.



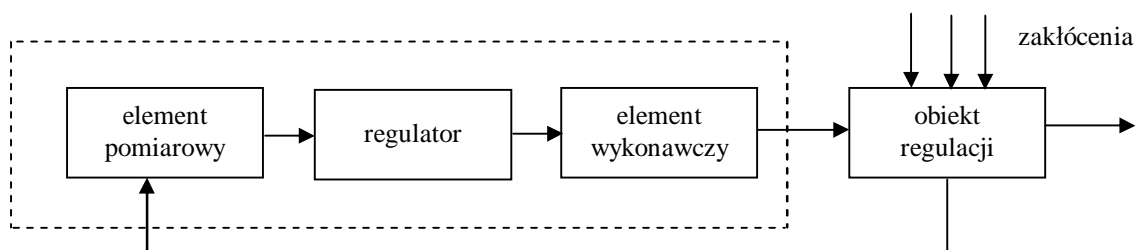
Rys. 2. Układ sterowania ręcznego temperatury w piecu opalanym gazem [4]

Bez względu na rodzaj układu sterowania, sam proces sterowania składa się z trzech etapów:

- wykonania pomiaru odchylenia wielkości regulowanej,
- porównania zmierzonej wartości wielkości regulowanej z wartością zadaną,
- regulacji wielkości regulowanej tak, aby osiągnęła ona wielkość zadaną lub bliską zadanej.

### Podstawowe elementy układu regulacji automatycznej

Aby spełniać postawione przed nim zadania, układ regulacji automatycznej musi składać się z co najmniej kilku, często bardzo skomplikowanych pod względem budowy i działania, elementów (rys.3).



Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji automatycznej [8]

Parametry technologicznych procesów chemicznych muszą być ściśle ustalone. Zmiana założonej temperatury, ciśnienia czy ilości reagentów nie tylko wpływa ujemnie na prawidłowy przebieg procesu, ale może stanowić poważne zagrożenie zdrowia i życia ludzkiego. O tym, czy proces przebiega zgodnie z założeniem mówią nam wartości wielkości fizycznych lub chemicznych charakterystycznych dla danego procesu. Ta wielkość, której wartość, ze względów technologicznych, należy utrzymać na określonym poziomie nazywana jest **wielkością regulowaną**. W przytoczonym wcześniej przykładzie produkcji mocznika, wielkością tą jest temperatura. W przemyśle chemicznym często zdarza się, że w jednym obiekcie sterowania (procesie technologicznym) jest kilka wielkości regulowanych, np. regulowane są równocześnie: temperatura, ilość dopływających surowców i ciśnienie.

Aby wiedzieć, czy wartość wielkości regulowanej nie odbiega od wartości założonej, należy ją na początek zmierzyć. Służy do tego **element pomiarowy** składający się z samego

czujnika lub czujnika z przetwornikiem pomiarowym. Elementem pomiarowym może być np. układ do pomiaru temperatury, ciśnienia, objętości strumienia reagentów.

Centralnym elementem układu regulacji jest **regulator**. Zadaniem regulatora jest porównanie wartości rzeczywistej wielkości regulowanej z wartością zadaną. Po porównaniu regulator przekazuje sygnał do **elementu wykonawczego**, który steruje wartością wielkości fizycznej nazywanej **wielkością sterującą**. Element wykonawczy składa się z: elementu nastawczego, który zmienia wartość wielkości sterującej i **siłownika** (wzmacniacza mocy), czyli elementu napędowego. Jeżeli wielkością sterującą jest strumień objętości reagenta, to elementem pomiarowym jest np. przepływomierz, a elementem nastawczym zawór.

### Charakterystyki obiektów regulacji i elementów automatyki

Charakterystyką obiektu regulacji nazywamy zależność według jakiej dany obiekt przekształca sygnał wejściowy na sygnał wyjściowy. Pełną charakterystykę obiektu regulacji uzyskuje się, badając zachowanie obiektu dla pełnego zakresu zmian sygnałów wejściowych.

Charakterystyki obiektu regulacji można podzielić na:

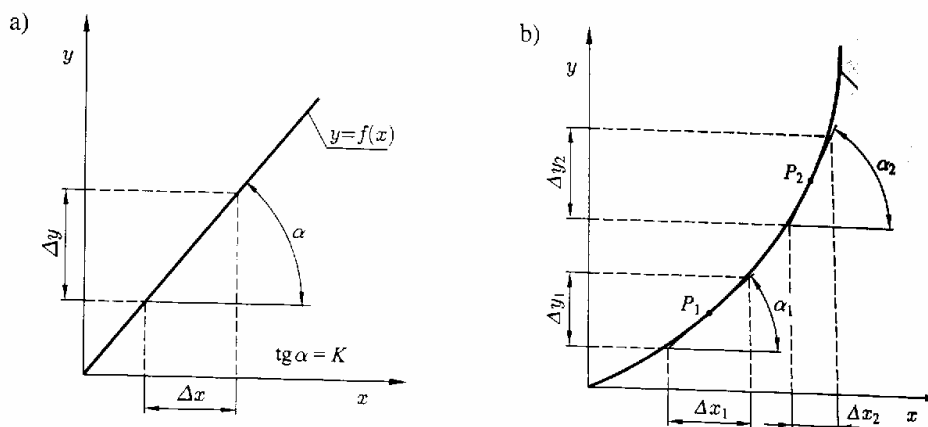
- statyczne,
- dynamiczne.

### Charakterystyki statyczne

Charakterystyka statyczna (rys.4) podaje zależność wielkości wyjściowej od wartości wejściowej w warunkach ustalonych czyli takich, w których po zadaniu wartości sygnału wejściowego sygnał wyjściowy nie ulega zmianie (lub zmienia się w ściśle określonym, niewielkim przedziale).

Charakterystyki statyczne można podzielić na:

- liniowe (nachylenie wykresu jest stałe dla wszystkich zbadanych punktów),
- nieliniowe.



$x$  – sygnał wejściowy,  $y$  – sygnał wyjściowy

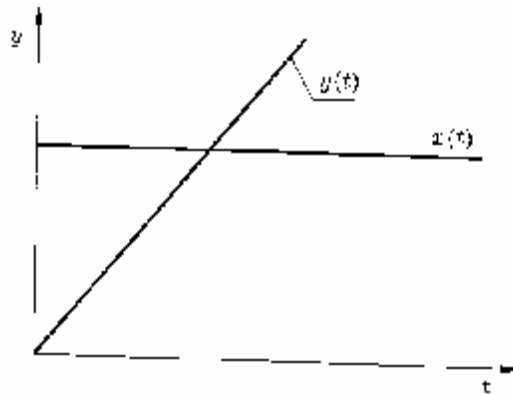
Rys. 4. Charakterystyka statyczna a) linowa, b) nieliniowa [3]

Przykładem przybliżającym zagadnienie tworzenia charakterystyk statycznych może być badanie charakterystyki układu składającego się z zaworu regulującego przepływ cieczy w rurociągu i napędzającego go siłownika. Zmieniając stopień otwarcia zaworu, zmieniamy równocześnie natężenie przepływu cieczy przez rurociąg w zakresie od 0 (przy całkowicie zamkniętym zaworze) do wartości maksymalnej (przy zaworze całkowicie otwartym). Jeżeli stopień otwarcia zaworu wyskalujemy w %, to możemy wyznaczyć zależność wartości

natężenia przepływu od stopnia otarcia zaworu w %. Zmieniając skokowo (np. co 10%) stopień rozwarcia zaworu i badając natężenie przepływu cieczy po każdej z tych zmian, uzyskujemy dane do sporządzenia charakterystyki obiektu. Aby była to charakterystyka statyczna, wartość badanego natężenia musi odpowiadać stanowi ustalonemu, czyli dla danego rozwarcia zaworu nie może ulegać zmianie. Stan taki następuje po pewnym czasie od chwili zmiany rozwarcia zaworu, tuż po zmianie mamy do czynienia ze stanem przejściowym, dla którego sporządzane są charakterystyki dynamiczne.

### Charakterystyki dynamiczne

W automatyce wiele uwagi poświęca się nie tylko stanom ustalonym, ale także zachowaniu obiektów regulacji w stanach przejściowych. Związane jest to z tym, że stabilny punkt pracy w warunkach ustalonych jest bardzo trudny do uzyskania w praktyce. Bez znajomości zachowania się obiektu w stanach przejściowych, nie da się dobrać do niego skutecznie działającego regulatora. Do opisu zachowania obiektu w stanach przejściowych służą charakterystyki dynamiczne (rys. 5), które podają zależność sygnału wyjściowego w funkcji czasu po zadaniu określonego przebiegu sygnału wejściowego.



$x(t)$  – sygnał wejściowy,  $y(t)$  – sygnał wyjściowy

Rys. 5. Charakterystyka dynamiczna odpowiedzi skokowej [3]

### Klasyfikacja układów regulacji automatycznej

Układy regulacji można klasyfikować biorąc pod uwagę różne kryteria podziału. Ze względu na budowę sprzętu regulacyjnego układy regulacji dzielimy na:

- pneumatyczne,
- hydrauliczne,
- elektryczne,
- mieszane (np. elektrohydrauliczne, elektropneumatyczne).

Ze względu na realizowane zadania układy regulacji można podzielić na układy:

- regulacji stałowartościowej, przeznaczone do utrzymania stałej wartości wielkości regulowanej, np. zapewnienia stałej temperatury w suszarce laboratoryjnej,
- regulacji programowej, w których wartość zadana wielkości regulowanej, zmienia się według określonego z góry programu, np. zmiany temperatury w klimatycznej komorze badawczej,
- regulacji nadążnej, w których wartość zadana wielkości regulowanej, zmienia się w czasie w sposób niemożliwy do dokładnego przewidzenia, np. zmiany temperatury w pomieszczeniu w zależności od temperatury na zewnątrz budynku (temperatury na zewnątrz nie da się dokładnie przewidzieć),

- sterowania adaptacyjnego, w których układ sterowania w zależności od warunków zewnętrznych lub zmian obiektu sterowania, zmienia algorytm sterowania dostosowując go do określonego kryterium jakości, np. sterowanie sygnalizacją uliczną w zależności od natężenia ruchu samochodów,
- sterowania optymalnego, w których układ sterowania tak kieruje obiektem, aby uzyskał on wartość optymalną (najlepszą z możliwych do uzyskania w danych warunkach) zgodnie z ustalonym kryterium,
- sterowania ekstremalnego, w których układ sterowania automatycznie utrzymuje max. lub min. wartości określonego parametru, np. mieszanie paliwa z powietrzem w celu uzyskania jak największej mocy silnika,
- sterowania sekwencyjnego, w których układ sterowania uruchamia kolejno ciąg prostych zadań, przy czym przejście do następnego etapu realizowane jest po zakończeniu poprzedniego, np. działanie programatora w pralce automatycznej.

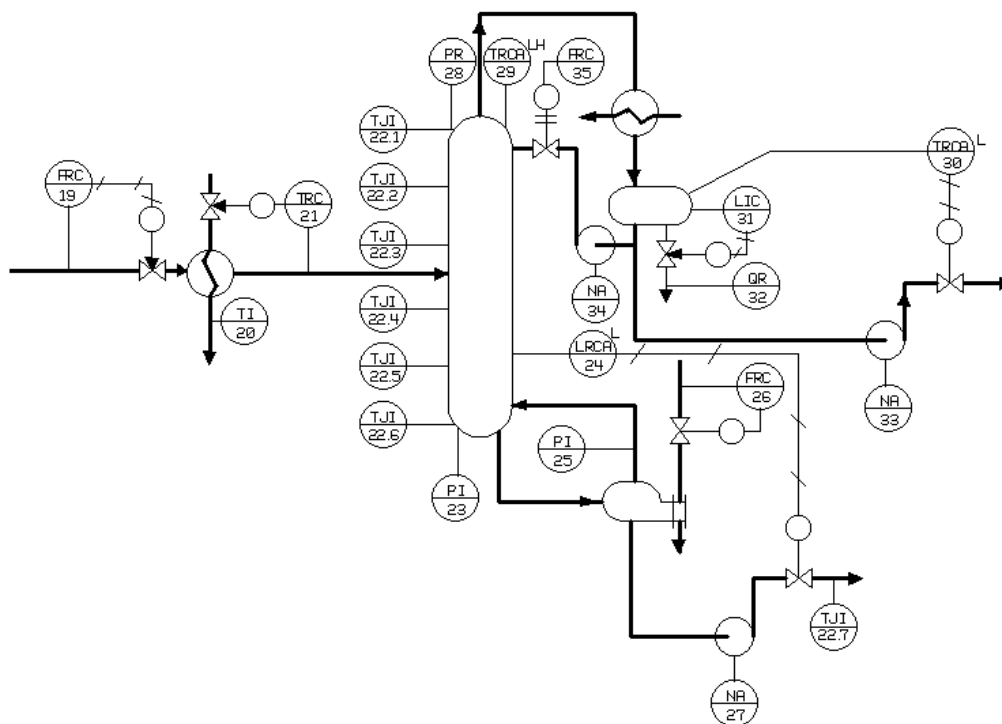
### Znormalizowane symbole urządzeń regulacji i sterowania

Oznaczenia i symbole graficzne elementów automatyki jakie znaleźć można na schematach zawarte były do niedawna w normie PN-89/M-42007.01 „Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia na schematach. Podstawowe symbole graficzne i postanowienia ogólne”. Pomimo, że norma ta została wycofana bez zastąpienia, symbole te nadal są stosowane. Kilka z nich przedstawione jest w tabeli 1.

**Tabela 1.** Wybrane symbole i oznaczenia stosowane w automatyce  
[opracowanie własne na podstawie PN-89/M-42007]

Nazwa	Symbol
Zespół przyrządów pomiarowych lub (i) elementów automatyki do pomiarów miejscowych (odbiór informacji w pobliżu miejsca poboru sygnału)	
Zespół przyrządów pomiarowych lub (i) elementów automatyki do pomiarów zdalnych (odbiór informacji np. na tablicy czy pulpicie sterowniczym)	
Punkt okresowego poboru sygnału	
Układ do pomiaru za zdalną rejestracją zawartości tlenku węgla(IV) w spalinach	
Linia sygnałowa z podanym kierunkiem przekazywania sygnału	
Zespół zaworu prostego z siłownikiem: element zamykający zawór przy zaniku energii pomocniczej siłownika utrzymuje się w określonym położeniu	
Symbol ogólny siłownika	
Siłownik elektromagnetyczny	
Wzmacniacz	
Zawór prosty	
Zawór zwrotny (umożliwiający przepływ czynnika tylko w jednym kierunku)	
Doprowadzenie sygnału- symbol podstawowy	
Miernik	
Regulator	

Przykład użycia znormalizowanych symboli elementów automatyki na schemacie przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Schemat automatyzacji kolumny destylacyjnej [15]

#### 4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie elementy wchodzi w skład układu sterowania?
2. Jak można zdefiniować obiekt regulacji?
3. Jak można zdefiniować element nastawny?
4. Co opisuje charakterystyka statyczna obiektu regulacji?
5. Co opisuje charakterystyka dynamiczna obiektu regulacji?
6. Gdzie odszukać można znormalizowane symbole elementów automatyki?

#### 4.1.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Na podstawie normy PN-89/M-42007.01 „Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia na schematach. Podstawowe symbole graficzne i postanowienia ogólne” i schematu przedstawiającego automatyzację kolumny destylacyjnej, określ, jakie elementy automatyki wykorzystywane są do automatyzacji procesu destylacji.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z normą PN-89/M-42007.01,
- 2) zapoznać się ze schematem automatyzacji kolumny destylacyjnej (rys. 6),
- 3) porównać symbole znajdujące się na schemacie z oznaczeniami zawartymi w normie,
- 4) podać elementy automatyki oznaczone na schemacie,

- 5) zakreślić miejsce na schemacie, w którym znajdują się elementy podane w punkcie 4,
- 6) zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- norma PN-89/M-42007.01 „Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia na schematach. Podstawowe symbole graficzne i postanowienia ogólne”,
- schemat automatyzacji kolumny destylacyjnej,
- literatura z rozdziału 6.

## Ćwiczenie 2

Przeprowadzono eksperyment, w którym skokowo zmieniano nastawę zaworu zamontowanego na rurociągu do przesyłu ropy naftowej i odczytywano natężenie przepływu po każdorazowej zmianie rozwarcia. Wartość natężenia przepływu odczytywano dopiero po ustaleniu się jego wartości. Wyniki tego badania znajdują się w tabeli poniżej. Wykreśl charakterystykę tego zaworu i określ jej rodzaj.

Tabela wyników

Nastawa zaworu [%]	Natężenie przepływu [dm <sup>3</sup> /min]
0	0
20	0,8
40	2,2
60	4,5
80	8
100	12

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania rozdział 4.1.1,
- 2) określić na podstawie treści zadania, w jakim stanie (ustalonym czy przejściowym) badano pracę zaworu,
- 3) narysować wykres zależności natężenia przepływu od rozwarcia zaworu,
- 4) określić, jaki rodzaj funkcji (liniowej czy innej) przedstawia przygotowany wykres,
- 5) określić rodzaj wykreślonej charakterystyki,
- 6) przedstawić wyniki pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier milimetrowy,
- przybory kreślarskie,
- literatura z rozdziału 6.

### 4.1.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) wyjaśnić pojęcia: sterowanie, regulacja, obiekt regulacji, charakterystyka obiektu regulacji?	..	..
2) wyjaśnić pojęcia: regulator, siłownik, element wykonawczy?	..	..
3) wymienić rodzaje układów sterowania?	..	..
4) rozróżniać znormalizowane symbole urządzeń regulacji i sterowania?	..	..

## 4.2. Układy regulacji automatycznej

### 4.2.1. Materiał nauczania

#### Klasyfikacja układów regulacji

Ze względu na rodzaj wielkości regulowanej, układy regulacji dzielimy na:

- regulujące napięcie,
- regulujące ciśnienie,
- regulujące temperaturę,
- regulujące natężenie przepływu cieczy,
- regulujące pH,
- i inne.

Pod względem sposobu pracy regulatorów układów regulacji, można podzielić je na:

- układy regulacji ciągłej. Są to najbardziej rozpowszechnione układy regulacji, w których zastosowano elementy pracujące w sposób ciągły w czasie i mające ciągłe charakterystyki statyczne;
- układy regulacji impulsowej. Charakterystycznym elementem impulsowych układów jest impulsator, który odpowiednio modyfikuje przekazywane sygnały. Układy te wykazują szybki rozwój ze względu na zastosowanie urządzeń cyfrowych jako regulatorów dyskretnych;
- układy regulacji przekaźnikowej. Zastosowano w nich elementy przekaźnikowe o nieciągłych charakterystykach statycznych.

Pod względem liczby wielkości regulowanych układy regulacji można podzielić na:

- jednowymiarowe (z jedną zmienną regulowaną),
- wielowymiarowe.

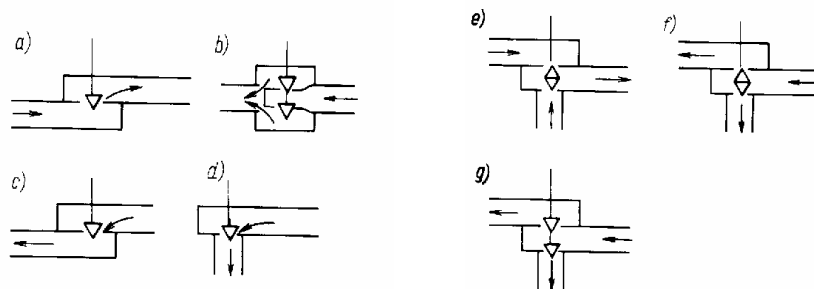
Biorąc pod uwagę budowę elementów, z których składa się układ regulacji, rozróżniamy:

- układy regulacji bezpośredniej,
- układy regulacji z energią pomocniczą: pneumatyczne, hydrauliczne, elektryczne.

#### Elementy nastawcze

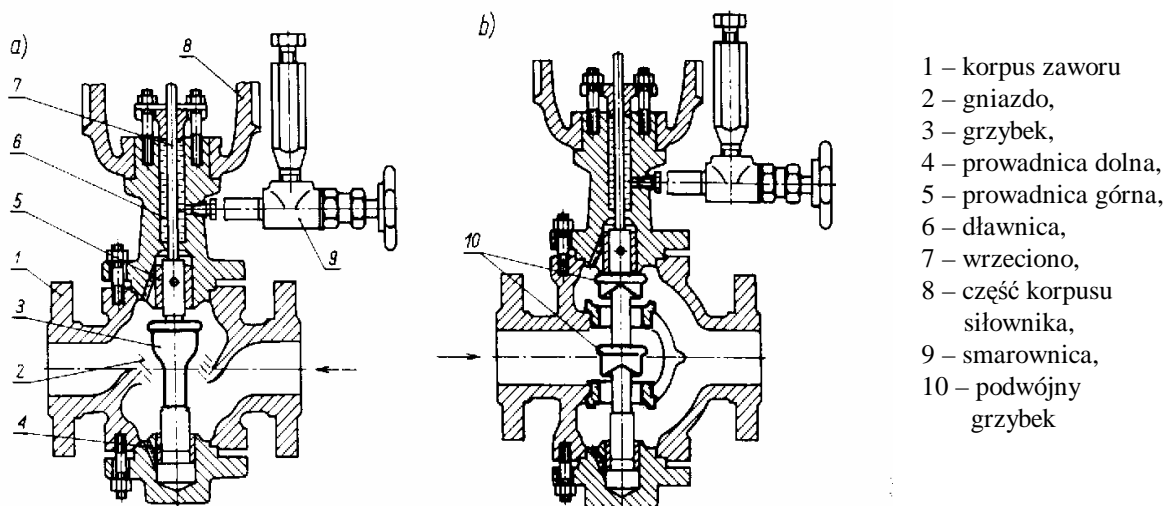
Najczęściej stosowanym elementem nastawczym w układach sterowania procesami chemicznymi jest zawór. Zawory służą do zmiany wielkości strumienia cieczy lub gazów. W zależności od warunków pracy stosowane są różne rodzaje zaworów nastawczych (rys. 7):

- jednogniazdowe (nisko lub wysokociśnieniowe),
- dwugniazdowe,
- trójdrożne (mieszające lub rozdzielające).



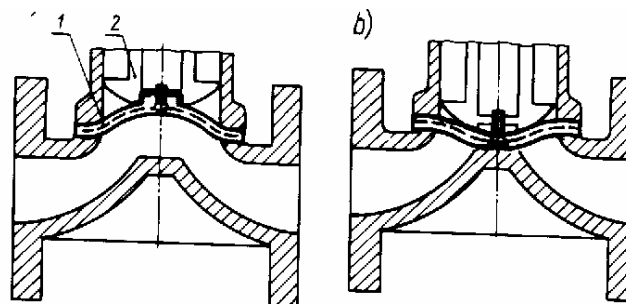
**Rys. 7.** Schematy konstrukcyjne zaworów: a) zwór jednogniazdowy, b) zawór dwugniazdowy, c) zwór jednogniazdowy wysokociśnieniowy prosty, d) zawór jednogniazdowy wysokociśnieniowy kątowy, e) zawór trójdrożny mieszający, f), g) zawory trójdrożne rozdzielające [4]

Te same zadania mogą spełniać zawory o zupełnie różnej budowie wewnętrznej. **Zawory regulacyjne o konstrukcji tradycyjnej** (grzybkowe rys. 8) i skomplikowanym kształcie korpusów narażone są na odkładanie się w ich wnętrzu osadów i działanie cieczy agresywnych. Często prowadzi to do ich nieszczelności pomimo stosowania odpowiednich uszczelnień. Zasadę działania zaworów grzybkowych można opisać w następujący sposób. W korpusie zaworu umieszczone jest gniazdo, do którego wchodzi dokładnie dopasowany grzybek. W czasie pracy grzybek, który porusza się ruchem posuwisto-zwrotnym, utrzymywany jest w osi gniazda za pomocą prowadnic. Ruch grzybka umożliwia wyprowadzone na zewnątrz zaworu wrzeciono, które przechodzi przez dławnicę z uszczelnieniem (najczęściej teflonowym) zapobiegającym przeciekom. Dodatkowym zadaniem dławnicy jest zabezpieczenie siłownika, który porusza wrzecionem zaworu, przed wpływem wysokiej temperatury prowadzonego przez rurociąg czynnika. Aby zmniejszyć tarcie pomiędzy wrzecionem a uszczelnieniem, wrzeciono jest smarowane przy użyciu smarownicy. Przesuwanie się grzybka w kierunku gniazda zmniejsza strumień przepływającej cieczy lub gazu.



Rys. 8. Zawory grzybkowe zaopatrzone w smarownicę a) jednogniazdowy, b) dwugniazdowy [4]

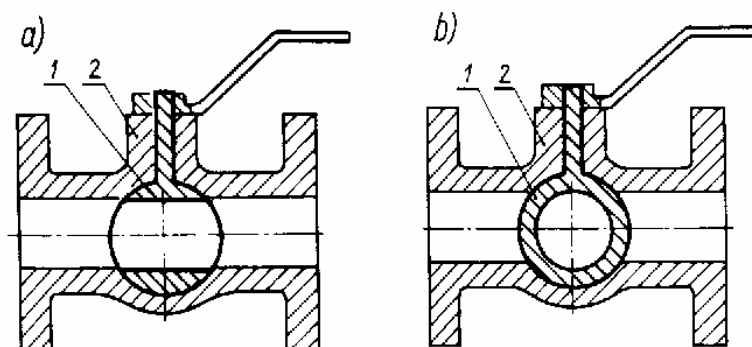
Aby uniknąć odkładania się zanieczyszczeń, opracowano między innymi **zawory przeponowe** o dużo prostszej budowie korpusu (rys. 9), w których elementem zamykającym przepływ, zamiast grzybka, jest elastyczna przepona poruszana przez trzbień. W zaworach tych elementy ruchome, takie jak trzbień, są zupełnie oddzielone od przepływającego rurociągiem czynnika. Zabezpiecza je to przed agresywnym działaniem, pod warunkiem dobrania materiału przepony do rodzaju przepływającego czynnika i warunków pracy.



Rys. 9. Zawór przeponowy a) w stanie otwartym, b) w stanie zamkniętym, 1 – przepona, 2 – trzbień [4]



Jako zawory nastawcze wykorzystywane są również **zawory kulowe**, charakteryzujące się małymi oporami przepływu i dużą szczelnością (rys. 10). W zaworach tych rolę grzybki pełni odpowiednio wydrążona kula.



**Rys. 10.** Schemat zaworu kulowego a) w stanie otwartym, b) w stanie zamkniętym, 1 – kula z otworem przelotowym, 2 – obudowa [4]

Materiał z jakiego wykonane są zawory zależy od warunków, w jakich mają pracować. Szczególnie ważna są: temperatura, ciśnienie i stopień agresywności przepływającego czynnika. Najczęściej jednak korpusy zaworów wykonywane są z żeliwa lub staliwa, natomiast grzybki i gniazda ze staliwa lub stali kwasoodpornej.

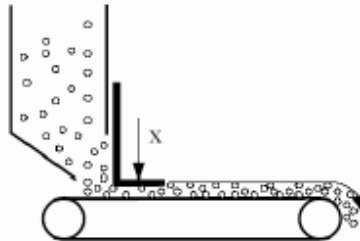
### Inne elementy nastawcze

W przypadku bardzo dużych przepływów zamiast zaworów stosuje się tzw. **przepustnice**. W zależności od warunków pracy przepustnice mogą być zbudowane z żeliwa, staliwa lub blachy stalowej. Do regulacji przepływu cieczy i gazów agresywnych stosowane są tzw. przepustnice ciężkie (rys.11) najczęściej klapowe (dyskowe). W przypadku dławienia przepływu powietrza np. w instalacjach wentylacyjnych czy klimatyzacyjnych stosowane są przepustnice żaluzjowe.



**Rys. 11.** Budowa przepustnicy szczelnej typu PRS [13]

Do elementów nastawczych należą również urządzenia do regulacji ilości materiałów sypkich wprowadzanych do procesu, takie jak **podajniki taśmowe** (rys.12) i **wibracyjne**. W przypadku podajnika taśmowego ilość materiału dostarczanego do procesu zależy od położenia zasuw regulującej grubość warstwy przesuwanego materiału i szybkości przesuwu taśmy. W podajniku wibracyjnym ilość dostarczanego materiału zależy od położenia zasuw i częstotliwości wibracji.



**Rys. 12.** Schemat podajnika taśmowego [11]

### **Siłowniki**

Siłowniki służą w układach regulacji automatycznej do nastawiania położenia zaworów i przepustnic. Stosowane są następujące rodzaje siłowników:

- pneumatyczne (membranowe i tłokowe),
- hydrauliczne (tłokowe i obrotowe),
- elektryczne (silnikowe i elektromagnetyczne),
- mieszane (elektropneumatyczne, elektrohydrauliczne).

### **Siłowniki pneumatyczne**

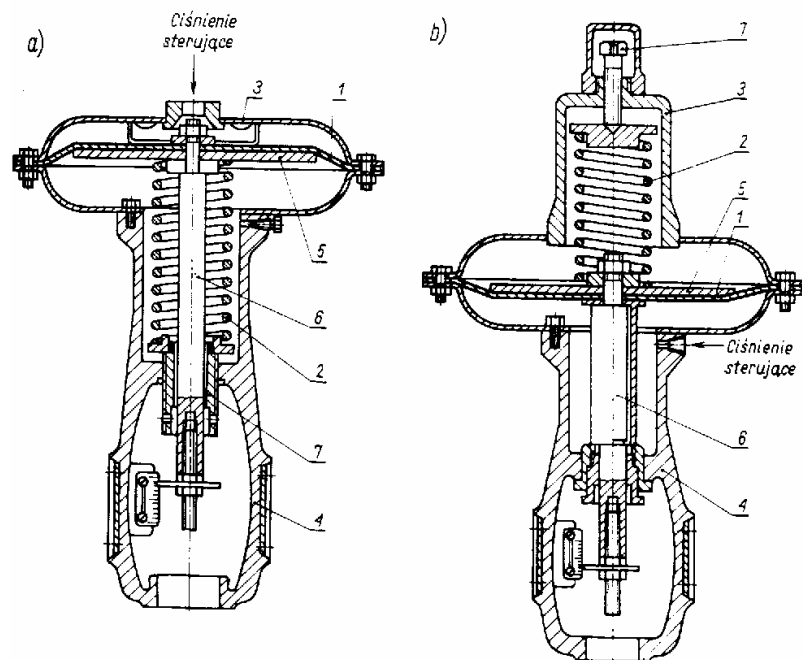
Siłowniki pneumatyczne są najbardziej rozpowszechnione. Można je podzielić na dwa podstawowe rodzaje:

- membranowe,
- tłokowe,

W obu rodzajach można wyróżnić:

- siłowniki ze sprężyną zwrotną,
- siłowniki bezsprężynowe,
- nastawniki pozycyjne.

W typowym siłowniku membranowym ze sprężyną zwrotną (rys. 13) ciśnienie sterujące działa na elastyczną membranę i wywołuje jej ugięcie. Pomiędzy membraną a sprężyną umieszczony jest sztywny talerz, który przekazuje nacisk membrany na sprężynę. Przy pewnej wartości ugięcia sprężyny następuje zrównoważenie siły wywieranej przez membranę i siły jaką sprężyna oddziałuje na membranę. Równowaga ta następuje dla różnych wartości ugięcia membrany w zależności od działającego na nią ciśnienia. Wstępny naciąg sprężyny ustawiany jest za pomocą śruby regulacyjnej.

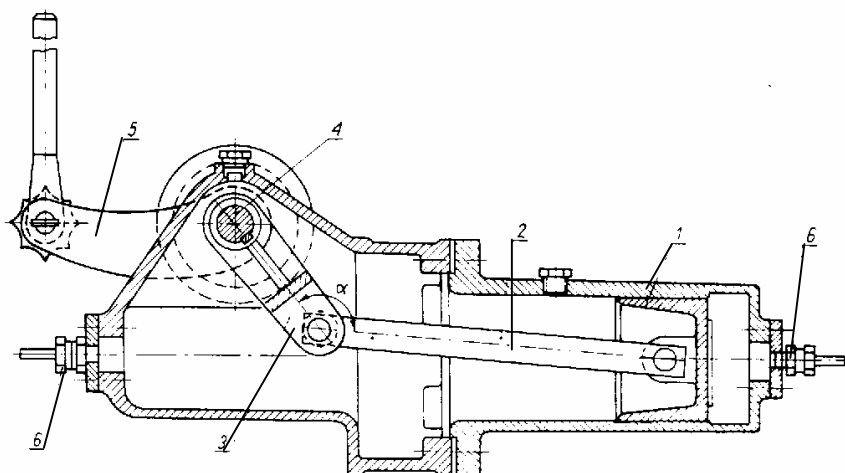


**Rys. 13.** Siłownik pneumatyczny membranowy o działaniu a) prostym, b) odwrotnym [4]  
 1 – membrana, 2 – sprężyna, – pokrywa górna, 4 – obudowa dolna, 5 – talerz, 6 – trzbień, 7– śruba regulacyjna

W celu poprawy dokładności i szybkości działania siłowników pneumatycznych wyposaża się je w tzw. nastawniki pozycyjne.

### Siłowniki hydrauliczne

W regulacji procesów chemicznych najczęściej stosowanymi siłownikami hydraulicznymi są siłowniki tłokowe proste i korbowe (rys.14). W siłowniku korbowym ruch tłoka przenoszony jest za pośrednictwem korbowodu na korbę i zamieniany na jej ruch obrotowy.



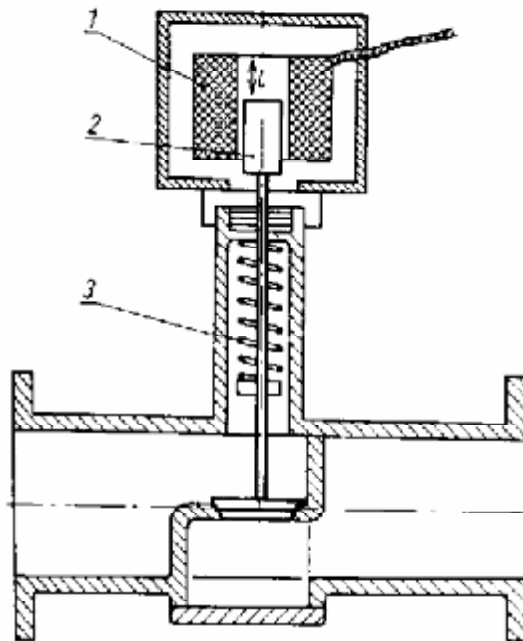
**Rys. 14.** Siłownik hydrauliczny tłokowy: 1 – tłok, 2 – korbowód, 3 – korba, 4 – oś, 5 – korba zewnętrzna, 6 – obudowa dolna

6 – doprowadzenie ciśnieniowych przewodów sterujących [4]

Siłowniki hydrauliczne sterowane są zwykle za pośrednictwem rozdzielaczy (elementów wzmacniających).

### Siłowniki elektryczne

Do sterowania zaworami odcinającymi (całkowicie zamykającymi lub otwierającymi przepływ) o niewielkich średnicach nominalnych wykorzystuje się często siłowniki elektromagnetyczne (rys. 15). Przepływ prądu przez uzwojenie elektromagnesu powoduje powstanie siły wciągającej rdzeń i natychmiastowe wciągnięcie go do góry. Podniesienie rdzenia całkowicie otwiera zawór. Stosowane są również siłowniki, w których załączenie elektromagnesu powoduje zamknięcie zaworu.



Rys. 15. Siłownik elektromagnetyczny [4]

1 – uzwojenie, 2 – rdzeń, 3 – sprężyna zwrotna

### Regulatory bezpośrednie

Regulatory, które do sterowania elementem wykonawczym pobierają energię od regulowanego procesu, nazywamy regulatorami bezpośrednimi.

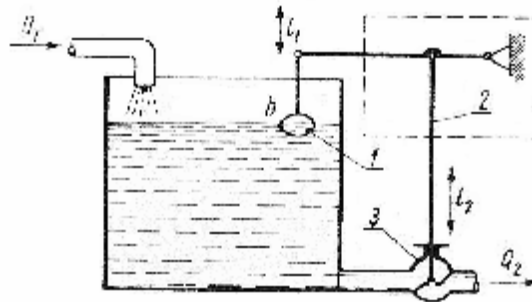
Układy regulacji bezpośredniego działania są układami: prostymi, tanimi, nie wymagają dotrzymywania specjalnych warunków eksploatacyjnych oraz charakteryzują się dużą niezawodnością. Są mało dokładne i mają ograniczony zakres zastosowania.

Najczęściej używa się je do regulacji:

- ciśnienia,
- temperatury,
- natężenia przepływu,
- poziomu cieczy w zbiorniku.

W przemyśle chemicznym są często stosowane, szczególnie w zakładach o prostych procesach technologicznych, mało skomplikowanej aparaturze.

Przykładem układu regulacji bezpośredniego działania jest układ regulacji poziomu cieczy w zbiorniku (rys. 16):



**Rys. 16.** Bezpośredni układ regulacji automatycznej poziomu cieczy w zbiorniku [7]  
1 – pływak, 2 – dźwignia, 3 – zawór

Jeżeli natężenie dopływu cieczy  $Q_1$  powiększy się, poziom  $h$  cieczy w zbiorniku zacznie wzrastać, co spowoduje ruch pływaka ku górze. Wówczas dźwignia również przesunie się ku górze, otwierając zawór umieszczony w przewodzie odpływu. Natężenie odpływu  $Q_2$  zostanie powiększone i poziom cieczy wróci do poziomu  $h$ .

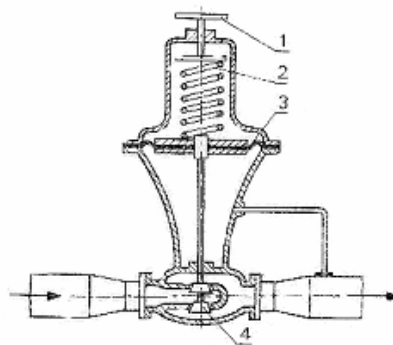
**Tabela 2.** Części funkcjonalne występujące w bezpośrednim układzie regulacji automatycznej poziomu cieczy w zbiorniku [opracowanie własne]

Człon układu regulacji	Regulator bezpośredni
Cel regulacji	Utrzymanie określonego poziomu wody w zbiorniku
Przyrząd pomiarowy	Pływak
Element wykonawczy	Zawór
Siłownik	Pływak
Regulator	Układ dźwigni o odpowiednim położeniu

Układ pomiarowy dostarcza jednocześnie energii potrzebnej na uruchomienie organów nastawczych, a więc spełnia rolę siłownika.

Zmierzony poziom wody pływakiem wpływa na odpływ wody ze zbiornika, a więc na poziom; zmniejszenie poziomu przyniża odpływ wody, zwiększenie się poziomu zwiększa odpływ. Występuje tu sprzężenie zwrotne ujemne.

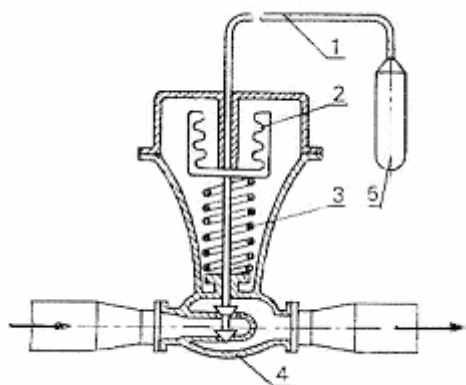
Układy bezpośredniej regulacji można stosować także do regulowania ciśnienia.



**Rys. 17.** Bezpośredni regulator ciśnienia na odpływie: 1 – pokrętło wartości zadanej, 2 – sprężyna, 3 – przepona elastyczna, 4 – zawór dwugniazdowy [9]

Jest to regulator stosowany do regulacji ciśnienia na odpływie, tzn. że bez względu na zmiany ciśnienia gazu dopływającego, gaz po przepłynięciu zaworu będzie miał stałą wartość ciśnienia. Gaz przepływa przez zawór dwugniazdowy i rozpręża się. Przestrzeń nad zaworem połączona jest z komorą siłownika, zamkniętą od góry przeponą elastyczną, na którą od góry działa sprężyna ograniczona pokrętkiem zadanej wartości regulatora. Zbyt duże ciśnienie gazu nad zaworem zwiększa siłę działania na przeponę od dołu, powodując zamknięcie zaworu. Gdy ciśnienie za zaworem obniży się, maleje siła działania na przeponę od dołu i sprężyna uprzednio ściśnięta zwiększy otwarcie zaworu.

Za pomocą regulatorów bezpośredniego działania można regulować również temperaturę.

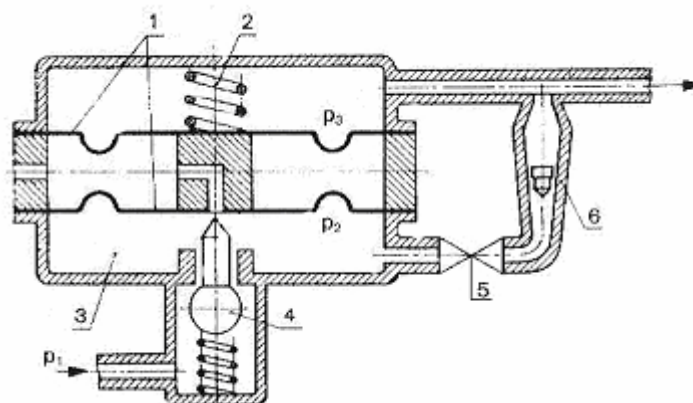


**Rys. 18.** Bezpośredni regulator temperatury [9]

1 – kapilara, 2 – mieszek sprężynowy, 3 – sprężyna, 4 – zawór, 5 – czujnik

Przez zawór 4 przepływa para ogrzewająca za pośrednictwem węzownicy zawartość zbiornika. Gdy temperatura cieczy w zbiorniku jest zbyt wysoka, zwiększa się ciśnienie czynnika termometrycznego w układzie pomiarowym, sprężyna odkształca się i zawór zostaje zamknięty. Gdy temperatura obniży się, spada ciśnienie w układzie pomiarowym, sprężyna rozpręża się, otwierając zawór i zwiększa dopływ pary do węzownicy.

Natężenie przepływu gazów również może być regulowane przy użyciu regulatora bezpośredniego.



**Rys. 19.** Bezpośredni regulator natężenia przepływu [9]

1 – zespół przepon elastycznych, 2 – sprężyna, 3 – komora dolna, 4 – zwieradło stożkowe kuliste, 5 – przewężenie, 6 – rotametr

Bezpośredni regulator natężenia przepływu gazów działa na zasadzie utrzymania stałości różnicy ciśnień ( $p_2 - p_3$ ), wyposażony jest w rotametr lub inne urządzenie pomiarowe natężenia przepływu. Ciśnienie  $p_2$  działające na zespół przepon od dołu równoważone jest przez ciśnienie  $p_3$  działające na zespół przepon od góry wraz ze sprężyną 2. Jeżeli ciśnienie  $p_3$  zwiększy się, zespół przepon przesunie się ku dołowi, zamykając odpływ powietrza z dolnej komory regulatora do otoczenia za pomocą stożkowego zawieradła, otwierając jednocześnie dopływ powietrza o ciśnieniu  $p_1$ . Nastąpi zwiększenie ciśnienia  $p_2$ .

We wszystkich przedstawionych regulatorach bezpośredniego działania występuje zawór regulacyjny, którego zawieradło jest sterowane energią procesu regulowanego za pośrednictwem zespołu mierzącego poziom, ciśnienie czy temperaturę.

W regulatorach ciśnienia, temperatury i natężenia przepływu istnieje możliwość zmiany wartości zadanej, regulator poziomu cieczy nie ma tej możliwości.

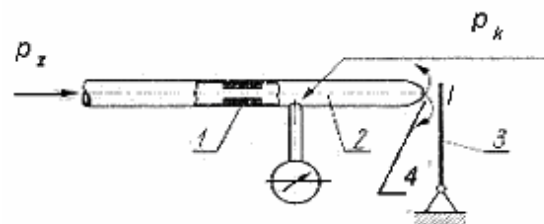
### Regulatory pośredniego działania

W przemyśle chemicznym regulatory pneumatyczne pośredniego działania są najczęściej stosowane, rzadziej elektryczne, a układy hydrauliczne tylko w nielicznych przypadkach.

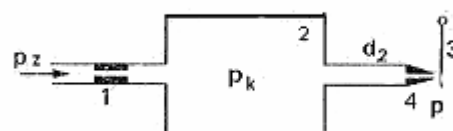
### Regulatory pneumatyczne

Nośnikami sygnałów przekazywanych między zespołem pomiarowym a regulatorem oraz między regulatorem a zespołem wykonawczym są zmiany ciśnienia sprężonego powietrza. Sprzęt pneumatyczny charakteryzuje się dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi, dużym bezpieczeństwem działania, prostotą budowy. Regulatory pneumatyczne zapewniają szeroki zakres ustawień wartości nastaw, np.: współczynnika wzmocnienia regulatora, czasu wyprzedzenia, czasu zdwojenia. Ujemną stroną regulatorów pneumatycznych jest kłopotliwa współpraca z elektrycznymi, cyfrowymi urządzeniami sterującymi, które są często stosowane w przemyśle chemicznym.

Podstawowym elementem regulatora pneumatycznego jest zespół dysza-przesłona połączona z pneumatycznym wzmacniaczem.



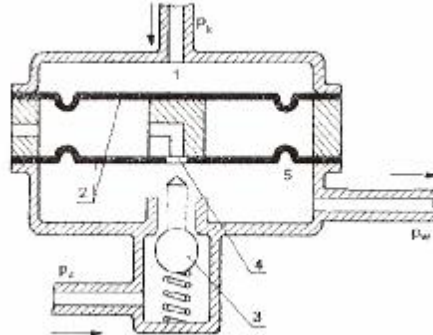
a



b

**Rys. 20.** Zespół dysza-przesłona (kaskada pneumatyczna) [7]  
 1 – przewężenie, 2 – przestrzeń (komora) kaskadowa, 3 – przesłona, 4 – dyszka  
 a – schemat budowy, b – schemat blokowy

Dysza jest zasilana sprężonym powietrzem o ciśnieniu  $p_z$ . Przepływa ono przez przewężenie, wpływa do przestrzeni kaskadowej i wypływa na zewnątrz przez dyszkę. Intensywność wypływu powietrza jest zmieniana za pomocą przesłony. Jeżeli dyszka zostanie zamknięta przesłoną, wówczas powietrze nie może wypłynąć z przestrzeni kaskadowej i jego ciśnienie zrówna się z ciśnieniem powietrza zasilającego.



**Rys. 21.** Wzmacniacz pneumatyczny [9]

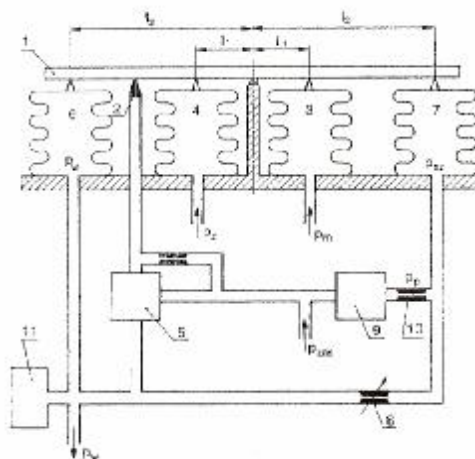
1 – komora górna, 2 – zespół przepon elastycznych, 3 – zawór stożkowo kulkowy, 4 – otwór łączący z otoczeniem, 5 – komora dolna

Wzmacniacz pneumatyczny stara się utrzymać ciśnienie wyjściowe równe ciśnieniu kaskadowemu. Ciśnienie  $p_k$  pochodzi od układu dysza-przesłona. Sygnał  $p_k$  jest wprowadzany do górnej komory wzmacniacza i działa na zespół elastycznych przepon. Siła działająca od góry jest równoważona siłą działającą od dołu od ciśnienia wyjściowego  $p_w$ . Powietrze zasilające o ciśnieniu  $p_z$  jest dławione przez zawór kulkowo-stożkowy, który może dopuścić powietrze zasilające dolną swoją częścią, zwiększając ciśnienie  $p_w$ , gdyż otwór łączący z otoczeniem jest zamknięty. Przy wypuszczaniu powietrza z dolnej komory do otoczenia, zawór zamyka częścią kulową dopływ powietrza zasilającego.

Regulatory pneumatyczne ze względu na swoją konstrukcję można podzielić na:

- mieszkowe,
- przeponowe.

Wykorzystują różne zasady równoważenia: przesunięć lub sił.



**Rys. 22.** Schemat regulatora proporcjonalnego mieszkowego [9]

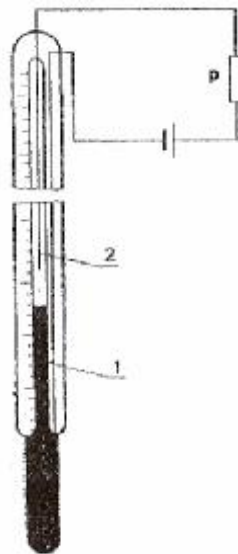
1 – dźwignia dwuramienna, 2 – dysza, 3 – miśzek z doprowadzonym sygnałem pomiarowym,  
 4 – miśzek z doprowadzonym sygnałem wartości zadanej, 5 – wzmacniacz pneumatyczny,  
 6 – miśzek ujemnego sprzężenia zwrotnego, 7 – miśzek dodatniego sprzężenia zwrotnego,  
 8 – opór nastawny, 9 – zadajnik, 11 – pojemność dodatkowa,  $p_{zas}$  – ciśnienie zasilające regulator



W regulatorze proporcjonalnym mieszkowym stosuje się mieszkowe elementy sprężyste oparte na podstawie. Dźwignia dwuramienna 1 ma punkt obrotu w środku. Podniesienie lub opuszczenie lewego ramienia powoduje otwarcie lub zamknięcie dyszy 2. Do dwóch wewnętrznych mieszków doprowadzane są sygnały  $p_z$  (sygnał ciśnieniowy wartości zadanej z nastawnika ciśnienia) i  $p_m$  (sygnał pomiarowy z przetwornika pneumatycznego), reprezentujące zadanie dla regulatora. Układ detekcji jest połączony ze wzmacniaczem pneumatycznym 5. Ciśnienie wyjściowe  $p_w$  wzmacniacza oddziałuje bezpośrednio na mieszek 6 pary zewnętrznej, realizujący ujemne sprzężenie zwrotne regulatora, i na mieszek 7 za pośrednictwem nastawnego oporu 8, służącego do zmiany wzmocnienia regulatora. Mieszek 7 zasilany powietrzem o stałej wartości ciśnienia  $p_p$  nastawianym zadajnikiem 9, spełnia funkcję dodatniego sprzężenia zwrotnego. Opór nastawny 8 służy do zmiany wzmocnienia regulatora. Zadajnik 9 wraz z przewężeniem 10 służą do zmiany punktu pracy regulatora. Dodatkowa pojemność 11 tłumi oscylacje ciśnienia wyjściowego, spowodowane działaniem pneumatycznego wzmacniacza mocy. [9]

### Regulatory elektryczne

Regulatory elektryczne porównują sygnał pomiarowy z sygnałem wartości zadanej i wzmacniacz sygnału uchybu z wewnętrznym sygnałem zwrotnym, nadającym mu żadaną charakterystykę. W regulatorach elektrycznych realizuje się te same funkcje co w regulatorach pneumatycznych, za pomocą różnych elementów. Rezystor jest odpowiednikiem przewężenia przewodu pneumatycznego, kondensator – odpowiednikiem pojemności gazowej [9]. Regulatory elektryczne mogą działać w systemie ciągłym lub mogą to być proste regulatory dwustawne. Regulatory dwustawne mają duże zastosowanie jako sprzęt do regulacji temperatury, poziomu cieczy i ciśnienia gazu.

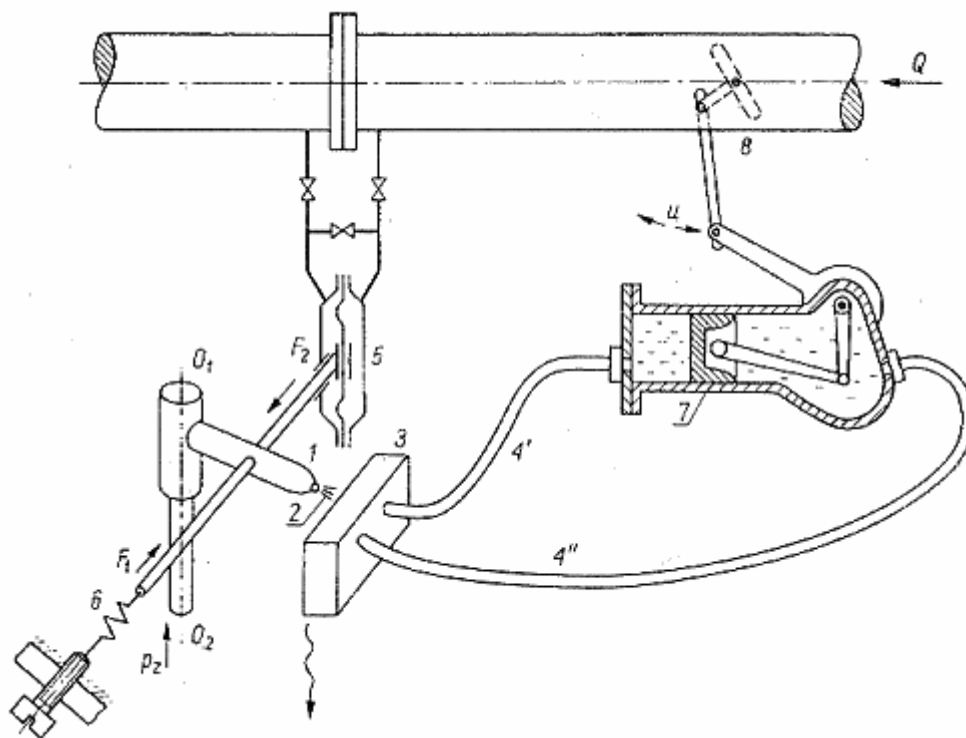


**Rys. 23.** Elektryczny regulator temperatury [9]  
P – cewka przekaźnikowa ze stykami biernymi, 1, 2 – elektrody

Elektryczny regulator temperatury jest układem wykorzystującym technikę przekaźnikowo-stykową. Termometr kontaktowy jest zaopatrzony w dwie elektrody: jedna jest trwale połączona z rtęcią w zbiorniku termometrycznym, druga znajduje się w kapilarze termometru i jest przesuwana. Wartością zadaną jest położenie końca drugiej elektrody. Jeżeli temperatura zwiększy się, a słupek rtęci się podniesie, zamknie się obwód elektryczny, w którym znajduje się cewka P. Zasilanie grzałką zostanie odłączone.

## Regulatory hydrauliczne [9]

Regulatory hydrauliczne znajdują zastosowanie szczególnie w tych przypadkach, gdy instalacje technologiczne nie są zbyt rozległe oraz gdy element nastawczy wymaga dużych sił lub momentów ustawiających. Regulator zazwyczaj stanowi jedną całość konstrukcyjną wraz z czujnikiem i układem zasilania olejem.



Rys. 24. Hydrauliczny regulator strumieniowy – schemat budowy [7]

1 – dysza strumieniowa, 2 – ostry strumień oleju, 3 – płytka, 4 – przewody hydrauliczne, 5 – czujnik, 6 – sprężyna, 7 – tłok wykonawczy, 8 – przepustnica obrotowa

Regulatory hydrauliczne strumieniowe, posiadają dyszę strumieniową, która kieruje ostry strumień oleju na płytkę 3, mająca wywiercone dwa otworki, stanowiące zakończenia przewodów hydraulicznych 4. Olej zasilający doprowadzany jest pod ciśnieniem  $p_2$ . Dysza może obracać się wokół osi  $O_1-O_2$ , na skutek oddziaływania dwóch przeciwnie skierowanych sił. Jedna pochodzi od czujnika, a druga od napiętej sprężyny. Jeżeli zadane natężenie przepływu jest równe zmierzonemu, siły  $F_1$  i  $F_2$  równoważą się. Strumień oleju trafia między otworki w płytce 3. Wówczas ciśnienie oleju w obu przewodach jest takie same i tłok wykonawczy pozostaje w spoczynku. W przypadku zakłócenia równowagi sił  $F_1$  i  $F_2$ , np.: zmniejszenie regulowanego przepływu  $Q$ , to siła  $F_1$  staje się nieco większa od  $F_2$ , dysza obraca się o pewien kąt, w przewodzie 4' i zmniejsza w 4''. Tłok wykonawczy przesuwa się w prawo powodując otwarcie przepustnicy obrotowej 8. Tak działa regulator przeciwdziałając zakłóceniom.

**Tabela 3.** Cechy systemów regulatorów pośrednich [9]

Cechy porównywalne	Regulatory		
	pneumatyczne	elektryczne	hydrauliczne
<b>Część porównująca i wzmacniająca</b>	konieczna precyzja wykonania, duży zakres zastosowań, dobre właściwości elementów czasowych, łatwe wzmocnienie słabych sygnałów, łatwość konstrukcji blokowej	działania rachunkowe na sygnałach łatwe w realizacji trudności wykonania podzespołów o dużych i stabilnych stałych czasowych	konieczna precyzja wykonania, elementy czasowe niestabilne ze względu na zmienną lepkość oleju, prosta i masywna konstrukcja wzmacniacza, trudność wzmocnienia sygnałów małej mocy do przesunięcia rurki strumieniowej
<b>Właściwości ogólne i przekazywanie sygnałów</b>	dopuszczalne małe nieszczelności sygnałowych przewodów, konieczność czyszczenia i suszenia powietrza, duże opóźnienia przy długich przewodach, prędkość przenoszenia sygnałów około 300 m/s	łatwość przesyłania sygnałów, konieczność specjalnych zabezpieczeń w atmosferach korodujących i wybuchowych, możliwość łatwego kompensowania zmiennej temperatury otoczenia, duża prędkość przenoszenia sygnałów	konieczna szczelność przewodów, konieczność stosowania czystego oleju, konieczność czyszczenia układów od ewentualnych zanieczyszczeń, prędkość przenoszenia sygnałów około 3 km/s

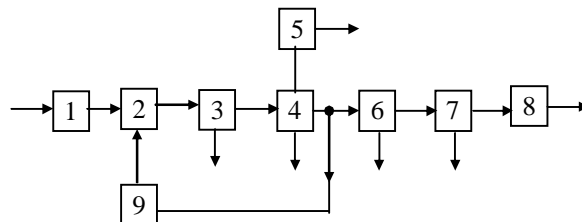
### Zasilanie elektrycznych układów regulacji

Źródłem energii elektrycznej jest sieć fabryczna lub miejska. Wahania napięcia sieciowego mogą być przyczyną pojawienia się błędów pomiarowych, dlatego stosuje się najczęściej zasilacze stabilizowane, w innych przypadkach można stosować specjalne przyrządy stabilizujące napięcie, prostujące prąd itp.

### Zasilanie pneumatycznych układów regulacji

Powietrze zasilające układy pneumatyczne wymaga specjalnego przygotowania, a w szczególności:

- musi być wolne od pyłów i mgły olejowej, aby nie zmniejszać przelotowości kanałów i nie zatykać przewężeń i dyszek,
- nie może być zbyt wilgotne, gdyż w przypadku obniżenia temperatury otoczenia, może nastąpić wykroplenie pary wodnej (wilgotność względna powinna być mniejsza niż 80%),
- nie powinno zawierać gazów korodujących,
- ciśnienie powietrza zasilającego powinno być stałe, mimo zmian jego zużycia, gdyż działanie wielu elementów układów pneumatycznych polega na opuszczaniu części powietrza do atmosfery.



**Rys. 25.** Schemat blokowy stacji zasilającej układy pneumatyczne [9]

1 – filtr mechaniczny, 2 – sprężarka, 3 – chłodnica, 4 – zbiornik, 5 – zawór bezpieczeństwa, 6 – odolejac, 7 – filtr, 8 – reduktor, 9 – regulator ciśnienia

Powietrze rozprowadzane jest cienkimi rurkami o średnicy 6 mm, z prędkością do 4 m/s. Przewody miedziane, którymi powietrze z głównego przewodu było dostarczane

do poszczególnych tablic i układów, są zastępowane wielożyłowymi kablami pneumatycznymi wykonanymi z tworzyw sztucznych.

### Zasilanie układów hydraulicznych układów regulacji

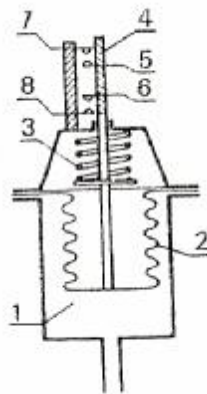
Układy tego typu są zasilane najczęściej olejem mineralnym, oczyszczonym przy użyciu filtrów, który jest doprowadzany do wszystkich odbiorników za pośrednictwem pomp. Olej rozprowadzany jest przewodami. Olej tłoczony jest przewodami z prędkością nie większą niż 4,5 m/s, a powraca w przewodach bezciśnieniowych z prędkością 1,5 m/s. Pompa, z reguły pompa zębata, jest zanurzona w zbiorniku z olejem, pracuje w sposób ciągły i jest napędzana silnikiem elektrycznym. Stacja olejowa może zasilć kilka układów hydraulicznych lub jeden (zasilanie indywidualne). Powinna być wyposażona w zawory zwrotne na przewodach tłocznych, manometry, wskaźniki oleju w zbiorniku oraz akumulatory oleju, które zapewnią prawidłową pracę układu hydraulicznego w przypadku awarii zespołu pompującego.

### Zabezpieczenia, sygnalizacje i blokady stosowane w układach regulacji

**Zabezpieczenia** są to różnego rodzaju urządzenia, które mają za zadanie niedopuszczenie do awarii lub ograniczenia jej skutków. Są to urządzenia montowane dodatkowo w przypadku awarii urządzenia regulującego lub jeżeli mierzone wartości regulowanego parametru procesu odbiegają od przeciętnych (przekraczają wartość maksymalną regulatora technologicznego). Wartość zadana dodatkowego regulatora jest największą wartością dopuszczalną układu technologicznego. Regulator dodatkowy zaczyna działać dopiero po przekroczeniu wartości zadanej, co jest jednocześnie sygnalizowane, w celu zaalarmowania obsługi.

Dzięki urządzeniom **sygnalizacji** automatycznej obsługa może w porę zauważyć stan awaryjny lub niebezpieczny aparatury. Każdy układ sygnalizacji składa się z czujnika, nadajnika, linii łączącej oraz odbieralnika. Odbieralniki mogą być:

- akustyczne: dzwonek, gong, syrena,
- optyczne: świetlne, pneumatyczne, elektromagnetyczne wskaźnikowe.

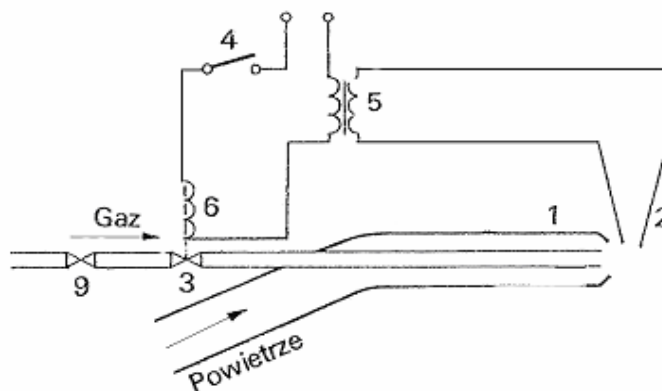


**Rys. 26.** Sygnalizator pneumatyczny dwóch wartości sygnałów [9]

1 – komora, 2 – mieszek, 3 – sprężyna, 4 – trzpień, 5, 6 – styki ruchome, 7, 8 – nastawne styki nieruchome

Sygnalizator pneumatyczny dwóch wartości sygnałów, stosowany w układach pneumatycznych sygnalizuje dwie konkretne wartości. W zależności od ciśnienia panującego w komorze mieszek odkształca się w stopniu zależnym od naprężenia sprężyny. Do przesuwanego trzpienia przymocowane są dwa styki, a pozostałe dwa są nieruchome, ale można je ustawiać na zadanej wysokości. Zwarcie styków górnych powoduje zamknięcie obwodu elektrycznego sygnalizacji wartości największej, a styków dolnych wartości najmniejszej.

W wielu przypadkach w przemyśle chemicznym występuje konieczność wykonania pewnych etapów procesów technologicznych w określonej kolejności. Aby zapobiec niewłaściwej kolejności czynności, która może doprowadzić do awarii lub nawet wybuchu, stosuje się **blokady**. Przykładem układu blokady jest palenisko na gaz, w którym najpierw należy uruchomić zapalnik, a dopiero potem otworzyć dopływ gazu i powietrza do palnika (przy innej kolejności utworzy się mieszanina wybuchowa).



**Rys. 27.** Układ blokady gazu do palnika [9]

1 – palnik, 2 – zapalnik, 3 – zawór z siłownikiem cewkowym, 4 – wyłącznik, 5 – transformator, 6 – cewka zaworu, 7 – przewód gazowy, 8 – zasilanie układu elektrycznego, 9 – zawór ręczny odcinający

Aby zapobiec niewłaściwej kolejności wykonywanych czynności przy zapaleniu paleniska na przewodzie gazowym, montuje się dodatkowy zawór ręczny. Dopływ gazu do palnika jest możliwy dopiero po uruchomieniu zapalnika, wtedy następuje otwarcie zaworu odcinającego. Przy zamkniętym zaworze z siłownikiem cewkowym położenie zaworu ręcznego jest obojętne, gdyż gaz i tak nie dopływa do palnika. Po załączeniu włącznika następuje zamknięcie obwodu, przez cewkę zaworu popłynie prąd i zawór z siłownikiem cewkowym zostanie odblokowany. Jednocześnie zacznie działać iskrownik. Otwarcie zaworu ręcznego powoduje wypływ gazu i zapalenie się mieszaniny z powietrzem u wylotu palnika.

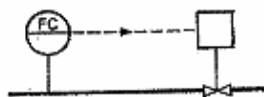
Rola blokad i zabezpieczeń polega głównie na zmniejszeniu niebezpieczeństwa awarii. Urządzenia sygnalizacji, blokad i zabezpieczeń wymagają dodatkowych samoczynnych przełączeń obwodów elektrycznych (lub pneumatycznych), które są realizowane za pomocą przekaźników elektrycznych, bądź specjalnych układów elektrycznych (czasami pneumatycznych).

### Przykłady prostych przemysłowych układów regulacji automatycznej

Do najczęściej spotykanych i najważniejszych wielkości regulowanych w przemyśle chemicznym należą m.in.: temperatura, natężenie przepływu, ciśnienie gazów, poziom cieczy, skład substancji, gęstość, wilgotność i masa.

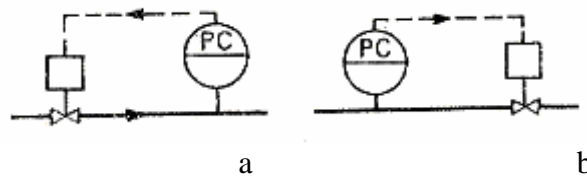
Na schematach technologicznych elementy kontroli i sterowania są przedstawione w postaci punktów pomiarowych i automatyki, z symbolami literowymi opisującymi spełniające funkcje.

Do regulacji natężenia przepływu cieczy jak i gazów najlepsze są regulatory PI (proporcjonalno-całkujące).



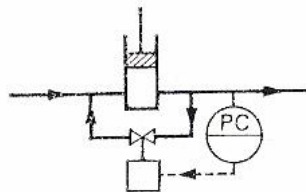
**Rys. 28.** Układ regulacji natężenia przepływu [9]

Układy regulacji ciśnienia stosuje się w zależności, czy stała wartość ciśnienia ma być za zaworem (rys. 29a), czy przed zaworem (rys. 29b). Jeżeli wymagania dotyczące dokładności regulacji są łagodne, to stosuje się tu układy regulacji o działaniu bezpośrednim. Często układy regulacji tego typu stosuje się w przypadku pomp i sprężarek. W pompie wirowej do cieczy i w wirnikach, gdy przepływ strumienia może być dławiony stosuje się układ regulacji ciśnienia na odpływie (rys. 29a).



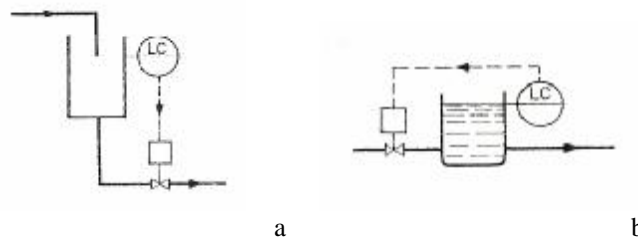
**Rys. 29.** Regulacja ciśnienia gazu w przewodzie [9]  
a – na odpływie, b – na dopływie

W przypadku sprężarek lub pompy tłokowej, której nie wolno dławić gdy pompuje ciecz, stosuje się inny układ regulacji na odpływie (rys.30)



**Rys. 30.** Regulacja ciśnienia na odpływie pompy tłokowej [9]

W przypadku regulacji poziomu cieczy w zbiorniku układy regulacji różnią się miejscem zainstalowania zaworu regulacyjnego.



**Rys. 31.** Regulacja poziomu cieczy w zbiorniku [9]  
a – na dopływie, b – na odpływie

### Charakterystyka regulatorów automatycznych

W przemyśle są stosowane różnego typu regulatory. Aby zwiększyć uniwersalność regulatorów, wprowadzono zasadę normalizacji sygnałów występujących w układach regulacji. Siłowniki są dostosowane do sygnału wyjściowego regulatorów, a sygnał pomiarowy ma znormalizowany zakres zmian pokrywający dopuszczalny zakres zmian sygnału wejściowego regulatora. Znormalizowane zakresy zmian sygnału pomiarowego i nastawiania umożliwiają zastosowanie jednego rodzaju regulatora w układach regulacji dowolnych wielkości.

Dla stanów równowagi zwanych w automatyce stanami ustalonymi wprowadza się charakterystyki statyczne obiektu regulacji, które można opisać za pomocą równania:

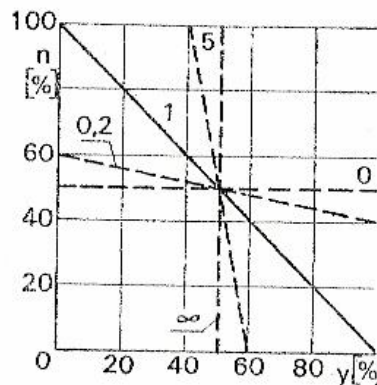
$$y = f(n)$$

$y$  – wielkość wyjściowa obiektu (mierzona),  
 $n$  – wielkość wejściowa obiektu (sterująca),  
 lub w postaci wykresu w układzie dwóch współrzędnych ( $y$ ,  $n$ ).

W regulatorze proporcjonalnym (**regulator P**) występuje proporcjonalność między uchybem regulacji (przyrostem wartości wielkości wejściowej regulatora) a sygnałem nastawienia (przyrostem wielkości wyjściowej regulatora).  
 Stosunek przyrostu sygnału nastawienia do przyrostu sygnału pomiarowego nazywamy współczynnikiem wzmocnienia regulatora:

$$k_r = \frac{\Delta n}{\Delta y}$$

$k_r$  – wzmocnienie regulatora,  
 $\Delta n$  – sygnał nastawienia,  
 $\Delta y$  – sygnał pomiarowy. [9]



Rys. 32. Charakterystyka statyczna regulatora proporcjonalnego [9]

Z charakterystyki statycznej regulatora proporcjonalnego wynika, że przy wzmocnieniu równym 1, dla najmniejszej wartości zakresu mierzonego ( $y = 0$ ) sygnał nastawienia ma wartość maksymalną ( $n = 100\%$ ). Jeżeli wartość wielkości regulowanej znajduje się w połowie zakresu pomiarowego ( $y = 50\%$ ), wówczas sygnał nastawienia ma również wartość  $n = 50\%$ , czyli zawór o charakterystyce liniowej jest otwarty w połowie swojego zakresu pracy. Prosta 5 na wykresie oznacza, że zmianom sygnału nastawienia od  $n = 100\%$  do  $0\%$  odpowiadają zmiany sygnału pomiarowego od  $y = 40\%$  do  $60\%$ . Liczba 5 określa **wzmocnienie** i oznacza, że działanie regulatora jest pięciokrotnie energiczniejsze, niż regulatora o wzmocnieniu 1. Regulator o wzmocnieniu 0,2 działa bardzo łagodnie. Charakterystykę statyczną regulatora proporcjonalnego można wyrazić równaniem:

$$n = k_r (y_o - y) + C$$

gdzie:  $y_o$  – wartość zadana,  $C$  – stała. [9]



Regulator P ma nastawioną wartość zadaną i współczynnik wzmocnienia. W regulatorach P istnieje często nastawnik, umożliwiający przesunięcie równoległe charakterystyki statycznej, nazywane zmianą punktu pracy regulatora.

W regulatorze proporcjonalnym na skokową zmianę wielkości wejściowej wartość sygnału nastawienia zmienia się również skokowo, zgodnie z równaniem:

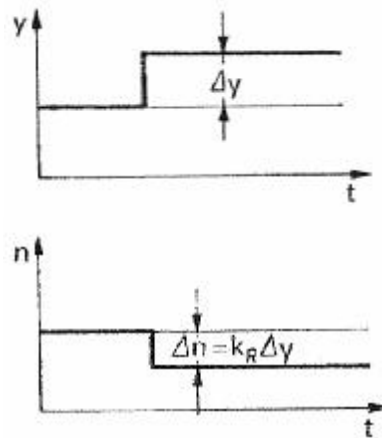
$$\Delta n = k_r \cdot \Delta y$$

$k_r$  – wzmocnienie regulatora,

$\Delta n$  – sygnał nastawienia,

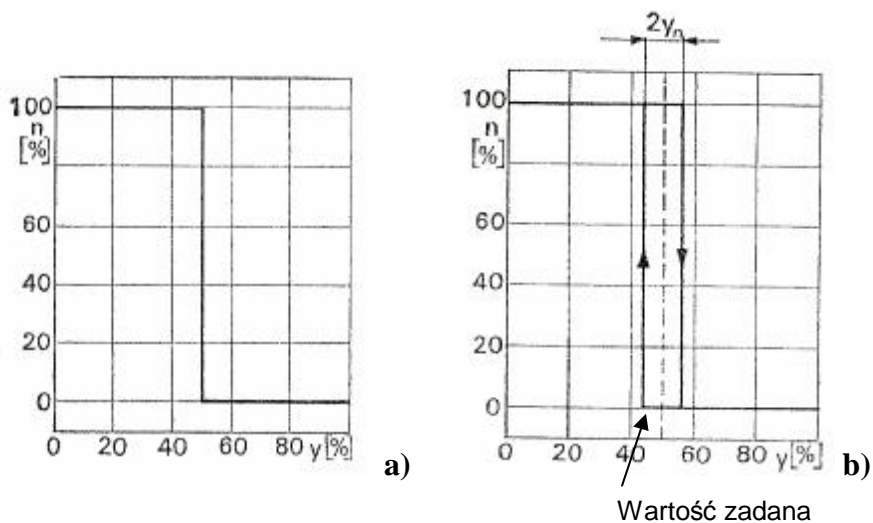
$\Delta y$  – sygnał pomiarowy. [9]

Zmianę tą ilustruje wykres na rys. 33.



**Rys. 33.** Odpowiedź regulatora proporcjonalnego na skokową zmianę wielkości wejściowej [9]

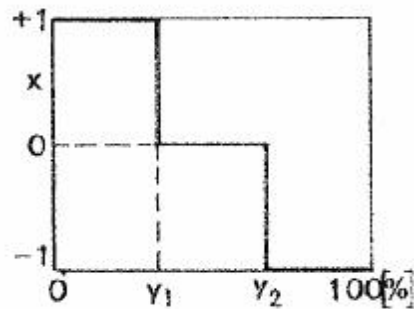
Gdy element wykonawczy sterowany przez regulator może przyjmować tylko jedno z dwóch położeń, określonych jego konstrukcją, to taki przypadek regulacji nosi nazwę dwustawnej. Ze względu na histerezę urządzenia zawsze jest potrzebny pewien przyrost  $\Delta y$  w stosunku do  $y_0$ , aby sygnał nastawienia zmienił swoją wartość. Dlatego konstruuje się regulatory dwustawne ze strefą neutralną.



**Rys. 34.** Charakterystyka statyczna regulatora a) – dwustawnego; b) – ze strefą neutralną [9]



Odmianą regulatorów o nieciągłym sygnale nastawienia są regulatory trójstawne. Regulatory trójstawne często stosuje się z siłownikiem elektrycznym.



Rys. 35. Charakterystyka statyczna regulatora trójstawnego [9]

Regulator całkujący (I) można opisać zależnością:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = k_i (y_o - y)$$

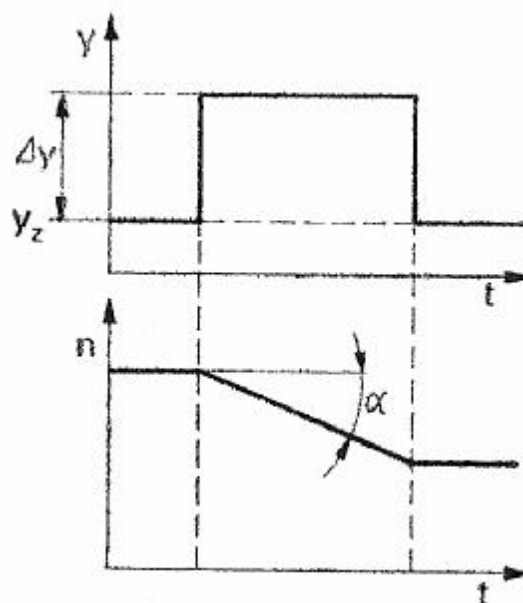
$k_i$  – współczynnik proporcjonalności, określający szybkość ruchu elementu wykonawczego wyrażoną procentową zmianą  $\Delta n/\text{min}$  odpowiadającą uchybowi regulacji  $\Delta y = 1\%$ . [9]

Regulatory całkujące nie mają charakterystyki statycznej ponieważ uchyb regulacji decyduje o szybkości zmian sygnału nastawienia, a nie o jej wartości bezwzględnej.

Regulator I można opisać również równaniem:

$$n = k_i \cdot A + C$$

$A$  – powierzchnia zawarta pomiędzy krzywą rzeczywistej wartości wielkości mierzonej i prostą wartości zadanej, ograniczona z jednej strony czasem  $t_o$ , w którym nastawieniu zaworu można opisać stałą  $C$ , a z drugiej czasem  $t_1$ , dla której oblicza się wartość  $n$ .



Rys. 36. Odpowiedź regulatora całkującego na skokową zmianę wielkości wejściowej [9]

**Regulator proporcjonalno-całkujący (PI)**, łączy cechy obu regulatorów, a działanie jego można opisać równaniami:

$$n = k_r(y_0 - y) + \frac{k_r}{T_i} \cdot A$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = k_r \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{k_r}{T_i} (y_0 - y)$$

$T_i$  – czas zdwojenia, czas potrzebny na podwojenie wartości  $y$  stanowiącej odpowiedź proporcjonalną na uchyb  $E = y_0 - y$ , w minutach. [9]

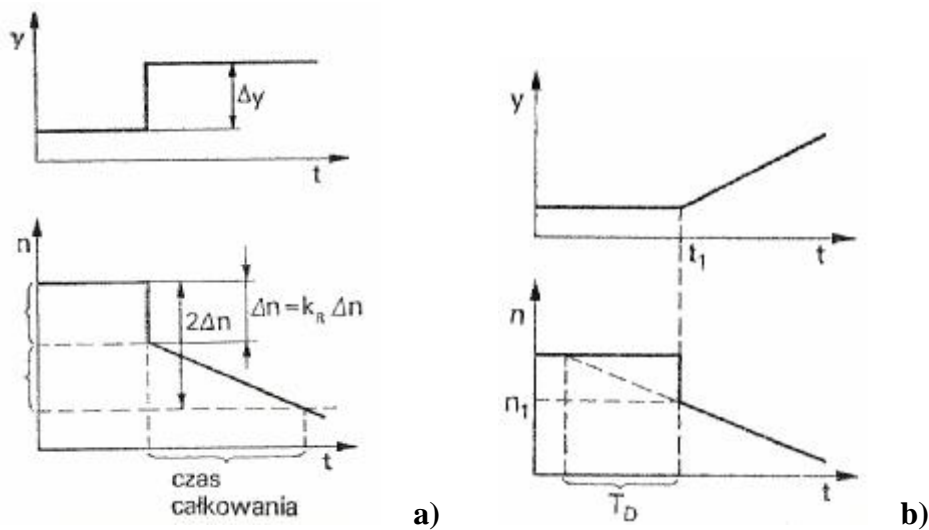
Działanie **regulatorów proporcjonalno-różniczkujących (PD)**, można opisać następującymi równaniami:

$$n = k_r(y_0 - y) + T_d \cdot k_r \frac{\Delta y}{\Delta t} + C$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = k_r \frac{\Delta y}{\Delta t} + T_d \cdot k_r \cdot P_y$$

$T_d$  – czas wyprzedzenia,

$P_y$  – przyspieszenie z jakim zmienia się wartość sygnału uchybu. [9]



**Rys. 37.** a) - Odpowiedź regulatora PI na skokową zmianę wielkości wejściowej,  
b) - Odpowiedź regulatora PD na liniowy wzrost wielkości wejściowej [9]

Działanie **regulatora PID** można opisać następującymi równaniami: [9]

$$n = k_r(y_0 - y) + \frac{k_r}{T_i} A + T_D \cdot k_r \frac{\Delta y}{\Delta t} + C$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = k_r \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{k_r}{T_i} (y_0 - y) + T_D \cdot k_r \cdot P_y$$

Regulatory o prawie regulacji P, I, PI, PD, PID są regulatorami ciągłymi, gdyż ich sygnały wejściowe i wyjściowe są ciągłe.

Regulatory dwustawne i trójstawne nie są regulatorami o działaniu ciągłym, gdyż ich sygnały nastawiania mają jedynie dwie lub trzy wartości, a więc nie są ciągłe.

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

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

1. Z jakich elementów składa się prosty układ regulacji?
2. Jakie są rodzaje elementów nastawczych?
3. Jakie są rodzaje siłowników?
4. Jak można podzielić układy regulacji ze względu na:
  - rodzaj wielkości regulowanej,
  - sposób regulacji,
  - budowę elementów, z których składa się układ regulacji?
5. Do regulacji jakich parametrów stosuje się regulatory bezpośredniego działania?
6. Jak dzieli się regulatory pośredniego działania?
7. W jaki sposób zasilane są regulatory pośredniego działania?
8. Do regulacji jakich procesów fizycznych i chemicznych stosuje się regulatory pośredniego działania?
9. W jaki sposób opisuje się charakterystyki statyczne obiektów regulacji?
10. Jakie regulatory można zaliczyć do regulatorów ciągłych, na czym polega ciągłość pracy regulatora?
11. Jakie regulatory nie są regulatorami ciągłymi, na czym polega nieciągłość pracy regulatora?
12. Jaka jest rola zabezpieczeń i blokad w układach regulacji?
13. Jaka jest rola sygnalizacji w układach regulacji?
14. Z jakich elementów składa się układ sygnalizacji?

#### 4.2.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Zbadaj układ regulacji poziomu cieczy w zbiorniku.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) zapoznać się z układem regulacji (rys. 16),
- 4) wyznaczyć rodzinę charakterystyk statycznych zbiornika, czyli zależność poziomu cieczy  $h$  od natężenia dopływu  $Q_1$  dla różnych kątów  $\alpha$  ustawienia pokrętki zaworu regulacyjnego (element 3),
- 5) wyjaśnić przebieg tych charakterystyk,
- 6) wyjaśnić czy znając rodzinę charakterystyk  $h = f(Q_1)$ ;  $\alpha = \text{const.}$ , można naszkicować charakterystykę  $h = f(\alpha)$ ;  $Q_1 = \text{const.}$ ,
- 7) zaprezentować wykonanie ćwiczenia w postaci sprawozdania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiał nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- literatura z rozdziału 6,
- ćwiczeniowy układ regulacji poziomu cieczy w zbiorniku zgodny z schematem,
- papier milimetrowy.

## Ćwiczenie 2

Porównaj układy regulacji stężeń jonów wodorowych: podstawowego i kaskadowego, z pomocniczym czynnikiem sterującym w postaci roztworu kwasu lub zasady.

Sposób wykonania ćwiczenia:

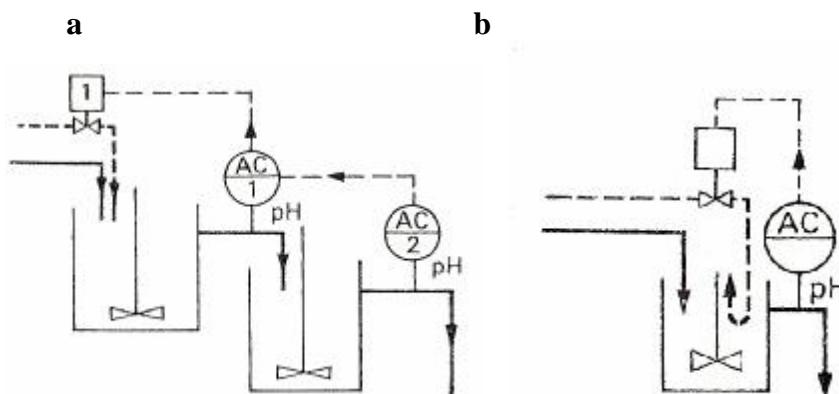
Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) zapoznać się z załącznikiem,
- 4) ustalić miejsca pomiaru pH cieczy,
- 5) opisać zasady działania regulatorów,
- 6) wyjaśnić, czym się różni układ regulacji kaskadowy od podstawowego,
- 7) wybrać z zaproponowanych układów, układ regulacji stężenia jonów wodorowych, jeżeli chcemy uzyskać dużą dokładność sterowania,
- 8) zaproponować czynnik pomocniczy, jeżeli pH jest za niskie,
- 9) zaprezentować wykonanie ćwiczenia w postaci sprawozdania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiał nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- literatura z rozdziału 6,
- załącznik.

## Załącznik



**Rys. 38.** Schematy układów regulacji stężenia jonów wodorowych  
a – kaskadowy, b – podstawowy [8]

### Ćwiczenie 3

Przeprowadź regulację natężenia przepływu wody zgodnie ze wskazaniem rotametrów.

Sposób wykonania ćwiczenia:

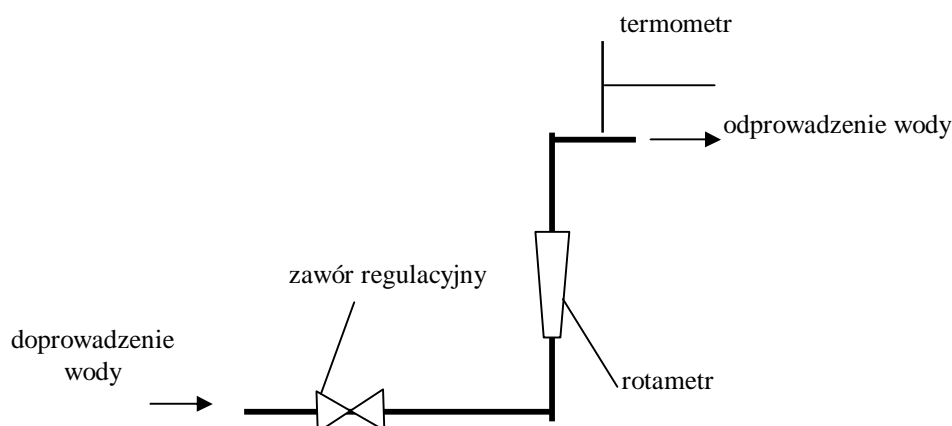
Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) zapoznać się z przepisami bhp obowiązującymi przy wykonywaniu ćwiczenia,
- 4) sprawdzić temperaturę wzorcowania rotametrów,
- 5) odszukać w tablicach gęstość wody w temperaturze wzorcowania rotametrów,
- 6) uruchomić przepływ wody,
- 7) odczytać temperaturę wody,
- 8) odszukać w tablicach gęstość wody w temperaturze pomiaru,
- 9) regulować przepływ wody, poprzez zmianę nastawy zaworu regulacyjnego, ustawiając pływak rotametrów kolejno w sześciu położeniach,
- 10) odczytać położenie pływaków rotametrów dla kolejnych 6 nastaw zaworu regulacyjnego (po ustaleniu się przepływu),
- 11) obliczyć współczynnik poprawkowy dla wskazań rotametrów zgodnie z załącznikiem (jeżeli zmierzona temperatura wody jest różna od temperatury wzorcowania rotametrów),
- 12) obliczyć wskazania rotametrów po uwzględnieniu współczynnika poprawkowego,
- 13) przygotować sprawozdanie w wykonaniu ćwiczenia zgodnie z zasadami podanymi przez nauczyciela.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko do pomiaru natężenia przepływu,
- tablice z danymi zależności gęstości wody od jej temperatury,
- materiał nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- literatura z rozdziału 6.

### Załącznik 1



Rys. 39. Schemat stanowiska do pomiaru natężenia przepływu [opracowanie własne]

## Załącznik 2

- Obliczanie współczynnika poprawkowego dla rotametry  
– dla podziałki w jednostkach objętości

$$c_1 = \sqrt{\frac{(\rho_{pl} - \rho_1') \cdot \rho_1}{(\rho_{pl} - \rho_1) \cdot \rho_1'}}$$

- dla podziałki w jednostkach masy

$$c_1 = \sqrt{\frac{(\rho_{pl} - \rho_1') \cdot \rho_1'}{(\rho_{pl} - \rho_1) \cdot \rho_1}}$$

gdzie:

$\rho_{pl}$  – gęstość materiału pływaka,

$\rho_1'$  – gęstość wody w temperaturze pomiaru,

$\rho_1$  – gęstość wody w temperaturze wzorcowania rotametry.

Obliczanie wskazania rotametry po uwzględnieniu współczynnika poprawkowego

$$w_1 = w \cdot c_1$$

gdzie:

$w_1$ - wskazania po uwzględnieniu współczynnika poprawkowego,

$w$ - wskazania odczytane z rotametry,

$c_1$ - współczynnik przeliczeniowy.

## Ćwiczenie 4

Narysuj schemat regulacji temperatury w wymienniku ciepła połączonym z reaktorem kontaktowym, jeżeli ciecz poreakcyjna nie może być zbyt ochłodzona (zaworem trójdrożnym bocznikuje się ciecz wprowadzaną do reaktora), a na odpływie cieczy poreakcyjnej z wymiennika instaluje się termometr kontrolny.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

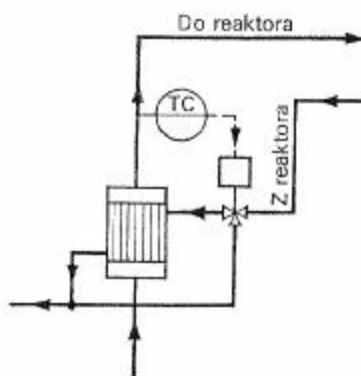
- 1) zapoznać się z materiałem nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) zapoznać się z schematem regulacji temperatury w wymienniku ciepła połączonym z reaktorem kontaktowym,
- 4) ustalić:
  - czy wymiennik ciepła jest zainstalowany przed, czy za reaktorem,
  - co stanowi czynnik grzewczy w wymienniku,
- 5) wyjaśnić rolę zaworu trójdrożnego,
- 6) opisać zasadę działania regulatora,
- 7) narysować na podstawie ustalonych informacji, schemat regulacji temperatury w wymienniku ciepła połączonym z reaktorem kontaktowym, jeżeli ciecz poreakcyjna nie może być zbyt ochłodzona (zaworem trójdrożnym bocznikuje się ciecz wprowadzaną

- do reaktora), a na odpływie cieczy poreakcyjnej z wymiennika instaluje się termometr kontrolny,
- 8) przygotować sprawozdanie z wykonania ćwiczenia zgodnie z zasadami podanymi przez nauczyciela.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiał nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- literatura z rozdziału 6,
- załącznik.

### Załącznik



Rys. 40. Schemat regulacji temperatury w wymienniku ciepła połączonym z reaktorem kontaktowym [7]

### 4.2.4. Sprawdźan postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) scharakteryzować budowę urządzeń regulacji?	..	..
2) scharakteryzować zasadę działania urządzeń regulacji?	..	..
3) podać zasady regulacji podstawowych parametrów procesowych?	..	..
4) rozróżnić na schematach urządzenia regulacji?	..	..
5) określić przemysłowe zastosowanie urządzeń regulacji?	..	..
6) podać przykłady stosowania urządzeń regulacji w podstawowych procesach przemysłu chemicznego?	..	..
7) dokonać regulacji wybranego parametru procesowego na podstawie instrukcji?	..	..

## 4.3. Sterowanie procesami i automatyzacja produkcji

### 4.3.1. Materiał nauczania

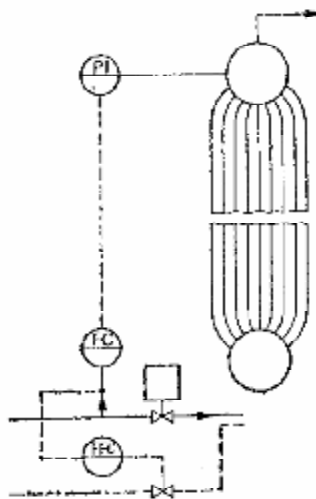
Obserwowany w ostatnich latach postęp w dziedzinie informatyki i elektroniki spowodował rozwój systemów nadzoru i monitoringu procesów technologicznych oraz przemysłowych sieci komputerowych. Zastosowanie sterowników cyfrowych i sieci komputerowych umożliwia konstruowanie nowoczesnych układów sterowania, które zapewniają zwiększenie wydajności procesów, wyższą jakość produktów i większe bezpieczeństwo pracy.

#### **Sterowanie podstawowymi procesami fizycznymi i chemicznymi**

W przemyśle chemicznym mamy do czynienia przeważnie z procesami prowadzonymi w sposób ciągły, na które składają się liczne operacje jednostkowe (cząstkowe). Układy sterowania poszczególnymi operacjami jednostkowymi i procesami podstawowymi powinny być dobierane w taki sposób, aby umożliwić automatyzację całej produkcji.

#### **Sterowanie wytwarzaniem pary technologicznej**

Kryterium jakości pracy kotła parowego jest ciśnienie wytwarzanej przez niego pary. Wartość ciśnienia pary nie może ulegać zmianie bez względu na wielkość jej poboru czy liczbę podłączonych odbiorników. Stałe ciśnienie pary zapewniane jest poprzez regulację ilości dopływającego do kotła paliwa i powietrza (niezbędnego w procesie spalania).

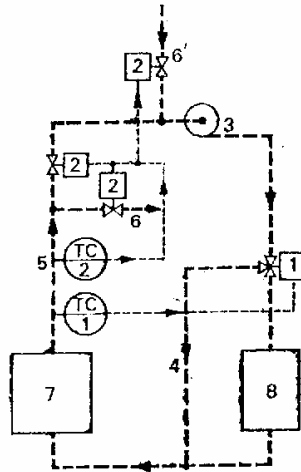


Rys. 41. Sterowanie odparowaniem w kotle parowym [9]

#### **Sterowanie suszeniem**

Tradycyjny proces sterowania suszeniem ciał stałych polega na regulacji ilości powietrza suchego wprowadzanego do procesu. Ilość doprowadzanego powietrza zależy od wilgotności powietrza wewnątrz komory. Im większa wilgotność w komorze, tym więcej powietrza wilgotnego należy z niej odprowadzić i równocześnie więcej powietrza suchego do niej wprowadzić (ilość powietrza odprowadzanego i doprowadzanego musi być taka sama). Pomiar wilgotności wewnątrz komory opiera się na pomiarze temperatury powietrza (termometru suchego) i termometry mokrego. Temperatura powietrza steruje zaworem trójdrożnym, zmieniając stosunek ilości powietrza bocznikowego do powietrza ogrzanego w podgrzewaczu. Temperatura termometru mokrego steruje zaworami odprowadzającymi powietrze z komory suszarniczej i doprowadzającymi powietrze suche (rys.42).



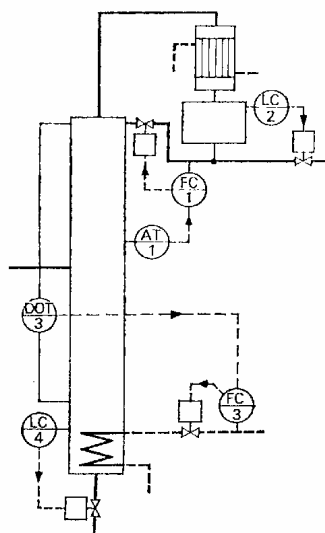


- 1 – zawór trójdrożny, 2 – zawory odprowadzające i doprowadzające powietrze do komory,  
 3 – wentylator, 4 – powietrze bocznikowe, 5 – powietrze wilgotne,  
 7 – komora suszarnicza, 8 – podgrzewacz

**Rys. 42.** Sterowanie suszeniem ciał stałych [9]

### Sterowanie procesem rektyfikacji

Rektyfikacja jest procesem złożonym polegającym na równoczesnej wymianie masy i ciepła. Sterowanie tym procesem może być prowadzone różnymi sposobami. Jeden z tych sposobów opiera się na pomiarze stężenia jednego ze składników. Pomiaru stężenia dokonuje się za pomocą analizatora automatycznego. Sygnał z analizatora reguluje ilość skroplin zawracanych do kolumny. W ten sposób regulowana jest jakość destylatu. W układzie przedstawionym na rys. 43, w celu zbilansowania strumieni materiałowych na górze kolumny, zastosowano regulację poziomu w zbiorniku uśredniającym. Na dole kolumny regulowana jest szybkość odparowywania w kotle, dzięki regulacji natężenia przepływu pary grzejnej wprowadzanej do kotła. Regulacja ta odbywa się na podstawie pomiaru różnicy ciśnień pomiędzy dołem a górą kolumny.

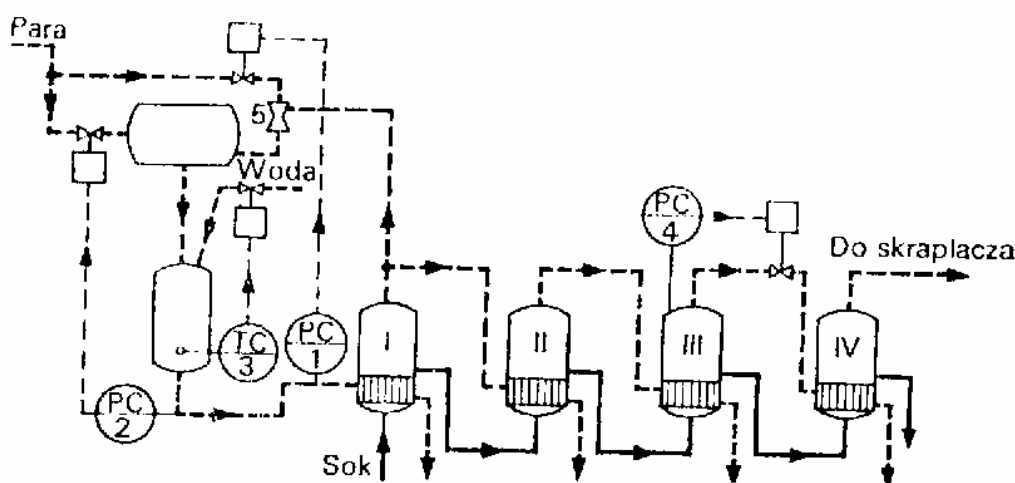


- 1 – analizator automatyczny, 2 – układ regulacji poziomu w zbiorniku uśredniającym, 3 – układ regulacji natężenia przepływu pary grzejnej, 4 – układ regulacji poziomu,

**Rys. 43.** Układ sterowania jakościowego rektyfikacją [9]

## Sterowanie pracą wyparki wielodziałowej

Układ sterowania wyparką wielodziałową przedstawiony na rys.44 opiera się na sterowaniu jakością pary wodnej wprowadzanej do wężownicy pierwszego działu. Układ sterowania zawiera układ regulacji ciśnienia (za pomocą zmian dopływu pary) i temperatury doprowadzanej pary (za pomocą zmiany dopływu wody rozpylonej do nasycenia pary). Wartości zadane obu tych układów są ze sobą ściśle związane, bo para nasycona ma określoną temperaturę w danym ciśnieniu. W pierwszym dziale para po skropleniu i oddaniu ciepła kierowana jest do kolektora skroplin. Niewykorzystane w drugim dziale opary są zwracane do stacji przygotowania pary grzejnej za pomocą inżektora parowego sterowanego układem regulacji ciśnienia. Układ ten zmienia dopływ pary świeżej do inżektora. Ostatni układ regulacji ciśnienia znajduje się z dziale trzecim wyparki. Przedstawiona regulacja umożliwi wydajną pracę trzech działów wyparki, w których zachodzi prawie cały proces zagęszczania soku.



- 1 – układ regulacji ciśnienia w dziale pierwszym , 2 – układ stabilizacji ciśnienia,  
3 – układ regulacji temperatury, 4 – układ regulacji ciśnienia w dziale trzecim

Rys. 44. Sterowanie odparowaniem w wyparce [9]

## Czujniki chemiczne

Warunkiem koniecznym do prawidłowego sterowania procesem jest często pomiar wielkości chemicznej, która ma być regulowana. Do dokonania takiego pomiaru wykorzystuje się różne rodzaje czujników, między innymi czujniki chemiczne.

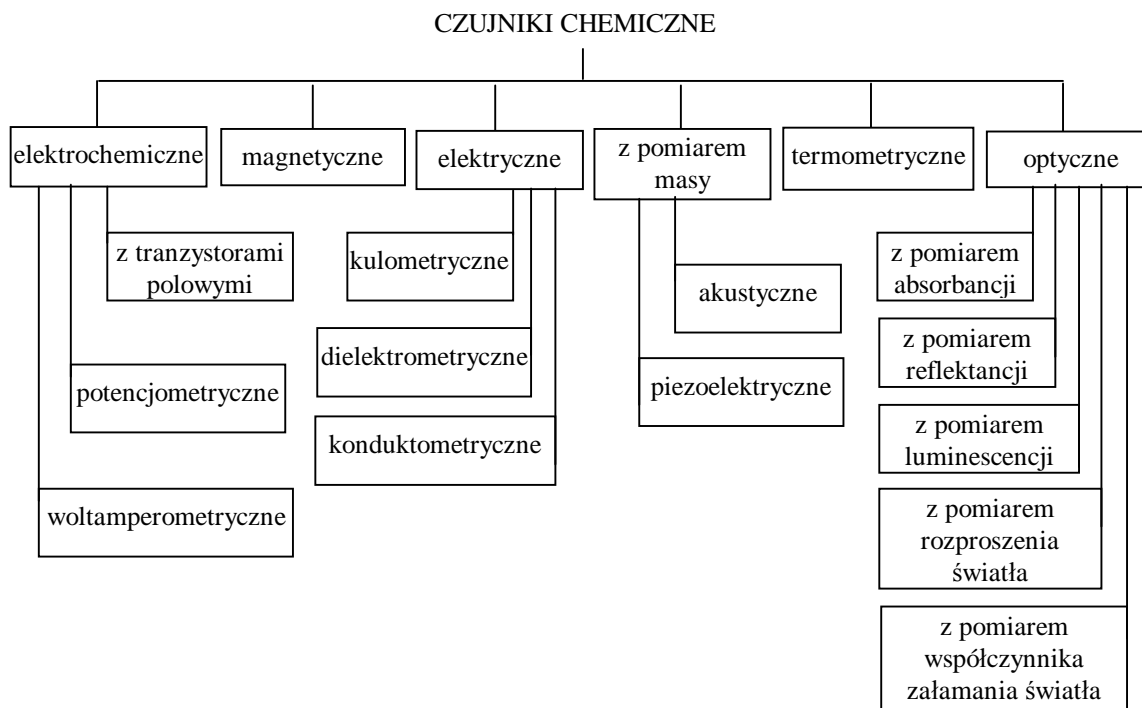
Czujniki chemiczne są urządzeniami, w których informacja chemiczna (obecność określonego czynnika) jest przekształcana na użyteczny sygnał analityczny. Składają się one z dwóch zasadniczych części:

- części receptorowej (sensora), która styka się z badaną próbką,
- przetwornika przekształcającego informację chemiczną na sygnał analityczny.

Podstawowymi parametrami czujników chemicznych są:

- selektywność, czyli zdolność wyróżnienia jednego analitu, na podstawie jego właściwości, z mieszaniny innych składników,
- czas odpowiedzi (jak szybko czujnik wykrywa badany składnik),
- czas życia, czyli okres, w jakim czujnik zachowuje swoje parametry (nadaje się do użytku),
- zakres pomiarowy (przedział mierzalnych stężeń),
- granica oznaczalności.

Klasyfikację czujników chemicznych według rodzaju przetwornika można przedstawić zgodnie z rys. 45.



**Rys. 45.** Klasyfikacja czujników chemicznych według rodzaju przetwornika [opracowanie własne]

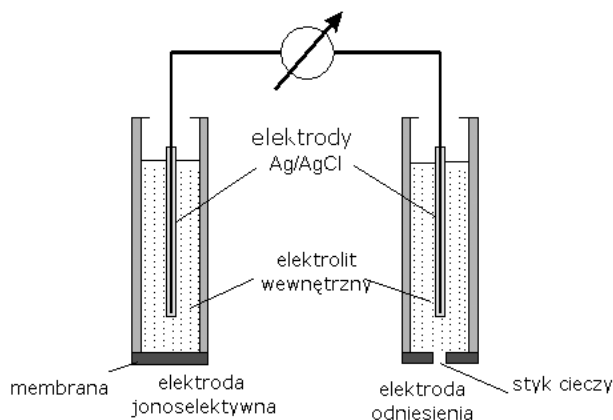
### Zastosowanie czujników chemicznych

Czujniki chemiczne posiadają ogromne możliwości pomiarowe. Sprawia to, że są wykorzystywane do analizy chemicznej wielu różnych substancji w prawie wszystkich dziedzinach życia. Stosowane są między innymi w:

- rolnictwie do oznaczania zawartości:
  - wapnia, chlorowców, sodu, potasu, azotanów w paszach,
  - wapnia, azotanów, sodu, potasu, boru i chlorowców w glebach,
  - azotu, azotanów, potasu i wapnia w nawozach sztucznych,
- medycynie:
  - do pomiaru zawartości potasu, wapnia, chlorków i fluorków w krwi i surowicy,
  - do pomiaru zawartości jodków, fluorków, wapnia i jonów amonowych w moczu,
  - analizy śliny, potu, kultur bakterii i próbek biologicznych,
- przemyśle spożywczym do oznaczania zawartości:
  - azotanów (III) i (V) oraz fluorków (w celu ustalenia zawartości niektórych toksyn) w rybach,
  - azotanów (III) i (V) w mięsie,
  - chlorków w serach, maśle, lodach,
  - fluorków i jodków w celu sprawdzenia zawartości niektórych toksyn w mleku i jego przetworach,
  - potasu, sodu, węglanów, fluorków i bromków w napojach alkoholowych,
- przemyśle papierniczo-celulozowym do pomiaru zawartości:
  - sodu, wapnia, siarczków srebra i chlorków,
- geologii i górnictwie do pomiaru zawartości:
  - fluorków, chlorków, wapnia w różnych rodzajach minerałów,
- metalurgii do pomiaru zawartości:

- miedzi, kadmu, cyjanków, fluorków, fluoroboranów, azotanów i amonu,
- analizie produktów leczniczych do oznaczania:
  - fluorków w witaminach,
  - fluorków w pastach do zębów,
  - chlorowców, miedzi, azotanów i wapnia w lekach,
- analizie wody i ścieków do oznaczania zawartości:
  - wapnia, potasu, sodu, srebra, ołowiu, kadmu, chlorowców, azotu amonowego oraz jonów siarczkowych i węglanowych w wodach naturalnych,
  - fluorków i azotanów w wodzie pitnej,
  - jonów fluorowców, azotanów, potasu i sodu w wodzie morskiej,
  - miedzi, srebra, cyjanków, amonu oraz azotu po obróbce metodą Kjeldahla w ściekach,
- analizie gazów do pomiarów:
  - składu mieszanin gazowych,
  - koncentracji gazów i oparów,
  - ochronie przeciwybuchowej.

Najbardziej znanym czujnikiem chemicznym wykorzystywanym w analizie procesowej jest elektroda szklana do ciągłego oznaczania pH (po zanurzeniu w badanym roztworze). Elektroda szklana to tzw. elektroda jonoselektywna (rys. 46), czyli mająca zdolność do analizy jednego rodzaju jonu, w tym przypadku jonów wodorowych. Elektrody jonoselektywne (czujniki potencjometryczne) mogą być wykorzystywane do oznaczeń bardzo wielu jonów nie tylko jonów wodorowych. Rodzaj oznaczanych jonów zależy od rodzaju zastosowanej membrany i elektrody odniesienia.



**Rys. 46.** Schemat elektrody jonoselektywnej [10]

Pomiar za pomocą elektrod jonoselektywnych sprowadza się do pomiaru różnicy potencjałów pomiędzy dwiema elektrodami. Elektroda odniesienia zapewnia bezpośredni kontakt pomiędzy badaną próbką a elektrolitem wewnętrznym. Elektroda pomiarowa oddzielona jest od próbki membraną czułą na wybrane jony. Różnica potencjałów między tymi dwiema elektrodami zależy od ilości oznaczanych jonów w badanej próbce.

Innym przykładem wykorzystania czujników chemicznych w analizie procesowej jest pomiar stężenia roztworu metodą konduktometryczną. W metodzie tej stężenie roztworu wyznaczone jest na podstawie pomiaru jego oporu elektrycznego za pomocą dwóch elektrod. Prąd przepływający pomiędzy elektrodami zależy od oporności cieczy, w której są zanurzone. Do pomiarów przemysłowych wykorzystywane są elektrody ze: stali

kwasoodpornej, niklu, tantalu, tytanu, grafitu lub platyny (elektrody platynowe najczęściej wykorzystywane są do pomiarów laboratoryjnych).

### Automatyzacja i robotyzacja procesów technologicznych

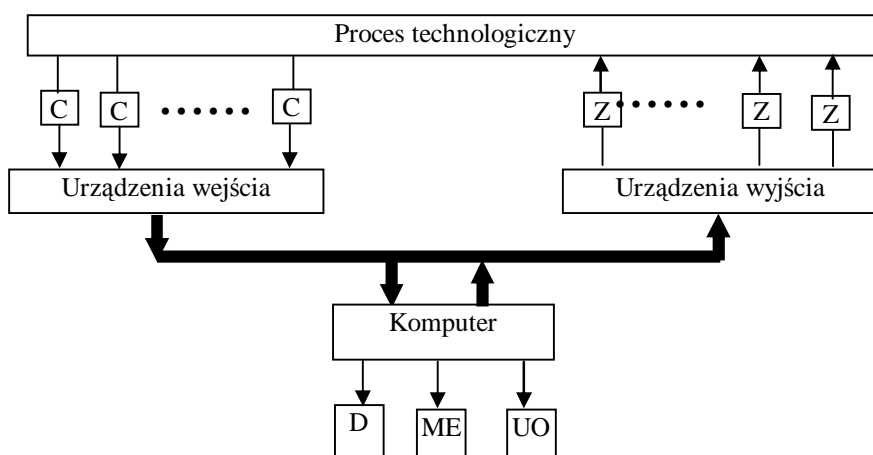
W procesie produkcyjnym przemysłu chemicznego strumień surowców poddawany jest przekształceniom w szeregu, następujących po sobie, operacji jednostkowych. Zautomatyzowanie jednej z tych operacji wpływa na poprawę warunków procesów jednostkowych następujących po niej. Poprawa ta będzie jednak znikoma, jeżeli pozostałe operacje pozostaną niezautomatyzowane. Dlatego też dąży się do automatyzacji całego procesu produkcji. Układy regulacji poszczególnych procesów jednostkowych dobierane są na podstawie analiz ich wzajemnych powiązań. Prawidłowo przeprowadzona analiza i dobrze dobrane układy regulacji pozwalają na prowadzenie produkcji w warunkach ustabilizowanych i osiąganie lepszych wyników technologicznych i ekonomicznych przez zakład. Zastosowanie jednak tylko prostych układów regulacji poszczególnych procesów daje wyniki dalekie jeszcze od optymalnych (osiągnięcie maksimum produkcji, minimum kosztów, maksymalne wykorzystanie surowców itp.). Wynika to z następujących właściwości produkcji chemicznej:

- różnorodności zachodzących reakcji,
- wybuchowości pojedynczych składników i ich mieszanin,
- agresywności środowisk prowadzonych procesów,
- różnej wydajności instalacji wchodzących w skład ciągu technologicznego.

Zbliżenie warunków prowadzenia procesów do warunków optymalnych możliwe jest dzięki zastosowaniu systemów komputerowych. Można wyróżnić dwa podstawowe komputerowe układy sterowania obiektów:

- bezpośrednie sterowanie cyfrowe,
- sterowanie nadrzędne (pośrednie).

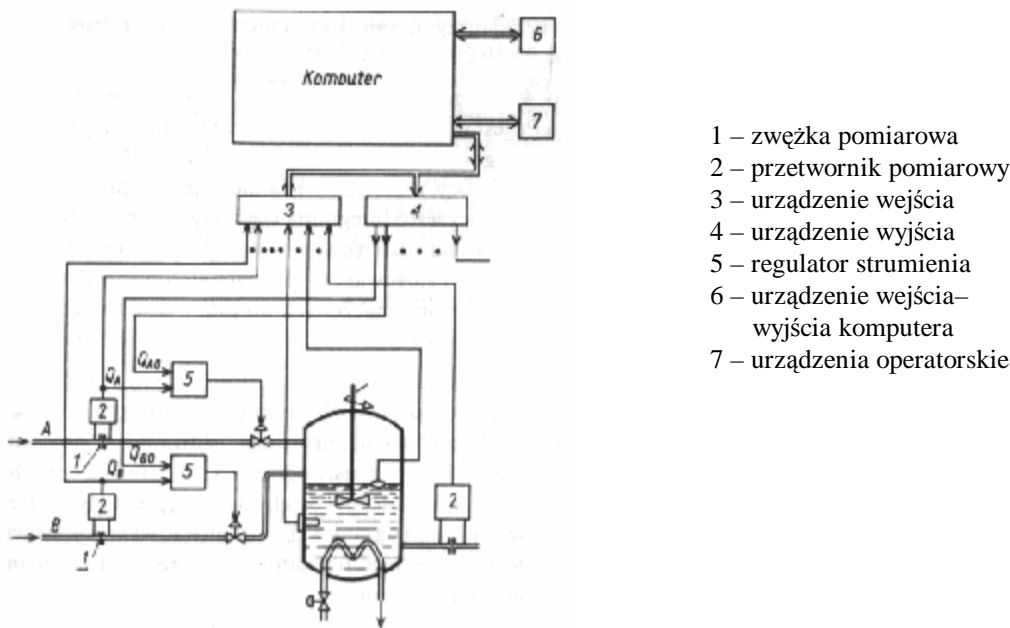
**W sterowaniu bezpośrednim** komputer steruje procesem poprzez swoje urządzenia pośredniczące, z pominięciem regulatorów konwencjonalnych (rys. 47). W układzie tym istnieje wiele kanałów wyjściowych oddziałujących bezpośrednio na proces i kanałów wejściowych dostarczających danych do komputera (kanałów wejściowych jest z reguły więcej). Komputer dostarcza również personelowi zakładu informacji o stanie sterowanego obiektu. Niestety awaria komputera całkowicie uniemożliwia sterowanie procesem. W związku z tym ważniejsze procesy jednostkowe wyposażone są w dodatkowe regulatory.



C – czujnik, Z – urządzenia wykonawcze, D – drukarka, ME – monitor, UO – urządzenia operatorskie

Rys. 47. Schemat strukturalny układu bezpośredniego sterowania cyfrowego [4]

**W sterowaniu nadrzędnym** komputer nadzoruje przebieg procesu, oddziałując na niego przez zmianę nastaw regulatorów. W układzie tym, komputer realizuje program wyższego rzędu (np. uwzględniając okresowe wahania składu surowcowego) zbierając cały czas informacje o sterowanym procesie. Oprócz programu podstawowego komputer realizuje również wiele programów dodatkowych, takich jak: zbierania i rejestracji danych, sterowania w sytuacjach awaryjnych itp. Dostarcza również informacji personelowi nadzorującemu o stanie sterowanego obiektu. W odróżnieniu od układu sterowania bezpośredniego w sterowaniu nadrzędnym awaria komputera nie zatrzymuje produkcji ponieważ obecność w układzie regulatorów umożliwia normalne sterowanie procesem.



Rys. 48. Fragment układu sterowania nadrzędnego [4]

### Systemy sterowania i ostrzegania o zaistnieniu odstępstw od zadanych wartości parametrów procesowych

Wiele procesów przemysłu chemicznego to procesy egzotermiczne oraz mogące prowadzić do wybuchu. W związku z tym szczególnie istotne staje się zabezpieczenie procesu przed pojawieniem się odstępstw od prawidłowych (bezpiecznych) wartości parametrów procesowych. W celu zapobiegania zaburzeniom w przebiegu procesu stosuje się kilka poziomów zabezpieczeń. Na wypadek gdyby nastąpiła niekontrolowana reakcja, zapewnia się dodatkową ochronę dla przechwycenia i zamknięcia produktów reakcji. W celu zapewnienia bezpiecznego i niezawodnego działania korzysta się z wewnętrznych, jak i zewnętrznych środków bezpieczeństwa.

Ponieważ awaria komputera w układzie sterowanym komputerowo (zwłaszcza w przypadku sterowania bezpośredniego) prowadzi do jednoczesnego przerwania wszystkich kanałów dopływu informacji o przebiegu procesu, najczęściej stosowane są układy dwukomputerowe, w których jeden komputer jest urządzeniem rezerwowym. Każda z jednostek centralnych wyposażona jest w niezależne i nieprzerywalne źródła zasilania, dla zapewnienia stabilnego działania. Równocześnie dużą uwagę przywiązuje się do szybkiego wykrywania stanów awaryjnych. W tym celu stosowane są programy testowe sprawdzające poprawność działania fragmentów lub całości układu sterowania. Wewnętrzne czujniki nadzorują działanie mikroprocesorów i informują operatorów w razie nieprawidłowego

działania komputera. Wykrycie awarii powoduje włączenie sygnału alarmowego wskazującego miejsce i rodzaj awarii. Równocześnie następuje włączenie urządzeń rezerwowych.

Z drugiej strony instrumenty procesowe dostarczają informacji o wielkości przepływu, temperatury, ciśnienia i innych parametrach procesu do komputera. Wykrycie nieprawidłowości w wartościach parametrów uruchamia zabezpieczenia i blokady, które rozpoczynają wyłączenie poszczególnych operacji jednostkowych, eliminując rozwój sytuacji awaryjnej. Równocześnie system informuje operatorów (za pomocą sygnałów świetlnych i dźwiękowych) o zaistniałej awarii. W przypadku nadmiernego wzrostu temperatury czy wystąpienia pożaru uruchamiana jest instalacja przeciwpożarowa. System również może odciąć dostęp do miejsc, w których nastąpiła awaria poprzez zablokowanie drzwi do niektórych pomieszczeń.

W skład urządzeń kontroli (informujących o przebiegu procesu technologicznego) wchodzi:

- rejestratory, które zapisują informacje na temat przebiegu procesu co umożliwi późniejszą analizę tego przebiegu,
- mierniki wskazujące, służące do wizualnego odwzorowania wartości chwilowej wielkości mierzonej,
- urządzenia telewizji przemysłowej, umożliwiające bezpośrednią obserwację przebiegu procesu,
- urządzenia sygnalizacyjne informujące o wystąpieniu niekorzystnych wartości mierzonych parametrów (optyczne lub akustyczne).

W sygnalizatorach optycznych podstawowe znaczenie ma barwa wskaźnika. Do celów sygnalizacji stosuje się sześć podstawowych barw: czerwoną, pomarańczową, zieloną, niebieską, żółtą i białą. Pojawienie się barwy czerwonej na sygnalizatorze informuje o pojawieniu się awarii i nakazuje wyłączenie aparatury. Barwa zielona przypisana jest do wskaźników informujących o prawidłowej pracy aparatury. W sygnalizatorach akustycznych wykorzystywane są: dzwonki, bucuki i syreny. Dzwonki i bucuki używane są do sygnalizacji lokalnej. Syreny do sygnalizacji o dużym zasięgu.

### **Systemy Całkowitej Analizy Chemicznej**

W przemyśle chemicznym często zachodzi potrzeba dokonywania, zarówno prostych, jak i skomplikowanych, analiz chemicznych. Aby zwiększyć ilość wykonywanych oznaczeń i równocześnie zmniejszyć ilość pobieranego do analizy materiału, wprowadzana jest automatyzacja analizy procesowej.

Terminem System Całkowitej Analizy Chemicznej (Total Chemical Analysis System – TAS) określa się zintegrowany system, który umożliwia przeprowadzenie wszystkich operacji i czynności prowadzących do uzyskania wyniku końcowego analizy. TAS można podzielić na dwa rodzaje:

- układy oparte na wykorzystaniu wstrzykowej analizy przepływowej (bliższe informacje na temat tej analizy znajdziesz w poradniku do modułu „Kontrola analityczna procesów wytwarzania półproduktów oraz produktów organicznych i nieorganicznych”),
- układy oparte na wykorzystaniu wysokosprawnej chromatografii cieczowej lub elektroforezy kapilarnej.

W skład TAS wchodzi następujące zautomatyzowane etapy:

- pobieranie próbek,
- obróbka wstępna,
- transport,
- obróbka chemiczna,

- rozdzielanie analitów,
- izolacja produktów,
- detekcja,
- obróbka danych.

### **Wykorzystanie robotów w procesach przemysłowych**

Roboty przemysłowe to mechanizmy z głowicą manipulacyjną mającą z reguły więcej niż trzy stopnie swobody. Zwykle są one programowane do wykonywania wciąż tych samych, powtarzających się czynności. W przemyśle stosowane są różne rodzaje robotów różniące się między sobą zastosowaniem i stopniem komplikacji budowy. Najprostsze z nich wykorzystywane są jako automatyczne podajniki. Podają i odbierają materiały oraz elementy od urządzeń pracujących w cyklu automatycznym. Funkcja „śledzenia ruchu taśmy produkcyjnej”, umożliwiająca pobieranie komponentów z taśmy bez konieczności jej zatrzymywania.

Bardziej skomplikowane roboty pracują we wrażliwym i wolnym od zanieczyszczeń środowisku laboratoryjnym. Wykonują dokładne operacje na niewielkiej przestrzeni. Mają możliwość poruszania się po dowolnych krzywych i rozległy zasięg ramion.

Roboty często wykorzystywane są w miejscach, w których panują warunki szkodliwe dla człowieka, takie jak: wysoka temperatura, trujące gazy, promieniowanie itp. oraz wszędzie tam gdzie wymagana jest wysoka precyzja i powtarzalność.

### **4.3.2. Pytania sprawdzające**

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

1. Na czym polega sterowanie procesem suszenia ciał stałych?
2. Jakie są rodzaje czujników chemicznych?
3. Do jakich pomiarów wykorzystywane są czujniki chemiczne?
4. Jakie są rodzaje komputerowych systemów sterowania?
5. Na czym polega działanie systemu ostrzegania o odstępstwach od zadanych wartości parametrów procesowych?
6. Do czego służy system TAS?

### **4.3.3. Ćwiczenia**

#### **Ćwiczenie 1**

Zbadaj układ automatycznej regulacji centrali klimatyzacyjnej. Wyznacz wskaźniki jakości układu regulacji.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) zapoznać się ze schematem układu automatycznej regulacji komory klimatyzacyjnej (załącznik do ćwiczenia),
- 4) zapoznać się ze schematem stanowiska pomiarowego (załącznik do ćwiczenia),
- 5) przeprowadzić badanie przemian cieplnych wewnątrz komory klimatyzacyjnej przed wprowadzeniem zakłócenia zgodnie z instrukcją dołączoną do ćwiczenia,

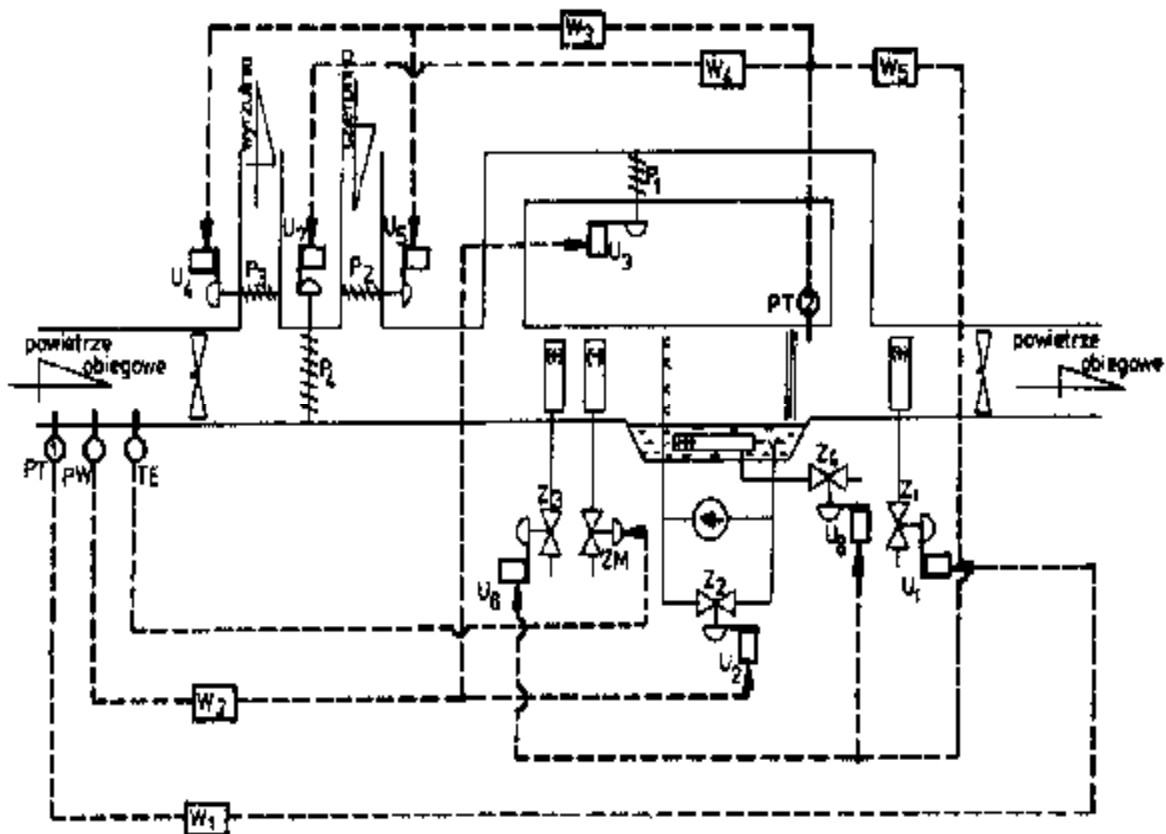


- 6) przeprowadzić rejestrację przebiegów czasowych wielkości regulowanych (temperatury w komorze, temperatury w pomieszczeniu klimatyzowanym, wilgotności) zgodnie z instrukcją załączoną do ćwiczenia,
- 7) przeprowadzić badanie przemian ciepłych wewnątrz komory klimatyzacyjnej po ustaleniu się nowego stanu równowagi zgodnie z instrukcją dołączoną do ćwiczenia,
- 8) przygotować sprawozdanie z ćwiczenia zgodnie z zasadami podanymi przez nauczyciela.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko do badania pracy centrali klimatyzacyjnej,
- stoper,
- schemat układu automatycznej regulacji centrali klimatyzacyjnej,
- literatura z rozdziału 6.

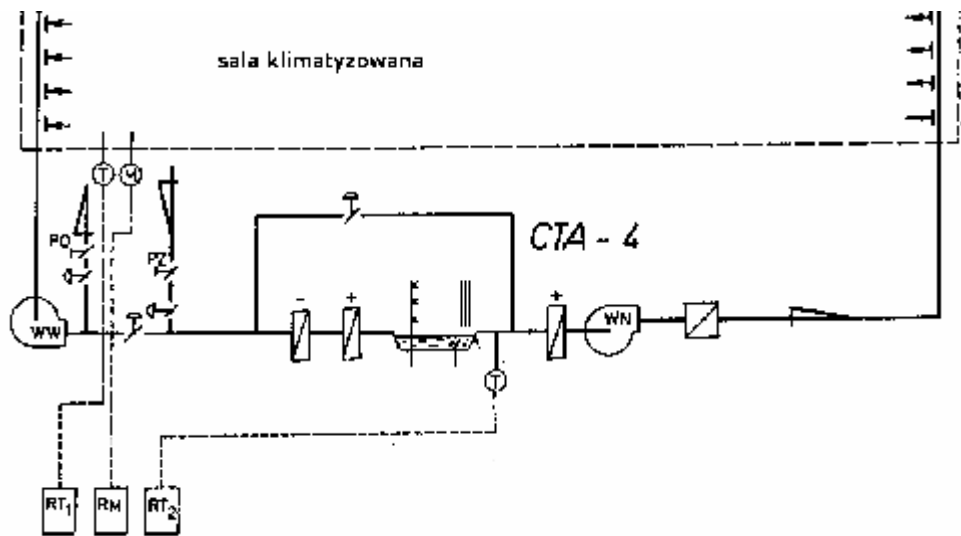
### Załącznik 1



$U_1 \div U_8$  – ustawniki pozycyjne,  $Z_1 \div Z_4$  – zawory regulacyjne, ZM – zawór elektromagnetyczny,  
 $P_1 \div P_4$  – przepustnice, PT – przetworniki temperatury, PW – przetwornik wilgotności,  
 TE – termometr kontaktowy,  $W_1 \div W_5$  – wzmacniacze

**Rys. 49.** Schemat układu automatycznej regulacji komory klimatyzacyjnej [2]

## Załącznik 2



RT<sub>1</sub>, RT<sub>2</sub>, RM – rejestratory wielkości regulowanych, PO, PZ – przepustnice, T – termometr,  
M – manometr, WW, WN – wentylatory

Rys. 50. Schemat stanowiska pomiarowego [2]

## Załącznik 3

### Instrukcja wykonanie ćwiczenia

**I etap** – Badanie przemian cieplnych wewnątrz komory klimatyzacyjnej przed wprowadzeniem zakłócenia.

Odczytać wartość pomiarów temperatury z termopar umieszczonych w ośmiu punktach komory i zapisać wyniki pomiaru.

**II etap** – Rejestracja przebiegów czasowych wielkości regulowanych.

Włączyć rejestratory RT<sub>1</sub>, RT<sub>2</sub>, RM. Równocześnie przymknąć przepustnice PO i PZ. W chwili przymknięcia przepustnic włączyć stoper. Rejestrację prowadzić do momentu ustalenia się nowego stanu równowagi. Po ustaleniu się nowego stanu równowagi wyłączyć stoper. Na rejestratorach uzyskuje się wykresy czasowych przebiegów wielkości regulowanych: temperatury wewnątrz komory, temperatury w sali klimatyzowanej, wilgotności powietrza.

**III etap** – badanie przemian cieplnych wewnątrz komory po ustaleniu się nowego stanu równowagi.

Pomiary przeprowadzić tak jak w etapie I. Wyniki pomiarów zapisać.

### Ćwiczenie 2

Narysuj schemat sterowania komputerowego procesem suszenia w suszarkach obrotowych metodą kombinowaną (regulacja według wilgotności i czasu suszenia). Bęben suszarni obraca się, powodując przesuwanie się suszonego materiału w kierunku wylotu. Utrata wilgotności następuje poprzez bezpośredni styk suszonego surowca z gorącym powietrzem.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania dla jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 2) zapoznać się z literaturą jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- 3) określić, jakie parametry procesu muszą być mierzone przez układ sterowania,
- 4) dobrać sposób regulacji wilgotności w bębnie,
- 5) wybrać rodzaj sterowania komputerowego (nadrzędne czy bezpośrednie),
- 6) określić, jakie urządzenia układu sterowania należy zainstalować w układzie,
- 7) narysować uproszczony schemat układu sterowania,
- 8) zaprezentować przygotowany projekt na forum klasy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiał nauczania jednostki modułowej 331[31].Z2.05,
- literatura z rozdziału 6.

### Ćwiczenie 3

Podczas wycieczki do oddziału komponowania benzyn zapoznaj się z przykładem sterowania z zastosowaniem komputerowego modelu instalacji komponowania benzyn strumieniami różnych komponentów naftowych i syntetycznych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z obowiązującymi na terenie oddziału przepisami bhp i stosować się do nich,
- 2) pobrać od nauczyciela instrukcję i kartę obserwacji,
- 3) zapoznać się z instalacją komputerowo sterowanego procesu komponowania benzyn,
- 4) wypisać niezbędny zestaw urządzeń potrzebnych do realizacji komputerowego systemu sterowania,
- 5) zebrać maksimum informacji o stosowanych urządzeniach do regulacji i sterowania wielkością strumieni masy poszczególnych komponentów,
- 6) wyjaśnić złożoność technologiczną procesu komponowania benzyn wysokooktanowych z kilkunastu strumieni składników naftowych i syntetycznych,
- 7) zaprezentować wyniki pracy w postaci sprawozdania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- karta obserwacji,
- instrukcja dla ucznia.

### 4.3.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) podać zasady sterowania podstawowymi procesami w przemyśle chemicznym?	..	..
2) podać przemysłowe zastosowania urządzeń sterowania?	..	..
3) podać przykłady stosowania urządzeń sterowania w podstawowych procesach przemysłu chemicznego?	..	..
4) podać przykłady zastosowania czujników chemicznych?	..	..
5) zastosować przepisy bhp podczas wykonywania prac w pracowni technologicznej?	..	..

## **5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ**

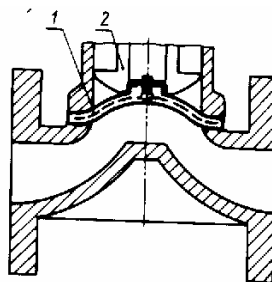
### **INSTRUKCJA DLA UCZNI**

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 20 zadań wielokrotnego wyboru o różnym stopniu trudności. W każdym zadaniu tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci czas wolny.
8. W czasie pracy możesz korzystać z kalkulatora do wykonywania niezbędnych obliczeń.
9. Na rozwiązanie testu masz 45 min.

Powodzenia

## ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

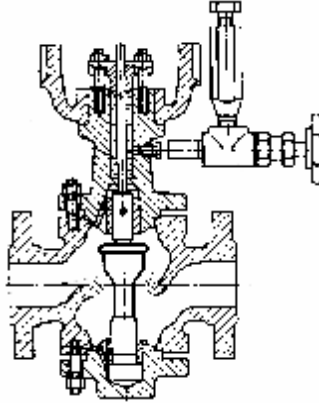
1. Układem regulacji nazywamy:
  - a) urządzenie lub zespół urządzeń sterujących procesem,
  - b) zespół składający się z obiektu sterowania i urządzenia sterującego,
  - c) proces lub kilka procesów podlegających regulacji,
  - d) zespół składający się z urządzenia nastawczego i elementu wykonawczego.
  
2. Charakterystyką statyczną obiektu regulacji nazywamy:
  - a) zależność sygnału wyjściowego od wartości sygnału wejściowego w stanie przejściowym,
  - b) zależność sygnału wejściowego od wartości sygnału wyjściowego w warunkach nieustalonych,
  - c) zależność sygnału wyjściowego od wartości sygnału wejściowego w stanie ustalonym,
  - d) zależność sygnału wejściowego od wartości sygnału wyjściowego w warunkach ustalonych.
  
3. Siłownikiem nazywamy element:
  - a) nastawczy elementu wykonawczego,
  - b) napędowy element nastawczego,
  - c) wykonawczy regulatora,
  - d) napędowy obiektu regulacji.
  
4. Układ sterowania, który składa się z ciągu prostych zadań następujących kolejno po sobie, nazywamy sterowaniem:
  - a) ekstremalnym,
  - b) optymalnym,
  - c) nadążnym,
  - d) sekwencyjnym.
  
5. Na przedstawionym schemacie zaworu regulacyjnego element oznaczany cyfrą 1 to:



- a) przepona,
- b) grzybek,
- c) gniazdo,
- d) dławnica.

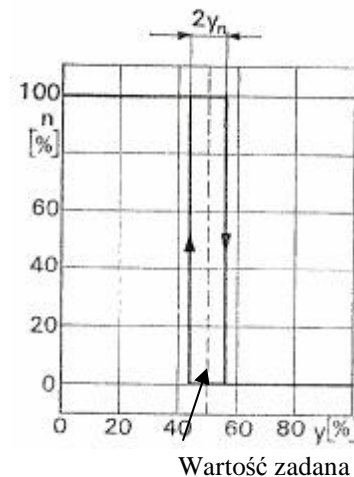
6. Siłownik elektromagnetyczny powoduje otwarcie zaworu, dzięki podniesieniu trzbień na skutek:
- przepływu prądu przez uzwojenie elektromagnesu,
  - przepływu prądu przez trzbień,
  - nacisku sprężyny zwrotnej na membranę,
  - nacisku sprężyny zwrotnej na trzbień.

7. Załączony schemat przedstawia:



- zawór kulowy,
  - zawór grzybkowy,
  - siłownik elektromagnetyczny
  - siłownik tłokowy.
8. Do regulacji temperatury w reaktorze, w którym występują po sobie trzy podstawowe etapy różniące się wartościami regulowanej temperatury i są określone funkcją czasu, należy zastosować układ regulacji:
- stałwartościowy,
  - stabilizacyjny,
  - programowy,
  - nadążny.
9. Proporcjonalność pomiędzy uchybem regulacji a sygnałem nastawienia występuje w regulatorze:
- PD,
  - PI,
  - P,
  - I.

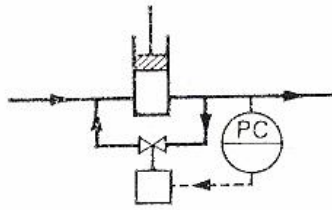
10. Charakterystyka statyczna regulatora przedstawionego w postaci wykresu



jest właściwa dla regulatora:

- a) dwustawnego ze strefą neutralną,
  - b) dwustawnego,
  - c) trójstawnego,
  - d) proporcjonalnego.
11. Regulatory zasilane z zewnętrznego źródła energii olejem mineralnym doprowadzanym za pośrednictwem pomp, to regulatory:
- a) bezpośrednie,
  - b) pneumatyczne,
  - c) hydrauliczne,
  - d) elektryczne.
12. W wielu operacjach prowadzonych w przemyśle chemicznym stosuje się układy uniemożliwiające wykonanie pewnych czynności, gdy nie zostały wykonane wszystkie poprzednie. Są to:
- a) sygnalizatory,
  - b) regulatory,
  - c) siłowniki,
  - d) blokady.
13. W układach regulacji pneumatycznej do sprężania powietrza montuje się sprężarki tłokowe, które są źródłem zanieczyszczenia powietrza zasilającego mgłą olejową. Aby ją usunąć, należy zastosować:
- a) filtr,
  - b) chłodnicę,
  - c) odolejacz,
  - d) wyparkę.

14. Schemat przedstawia regulację:



- a) ciśnienia na odpływie,
  - b) ciśnienia na dopływie,
  - c) stężenia jonów wodorowych na odpływie,
  - d) stężenia jonów wodorowych na dopływie.
15. Do regulatorów **nie** ciągłych zaliczamy regulator:
- a) proporcjonalny,
  - b) całkujący,
  - c) dwustawny,
  - d) różniczkujący.
16. W miejscach, w których istnieje zagrożenie pożarowe, **nie należy** stosować regulatorów:
- a) bezpośrednich,
  - b) pośrednich elektrycznych,
  - c) pośrednich pneumatycznych,
  - d) pośrednich hydraulicznych.
17. Tradycyjny proces sterowania suszeniem ciał stałych polega na regulacji:
- a) ilości powietrza wilgotnego wprowadzanego do procesu,
  - b) temperatury powietrza wilgotnego wprowadzanego do procesu,
  - c) wilgotności powietrza wprowadzanego do procesu,
  - d) ilości powietrza suchego wprowadzanego do procesu.
18. Jeden ze sposobów regulacji procesu rektyfikacji opiera się na pomiarze stężenia jednego ze składników. Pomiar ten dokonywany jest za pomocą:
- a) rotametru,
  - b) elektrody jonoselektywnej,
  - c) konduktometru,
  - d) analizatora automatycznego.
19. W sterowaniu nadrzędnym komputer nadzoruje przebieg procesu technologicznego poprzez:
- a) zmianę nastaw regulatorów,
  - b) własne urządzenia pośredniczące,
  - c) zmianę ustawień czujników,
  - d) własne urządzenia nadzorujące.
20. Do urządzeń kontroli informujących o przebiegu procesu **nie należą**:
- a) rejestratory,
  - b) sensory chemiczne,
  - c) mierniki wskazujące,
  - d) telewizja przemysłowa.



# KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

## Stosowanie układów automatyki i sterowania

Zakreśl poprawną odpowiedź, wpisz brakujące części zdania lub wykonaj rysunek.

Nr zadania	Odpowiedź				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	
15.	a	b	c	d	
16.	a	b	c	d	
17.	a	b	c	d	
18.	a	b	c	d	
19.	a	b	c	d	
20.	a	b	c	d	
<b>Razem:</b>					

## 6. LITERATURA

1. Aparatura kontrolno-pomiarowa w przemyśle chemicznym. Praca zbiorowa. WSiP, Warszawa 1978
2. Ćwiczenia laboratoryjne z ogrzewnictwa, wentylacji i klimatyzacji. Część III Praca zbiorowa. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1985
3. Kordowicz-Sot A.: Automatyka i robotyka. Układy regulacji automatycznej. WSiP, Warszawa 1999
4. Kostro J.: Elementy urządzenia i układy automatyki. WSiP, Warszawa 1994
5. Ludwicki M.: Laboratorium pomiarów i automatyki w przemyśle spożywczym. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1986
6. Pochopień B.: Automatyka przemysłowa dla elektroników. WSiP, Warszawa 1985
7. Pułaczewski J.: Automatyka w przemyśle chemicznym. WSiP, Warszawa 1975
8. Pułaczewski J.: Podstawy regulacji automatycznej. WSiP, Warszawa 1986
9. Tuszyński K.: Pomiary i automatyka w przemyśle chemicznym. WSiP, Warszawa 1982
10. [csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials](http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials)
11. [terminator.ia.polsl.gliwice.pl/dydaktyka](http://terminator.ia.polsl.gliwice.pl/dydaktyka)- Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej
12. [www.pg.gda.pl/chem/Katedry/Analityka](http://www.pg.gda.pl/chem/Katedry/Analityka)
13. [www.polna.com.pl](http://www.polna.com.pl)- Zakłady Automatyki „Polna” S.A.
14. [www.zsp.polsl.pl/przedmioty//d mp ele](http://www.zsp.polsl.pl/przedmioty//d_mp_ele)
15. PN-89/M-42007.01 „Automatyka i pomiary przemysłowe Oznaczenia na schematach. Podstawowe symbole graficzne i postanowienia ogólne”.