

# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

### C1 - Badanie statycznych własności przetworników temperatury

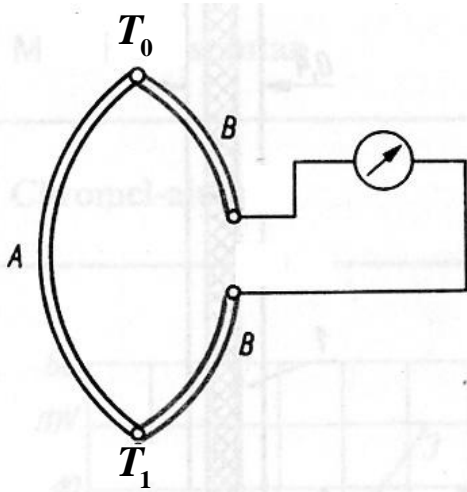
Temperatura jest jednym z najczęściej mierzonych parametrów technologicznych. Jest ona miarą średniej energii kinetycznej ruchu cząstek danego ciała, a w związku z tym temperatury nie można mierzyć w sposób bezpośredni. W pomiarach temperatury wykorzystuje się zależność własności fizykochemicznych substancji lub zjawisk fizycznych od temperatury. W zależności od zasady działania wyróżnia się następujące rodzaje termometrów:

- rozszerzalnościowe, w których wykorzystuje się zjawisko termicznej rozszerzalności cieczy i ciał stałych;
- ciśnieniowe, wykorzystujące zależność ciśnienia cieczy lub gazów od temperatury, przy ich stałej objętości;
- rezystancyjne, w których wykorzystywana jest zależność rezystancji metali oraz półprzewodników od temperatury;
- termoelektryczne, w których wykorzystywane jest zjawisko powstawania siły termoelektrycznej w obwodzie, w którym dwa złącza dwóch różnych metali znajdują się w różnych temperaturach;

Termometry rozszerzalnościowe, ciśnieniowe, rezystancyjne oraz termoelektryczne nazywane są termometrami stykowymi (kontaktowymi), ponieważ wymagają, aby ich czujnik stykał się bezpośrednio z obiektem, którego temperatura jest mierzona. Prawidłowy pomiar dowolnej wielkości fizycznej wymaga znajomości charakterystyki statycznej przyrządu pomiarowego (przetwornika). Charakterystyka statyczna wiąże zależność sygnału wyjściowego przyrządu w funkcji sygnału wejściowego (w tym przypadku temperatury) dla ustalonych stanów pracy przyrządu. W zależności od rodzaju termometru sygnałem wyjściowym może być np. wysokość słupa cieczy, ciśnienie, opór elektryczny lub siła elektromotoryczna.

Celem ćwiczenia jest zbadanie charakterystyk statycznych dwóch czujników rezystancyjnych Pt100 i Pt1000 oraz dwóch czujników termoelektrycznych (termopar) NiCr-NiAl i Fe-CuNi.

Czujnik rezystancyjny Pt100 (Pt – czujnik platynowy) w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  ma rezystancję równą  $100\ \Omega$ , zaś czujnik Pt1000 – rezystancję równą  $1000\ \Omega$ . Wraz ze wzrostem temperatury rezystancja czujników metalicznych rośnie, przy czym czujniki platynowe posiadają liniową zależność rezystancji od temperatury w zakresie od  $-200^{\circ}\text{C}$  do  $800^{\circ}\text{C}$ .



Miarą temperatury mierzonej przy użyciu termopar jest napięcie  $U$ , będące miarą różnicy potencjałów dwóch spoin różnych metali (A i B) znajdujących się w różnych temperaturach  $T_0$  i  $T_1$  (rysunek 1). Jedna ze spoin umieszczona jest w środowisku o mierzonej temperaturze  $T_1$ , zaś druga w środowisku o znanej temperaturze  $T_0$ . W praktyce, w nowoczesnych przyrządach pomiarowych spoinę odniesienia zastępuje się układem elektronicznym, który umożliwia bezpośrednio ustawienie temperatury odniesienia. Potencjał odpowiadający zadanej temperaturze odniesienia jest następnie uwzględniany przy wyznaczeniu wypadkowej siły elektromotorycznej (termoelektrycznej) będącej miarą mierzonej temperatury.

Rys. 1. Schemat budowy termopary.

## Opis ćwiczenia

Układ pomiarowy składa się z termostatu, czujników temperatury (Pt100 i Pt1000 oraz termopar: NiCr-NiAl i Fe-CuNi), dwóch cyfrowych wskaźników rezystancji oraz dwóch przetworników napięcia termopar. Podczas ćwiczenia należy zbadać zależność sygnałów wyjściowych badanych czujników (rezystancji i napięcia) w funkcji temperatury w stanie ustalonym. W tym celu należy umieścić badane czujniki w termostacie i notować wartości ich sygnałów wyjściowych w stanie ustalonym dla kolejnych, coraz większych wartości temperatury wody w termostacie. Pomiary należy wykonywać co 5°C, w zakresie od 20 do 80°C.

## Sprawozdanie

Zakres sprawozdania z wykonanego ćwiczenia obejmuje:

- a) opis wykonanego ćwiczenia,
- b) wyznaczenie charakterystyk statycznych badanych czujników temperatury,
- c) określenie temperatury odniesienia badanych czujników termoelektrycznych,
- d) wnioski dotyczące właściwości badanych czujników temperatury.

## Kolokwium

Zakres materiału wymaganego do zaliczenia kolokwium końcowego:

1. Wykład "Regulacja i sterowanie procesów biotechnologicznych"
2. Chorowski B. i Werszko M. „Mechaniczne urządzenia automatyki”, WNT 1990, str. 239-242 (WNT 1974, str. 229-230).
3. Kostro J. „Elementy, urządzenia i układy automatyki”, WSiP, 1983, Rozdział 8. Przyrządy do pomiaru temperatury.

# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

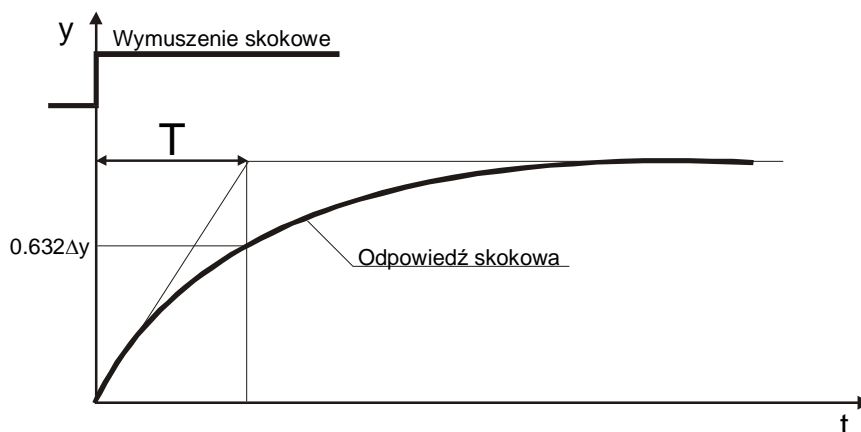
## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

### C2 – Badanie dynamicznych własności przetworników temperatury

Temperatura jest najczęściej mierzoną wielkością fizyczną w przemyśle przetwórczym. Zależnie od wymagań stosowane są różne rodzaje termometrów, wykorzystujące odpowiednie zjawiska fizyczne. Wyróżnia się następujące rodzaje termometrów:

- rozszerzalnościowe (zjawisko termicznej rozszerzalności cieczy lub ciał stałych)
- ciśnieniowe (zależność ciśnienia cieczy lub gazu przy ich stałej objętości od temperatury)
- rezystancyjne (zależność rezystancji metali lub półprzewodników od temperatury)
- termoelektryczne (zjawisko powstawania siły elektromotorycznej w obwodzie, w którym złącza dwóch różnych metali znajdują się w różnej temperaturze)

Termometry rozszerzalnościowe, ciśnieniowe, rezystancyjne oraz termoelektryczne nazywane są termometrami stykowymi ponieważ wymagają, aby ich czujnik stykał się bezpośrednio z obiektem, którego temperatura jest mierzona. Charakterystyka dynamiczna jest to zależność wielkości wyjściowej i jej pochodnych względem czasu od wielkości wejściowej i jej pochodnych względem czasu, wyznaczona w stanie nieustalonym. W stanach tych wartości wielkości wyjściowych zależą więc od aktualnych i wcześniej istniejących wartości wielkości wejściowych. Charakterystyki dynamiczne termometrów stykowych można aproksymować charakterystyką obiektu liniowego pierwszego rzędu. Na rysunku przedstawiono odpowiedź skokową takiego obiektu. Jak widać wielkość wyjściowa naśladuje kształt wymuszenia skokowego z inercją, której miarą jest wartość stałej czasowej  $T$ .

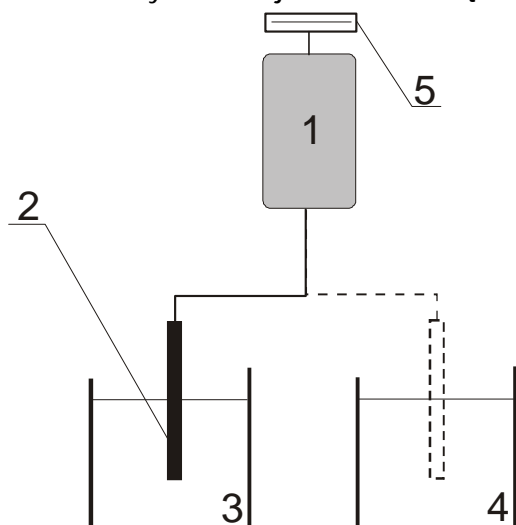


Wartość  $T$  oznacza czas, jaki upływa od zaistnienia wymuszenia do chwili, w której zmiana wielkości wyjściowej osiągnie 0.632 wartości zmiany uzyskiwanej w stanie ustalonym. Stałą czasową  $T$  można wyznaczyć wykreślnie jako rzut stycznej w dowolnym punkcie na asymptotę stanu ustalonego. Stałe czasowe termometrów zależą od ich pojemności cieplnych i mogą zawierać się w granicach od części sekundy do kilku minut (dla termometrów w masywnych obudowach ochronnych).

Celem ćwiczenia jest zbadanie dynamicznych charakterystyk ciśnieniowego oraz rezystancyjnego przetwornika temperatury poprzez pomiar sygnału wyjściowego w odpowiedzi na skokową zmianę temperatury (wymuszenie skokowe).

## Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie rozpoczyna się od napełnienia zbiornika 3 zimną wodą oraz podgrzania wody w termostacie 4 do temperatury 80 °C. Charakterystyki dynamiczne przetwornika wyznacza się dla czujników bez osłony oraz czujników z osłoną.



Oznaczenia:

1. Przetwornik temperatury
2. Czujnik temperatury
3. Zbiornik wody zimnej
4. Termostat - zbiornik wody gorącej
5. Miernik wartości sygnału wyjściowego

1. Czujnik bez osłony. W przypadku czujnika bez osłony należy spodziewać się szybkiej odpowiedzi układu na wymuszenie skokowe temperatury. Należy umieścić czujnik temperatury 2 w zbiorniku zimnej wody 3 i poczekać do ustalenia wartości wyjściowej. Następnie szybko przełożyć czujnik do termostatu 4 – nagłą zmianę temperatury należy interpretować jako wymuszenie skokowe. Moment włożenia czujnika do gorącej wody należy przyjąć jako czas początkowy i od tego momentu należy notować co 1 sekundę w początkowej fazie i co 10 sekund w końcowej fazie wartość sygnału wyjściowego przetwornika w funkcji czasu. Po ustaleniu się wartości wyjściowej należy przełożyć czujnik do zimnej wody w zbiorniku 3 i przeprowadzić pomiary analogicznie jak w przypadku ogrzewania czujnika. Należy wykonać 3 serie pomiarowe dla cyklu ogrzewanie-chłodzenie czujnika.
2. Czujnik z osłoną. W tym przypadku zmiany wartości sygnału wyjściowego nie będą aż tak gwałtowne jak w przypadku czujnika bez osłony. Ćwiczenie wykonuje się identycznie jak w przypadku czujnika bez osłony przy czym odstępy między pomiarami można wydłużyć do ok. 15-30 sekund w zależności od szybkości reakcji układu.

Sprawozdanie: W sprawozdaniu należy wykreślić zmierzone odpowiedzi skokowe przetwornika temperatury dla wszystkich wariantów i na ich podstawie wyznaczyć stałe czasowe i współczynniki wzmocnienia badanych obiektów. Przedyskutować, od jakich czynników zależą wartości wyznaczonych parametrów. Szczegółowy zakres sprawozdania zostanie podany przez prowadzącego ćwiczenie.

## Kolokwium

Zakres materiału wymaganego do zaliczenia kolokwium końcowego:

1. Wykład „Regulacja i sterowanie procesów biotechnologicznych”
2. Chorowski B., Werszko M., „Mechaniczne urządzenia automatyki”, WNT 1990.
3. Kostro J., „Elementy, urządzenia i układy automatyki”, WSiP, 1983.

# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

### C3 - Badanie statycznych własności zaworu regulacyjnego

Elementy nastawcze w układach regulacji automatycznej umożliwiają sterowanie obiektem regulacji poprzez zmianę doprowadzanego strumienia masy lub energii. Zawory nastawcze służą do zmiany natężenia przepływu strumienia cieczy, pary lub gazów w instalacjach przemysłowych. Typowy regulacyjny zawór grzybkowy zbudowany jest z gniazda osadzonego w korpusie zaworu oraz z ruchomego grzybka zamocowanego na wrzecionie. Od geometrii oraz dokładności oszlifowania powierzchni gniazda i grzybka zależy szczelność i charakterystyka otwarcia zaworu. Jest to charakterystyka statyczna zaworu podająca zależność pola przepływu zaworu od przesunięcia wrzeciona. W niniejszym ćwiczeniu zawór nastawczy sterowany jest przy pomocy siłownika pneumatycznego wyposażonego w nastawnik pozycyjny. Siłownikami nazywamy elementy napędowe służące do nastawiania położenia zaworów regulacyjnych. Najbardziej rozpowszechnione są siłowniki pneumatyczne charakteryzujące się prostotą budowy i dużą niezawodnością. Popularne są również siłowniki elektryczne wykorzystujące elektryczne silniki krokowe lub elektromagnesy. Wadą siłowników jest występowanie zjawiska histerezy charakterystyki statycznej co powoduje niedokładne ustawianie grzybka zaworu podczas wielokrotnego otwierania i zamykania. Znaczną poprawę właściwości siłownika uzyskuje się przez wyposażenie go w tzw. nastawnik pozycyjny. Zastosowanie nastawnika daje kilkunastokrotne zmniejszenie histerezy i wpływu sił obciążenia na położenie trzpienia siłownika.

#### Sprawozdanie

Zakres sprawozdania z ćwiczenia określi prowadzący po uprzednim sprawdzeniu i zaliczeniu wykonanych pomiarów.

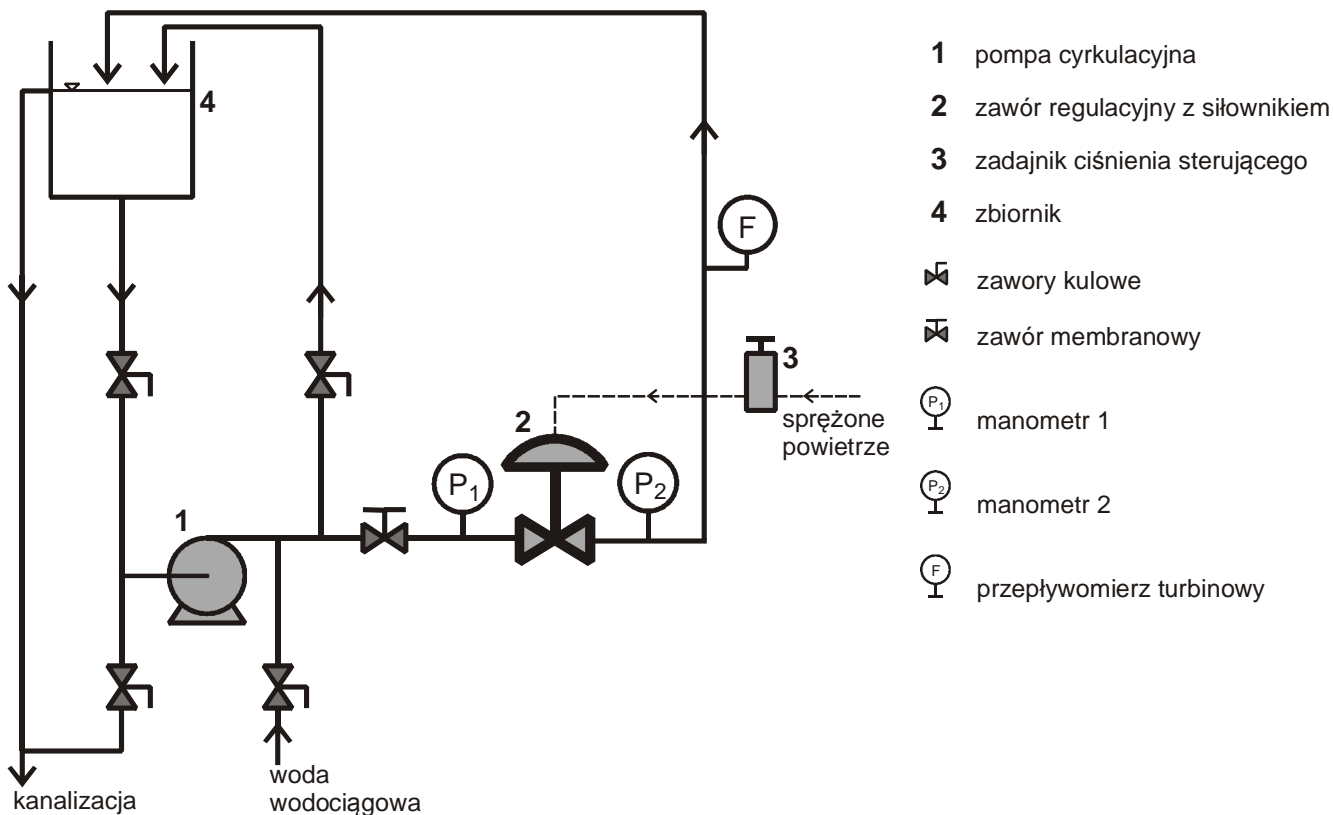
#### Kolokwium

Zakres materiału wymaganego do zaliczenia kolokwium końcowego:

1. Wykład „Regulacja i sterowanie procesów biotechnologicznych”
1. Kostro J. „Elementy, urządzenia i układy automatyki”, WSiP, 1983, str. 123-151.
2. Chorowski B. i Werszko M. „Mechaniczne urządzenia automatyki”, WNT 1990, str. 262-270, 276-281 (nie należy korzystać z wydania WNT 1974).

## Opis ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyki wewnętrznej, identyfikacja badanego zaworu regulacyjnego oraz sprawdzenie działania nastawnika pozycyjnego. Schemat instalacji badawczej jest przedstawiony na rysunku 1.



Rys.1. Schemat instalacji

Przed rozpoczęciem pomiarów prowadzący napełnia układ wodą wodociągową, uruchamia pompę cyrkulacyjną 1 i ustawia przepływ wody w obu pętlach cyrkulacyjnych instalacji. Zawory kulowe i zawór membranowy służą tylko do przygotowania instalacji do pracy i w czasie wykonywania pomiarów nie należy nimi kręcić. Badany układ wykonawczy (zawór regulacyjny z siłownikiem) jest układem „normalnie otwartym” co oznacza, że przy zaniku ciśnienia sterującego trzpieniem siłownika, zawór regulacyjny pozostaje całkowicie otwarty.

Przepływ wody przez zawór regulacyjny 2 mierzony jest przepływomierzem turbinowym F, zaś spadek ciśnienia na zaworze manometrami P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>. Pneumatyczny sygnał sterujący pracą siłownika zmieniany jest za pomocą zadajnika ciśnienia sterującego 3.

W celu sporządzenia charakterystyki wewnętrznej zaworu należy zmierzyć natężenie strumienia wody płynącej przez zawór regulacyjny, ciśnienie wody przed i za zaworem regulacyjnym oraz położenie grzybka zaworu regulacyjnego (na skali pomiędzy zaworem a siłownikiem). Pomiarów należy wykonywać podczas stopniowego otwierania, a następnie zamykania zaworu regulacyjnego w całym zakresie przepływu. W celu prawidłowego sporządzenia charakterystyki zaworu należy odczytać co najmniej 10 punktów pomiarowych podczas każdej wykonywanej serii. Ćwiczenie należy wykonać w dwóch wariantach tj. włączonym i wyłączonym nastawniku pozycyjnym siłownika. Ze względu na występowanie zjawiska histerezy charakterystyki statycznej nie wolno w czasie badań zmieniać położenia wrzeciona zaworu w kierunku przeciwnym do aktualnie badanego.

Po zakończeniu pomiarów należy pozostawić zawór regulacyjny w pozycji zamkniętej.

# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

### C4 – Badanie dynamiki kaskady mieszalników

W teorii inżynierii reaktorów chemicznych definiuje się dwa graniczne stany zmieszania płynu. W *przepływie tłokowym* elementy płynu, które weszły do aparatu w tym samym momencie poruszają się w nim z jednakową prędkością po drogach równoległych i opuszczają go po identycznym czasie. Stan *idealnego wymieszania* oznacza, że właściwości płynu (temperatura, stężenie etc.) są jednolite w całym reaktorze i identyczne z właściwościami strumienia opuszczającego reaktor. Przyjęcie powyższych założeń pozwala na znaczne uproszczenie opisu zjawisk przebiegających w reaktorach chemicznych, które nazywamy wówczas *reaktorami idealnymi*. W praktyce przyjęcie założenia o przepływie tłokowym bądź idealnym wymieszaniu stanowi zbyt duże uproszczenie i do modelowania przebiegu procesów chemicznych konieczna jest znajomość rozkładu czasu przebywania elementów płynu w układzie.

Funkcja określająca czasy przebywania poszczególnych części strumienia opuszczających reaktor (mieszalnik) nazywana jest *funkcją rozkładu czasu przebywania* i zależy od szybkości wymiany masy poprzez konwekcję oraz dyfuzję w układzie. Funkcja gęstości rozkładu czasu przebywania  $E(t)$  zdefiniowana jest w ten sposób, że wartość  $E(t)dt$  określa część strumienia wylotowego o czasie przebywania w układzie zawartym w przedziale  $(t, t+dt)$ . Dla zdefiniowanej w ten sposób funkcji  $E(t)$  zachodzi oczywista zależność

$$\int_0^{\infty} E(t)dt = 1.$$

Mieszanie w układzie można również opisywać przy użyciu rozkładu czasu przebywania  $F(t)$ . Wartość funkcji  $F(t)$  określa część strumienia opuszczającego układ o czasie przebywania w przedziale  $(0, t)$

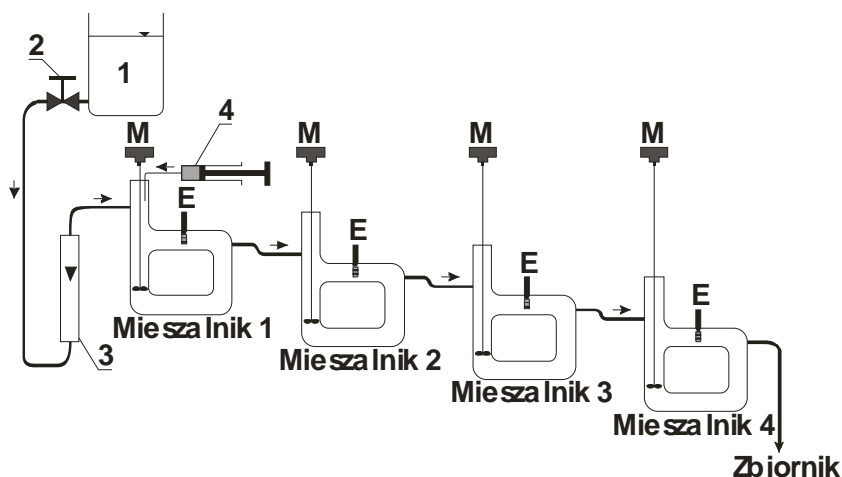
$$F(t) = \int_0^t E(t)dt$$

Do wyznaczenia funkcji  $E(t)$  i  $F(t)$  wykorzystuje się badanie odpowiedzi układu w postaci rozkładu stężenia substancji śladowej (traser) w strumieniu wylotowym na wymuszenie w postaci impulsu lub zmiany skokowej stężenia traseru na wlocie do układu.

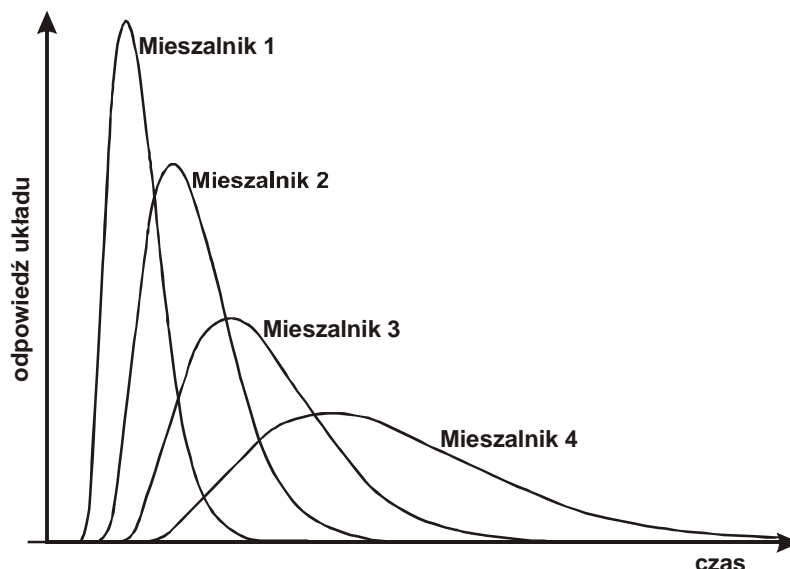
Celem ćwiczenia jest zbadanie dynamiki transportu masy w kaskadzie złożonej z czterech mieszalników oraz określenie rozkładów czasu przebywania w poszczególnych mieszalnikach.

#### Opis ćwiczenia

Na rysunku obok przedstawiono schemat stanowiska. Woda przepływa ze zbiornika 1 poprzez zawór 2, rotametr 3 i kolejno przez cztery mieszalniki do zbiornika końcowego. Mieszalniki wyposażone są w mieszadła M oraz czujniki konduktometryczne E, z których sygnały przekazywane są do komputera gdzie odbywa się rejestracja chwilowych wartości przewodnictwa mieszaniny.



Ćwiczenie polega na podaniu określonej ilości traseru na wlocie do pierwszego mieszalnika oraz obserwacji i rejestracji zmian jego stężenia w czasie w poszczególnych mieszalnikach kaskady. Rejestracja przewodnictwa (stężenia traseru) jako funkcji czasu pozwala na wyznaczenie funkcji rozkładu czasu przebywania. Traser (roztwór NaCl) podaje się przy pomocy strzykawki 4 do pierwszego mieszalnika na wysokości mieszadełka – moment wstrzyknięcia roztworu wyznacza początek pomiarów ( $t = 0$ ) i uruchomienie programu do zbierania danych. Od tego momentu zmiany przewodnictwa  $y_i(t)$  w kolejnych mieszalnikach rejestrowane są przez komputer. Należy wykonać 4 serie pomiarowe dla dwóch różnych przepływów wody (np. 15 i 20 dm<sup>3</sup>/h) i dwóch objętości wstrzykiwanego roztworu traseru (np. 5 i 10 ml). Charakter zmian przewodnictwa w poszczególnych mieszalnikach przedstawiono schematycznie na rysunku.



Po wykonaniu ćwiczenia dane doświadczalne należy skopiować na dyskietkę.

Sprawozdanie. Na podstawie zapisanych na dyskietce danych pomiarowych należy wyznaczyć dla każdego mieszalnika:

- gęstość rozkładu czasu przebywania układzie

$$E_i(t) = \frac{y_i(t)}{\int_0^{\infty} y_i(t) dt}$$

- rozkład czasu przebywania

$$F_i(t) = \int_0^t E_i(t) dt$$

- średni czas przebywania

$$\bar{t}_i = \int_0^{\infty} t E_i(t) dt$$

- wariancję średniego czasu przebywania

$$\sigma_i^2 = \int_0^{\infty} t^2 E_i(t) dt - (\bar{t}_i)^2$$

Do sprawozdania należy dołączyć dyskietkę z danymi doświadczalnymi.

Kolokwium. Zakres materiału wymaganego do zaliczenia kolokwium końcowego:

1. A. Burghardt, G. Bartelmus „Inżynieria reaktorów chemicznych”, tom I, Wydawnictwo Naukowe PWN 2001, str. 210-217, 302-111.



# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

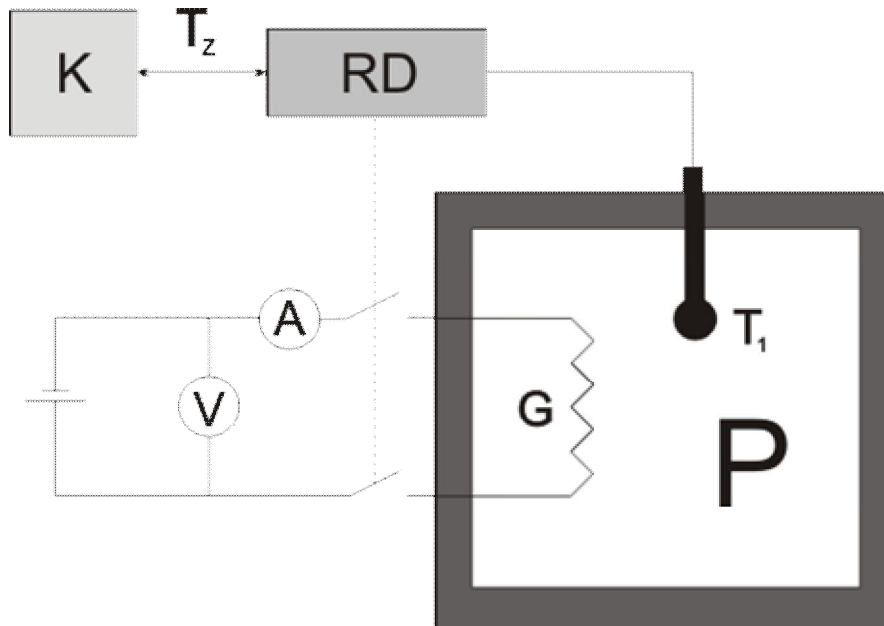
## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

### C5 - Regulacja dwustawna temperatury

Sygnał wyjściowy regulatorów stosowanych w regulacji dwupołożeniowej przyjmuje jedynie dwie wartości np. 0 i 1, co może odpowiadać stanom włączony i wyłączony urządzenia wykonawczego. Zaletą regulatorów dwustawnych jest prosta budowa oraz związana z tym wysoka niezawodność i niska cena, wadą - występowanie oscylacji wielkości regulowanej wokół wartości zadanej. Regulatory dwustawne mogą być stosowane w układach gdzie występują odpływy strumieni ciepła lub masy np. w postaci strat. Klasycznym zastosowaniem regulatorów dwustawnych jest utrzymywanie stałej temperatury obiektu zbliżonej do wartości zadanej. Regulatory te są powszechnie stosowane np. w żelazkach, lodówkach i piecach. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem regulatora dwustawnego w układzie stałowartościowej regulacji temperatury w piecu elektrycznym.

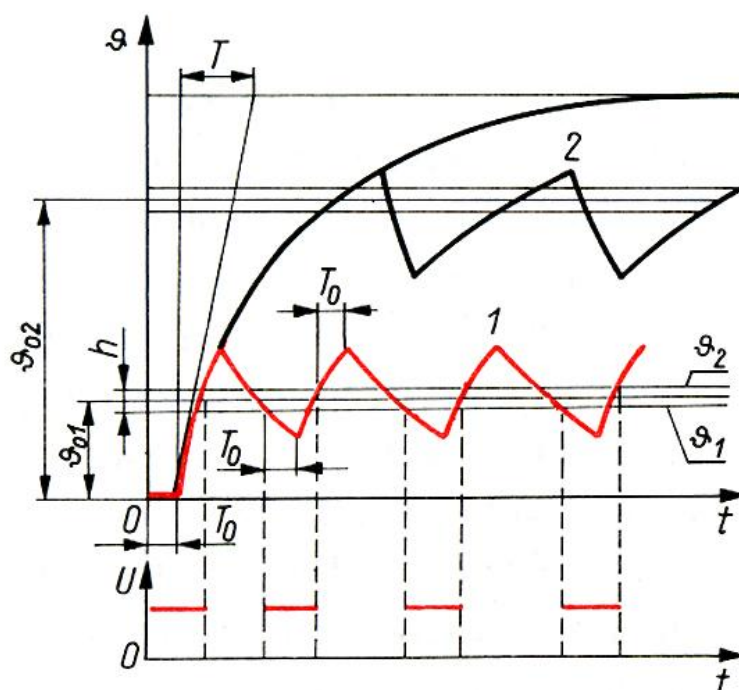
#### Opis ćwiczenia

W ćwiczeniu zastosowano regulator dwustawny RD do regulacji temperatury pieca P. Przepływ prądu przez grzałkę G jest włączony gdy temperatura pieca  $T_1$  jest niższa od temperatury zadanej  $T_z$  i wyłączony - gdy temperatura pieca  $T_1$  jest wyższa niż temperatura zadana  $T_z$ .



Początkowo temperatura pieca P mierzona termometrem  $T_1$  jest niższa od temperatury  $T_z$ , regulator RD włącza więc przepływ prądu przez grzałkę G. Piec nagrzewa się do momentu, gdy temperatura  $T_1$  osiągnie wartość zadaną  $T_z$ . Wówczas regulator wyłącza przepływ prądu przez grzałkę G, ale przez pewien czas temperatura  $T_1$  nadal rośnie (dlaczego?). Następnie piec stygnie, ponieważ poprzez ścianki oddaje ciepło do otoczenia. Gdy temperatura  $T_1$  obniży się poniżej wartości  $T_z$ , wówczas regulator RD ponownie załącza przepływ prądu przez grzałkę G. Chwilowe wartości temperatury  $T_1$  rejestrowane są przez komputer K i przedstawiane w postaci wykresu w zależności od czasu.

Typowy przebieg zmienności wielkości regulowanej w czasie podczas regulacji dwustawnej przedstawiono na poniższym rysunku.



### Przebiegi wielkości regulowanej w układzie regulacji dwustawnej

1 — przy małej wartości zadanej  $s_{01}$ , 2 — przy dużej wartości zadanej  $s_{02}$ ,  $s$  — temperatura,  $U$  — napięcie zasilania grzejnika,  $h$  — szerokość pętli histerezy regulatora,  $T_0$  — opóźnienie obiektu,  $T$  — stała czasowa obiektu

Podczas wykonywania ćwiczenia należy notować zmiany natężenia prądu elektrycznego płynącego przez grzałkę w czasie oraz obserwować zmiany temperatury w piecu.

Sprawozdanie: W sprawozdaniu należy:

- wykreślić zależność temperatury  $T_1$  i natężenia przepływu prądu elektrycznego  $A$  przez grzałkę od czasu,
- wyznaczyć średnią temperaturę całkową dla przedziału czasowego, w którym praca układu była cykliczna,
- na podstawie wykresu przebiegu wielkości regulowanej wyznaczyć czas opóźnienia układu oraz stałą czasową obiektu,
- przeprowadzić dyskusję na temat obserwowanych przebiegów regulacji oraz wpływu wielkości obiektu regulacji.

KOŁOKWIUM ZAKRES MATERIAŁU WYMAGANY DO ZALICZENIA KOŁOKWIUM KOŃCOWEGO:

1. Wykład „Regulacja i sterowanie procesów biotechnologicznych”
2. Chorowski B., Werszko M., „Mechaniczne urządzenia automatyki”, WNT 1990.
3. Kostro J., „Elementy, urządzenia i układy automatyki”, WSiP 1983.

# REGULACJA I STEROWANIE PROCESÓW BIOTECHNOLOGICZNYCH

## INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

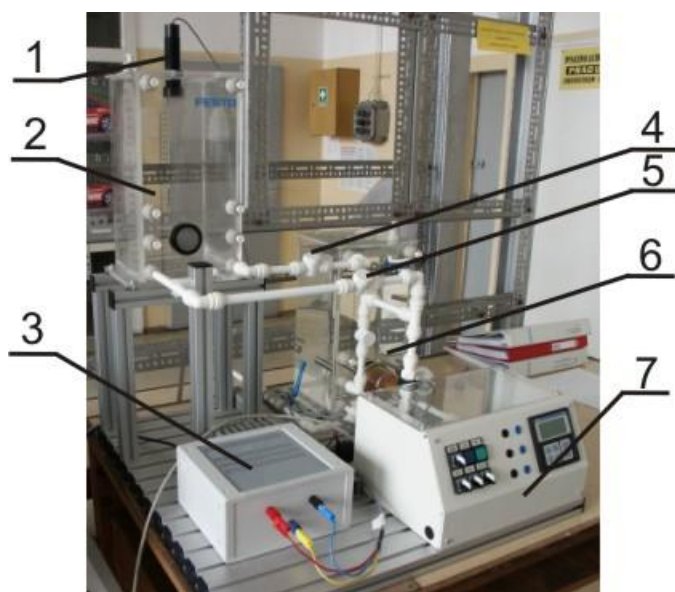
### C6 - Regulacja stałowartościowa poziomu cieczy w zbiorniku

Przedmiotem ćwiczenia jest badanie przebiegu stałowartościowej regulacji poziomu cieczy w zbiorniku z wypływem swobodnym. Pomiar poziomu cieczy przeprowadza się w celu określenia ilości cieczy w zbiorniku lub odchylenia poziomu cieczy w zbiorniku od wartości zadanej. W praktyce pomiary takie wykonuje się w celu określenia stopnia zapętnienia reaktorów chemicznych, bioreaktorów, mieszalników itp. Obecnie do pomiarów poziomu cieczy w zbiornikach wykorzystuje się najczęściej czujniki ultradźwiękowe. Pomiar poziomu cieczy przy użyciu czujników ultradźwiękowych polega na określeniu odległości powierzchni cieczy od czujnika na podstawie pomiaru czasu między wysłaniem a odebraniem odbitego od tej powierzchni impulsu akustycznego. Utrzymywanie stałego poziomu cieczy jest przykładem regulacji stałowartościowej realizowanej w prostych jednoobwodowych układach regulacji opartych na regulatorach z ciągłym sygnałem wyjściowym (typu P, PI lub PID), przy czym przebieg procesu regulacji oraz jej jakość zależą ściśle od rodzaju zastosowanego regulatora i jego nastaw. Prawo regulacji regulatora typu PID można zapisać w postaci:

$$y(t) = K_p \left[ \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \right]$$

Zastosowanie regulatora typu P nie zapewnia utrzymywania zgodności regulowanego poziomu cieczy z wartością zadaną, jeżeli na układ działają zakłócenia. Właściwości elementu całkującego (użytego jako regulator typu I) pozwalają na zlikwidowanie uchybu regulacji przy jednoczesnym znacznym wydłużeniu czasu regulacji. W praktyce stosuje się kombinacje połączeń elementów proporcjonalnego (P), całkującego (I) oraz różniczkującego (D) w celu skrócenia czasu regulacji i całkowitej likwidacji uchybu.

#### Wykonanie ćwiczenia



Na zdjęciu przedstawiono stanowisko doświadczenia do regulacji poziomu cieczy przy użyciu regulatora z ciągłym sygnałem wyjściowym typu PID. Regulator został sprzężony z komputerem umożliwiającym bezpośrednie zarządzanie procesem regulacji (zmianę wartości zadanej i nastaw regulatora) przy użyciu oprogramowania InTouch firmy Festo.

Oznaczenia:

- 1 – Czujnik ultradźwiękowy poziomu cieczy
- 2 – Zbiornik wody z wypływem swobodnym
- 3 – Zasilacz regulatora
- 4 – Zawór odcinający odpływ cieczy
- 5 – Zawór odcinający dopływ cieczy
- 6 – Zbiornik wody obiegowej
- 7 – Regulator PID

Własności dynamiczne zbiornika z wypływem swobodnym 2 można aproksymować przy użyciu koncepcji elementarnego obiektu inercyjnego I-rzędu. Sygnałem wejściowym dla takiego obiektu dynamicznego jest zmiana natężenia przepływu dopływającego strumienia wody  $\Delta Q_d$ , zaś sygnałem wyjściowym – zmiana poziomu wody w zbiorniku  $h$  mierzona przy użyciu czujnika ultradźwiękowego 1. W celu wyznaczenia stałej czasowej  $T$  należy mierzyć przyrost poziomu cieczy w zbiorniku po włączeniu pompy o wydajności  $q = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Pomiary należy prowadzić do momentu ustalenia się poziomu wody w zbiorniku. Przyjmując, że wysokość  $h$  jest zmienną przyrostową, dynamikę badanego obiektu opisuje równanie

$$T \frac{dh}{dt} + h(t) = k\Delta Q_d(t)$$

którego rozwiązanie (przy założeniu skokowej zmiany wartości  $\Delta Q_d(t) = \Delta Q_{d0}$ ) przybiera postać

$$h(t) = k\Delta Q_{d0} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right]$$

gdzie  $k$  to współczynnik wzmocnienia obiektu. Na podstawie wykonanego pomiaru należy następnie wyznaczyć wartość współczynnika wzmocnienia  $k$  oraz stałej czasowej  $T$ .

W drugiej części ćwiczenia należy zbadać przebieg regulacji poziomu cieczy w zbiorniku dla różnych typów i nastaw regulatorów. Po ustawieniu wartości zadanej poziomu cieczy (np. 130 mm) należy obserwować zmienność uchybu regulacji w czasie przy zastosowaniu regulatorów typu P, I, D, PI oraz PID zmieniając odpowiednio wartości nastaw: współczynnika wzmocnienia  $K_p$  oraz czasu zdwojenia  $T_i$  i czasu wyprzedzenia  $T_d$ .

Uwaga. Podczas ćwiczenia należy obserwować zmiany w czasie poziomu cieczy i wartości sygnału nastawczego badanych regulatorów w zależności od ich prawa regulacji i wartości nastaw.

Sprawozdanie: W sprawozdaniu należy:

- wykreślić zmierzoną odpowiedź skokową zmiany wysokości wody w zbiorniku i na jej podstawie wyznaczyć stałą czasową obiektu  $T$  oraz jego współczynnik wzmocnienia  $K_p$ ,
- wykreślić zależność uchybu regulacji  $e$  od współczynnika wzmocnienia  $K_p$  regulatora typu P,
- przeprowadzić dyskusję obserwowanych przebiegów regulacji przy użyciu różnych typów regulatorów z uwzględnieniem wpływu ich nastaw,
- wskazać które z typów badanych regulatorów są przydatne do regulacji poziomu cieczy i uzasadnić przyjęty wybór. Które z badanych regulatorów nie powinny być stosowane do stabilizacji poziomu cieczy?

### Kolokwium

Zakres materiału wymaganego do zaliczenia kolokwium końcowego:

1. Wykład „Regulacja i sterowanie procesów biotechnologicznych”