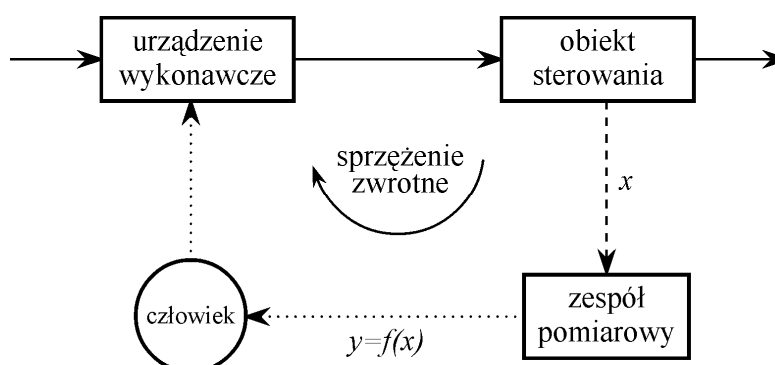


## II. STEROWANIE I REGULACJA AUTOMATYCZNA

### 1. STEROWANIE RĘCZNE W UKŁADZIE ZAMKNIĘTYM

Schemat zamkniętego układu sterowania ręcznego przedstawia rysunek 1. Centralnym elementem układu jest obiekt sterowania – urządzenie lub proces, w którym steruje się co najmniej jednym z parametrów  $x$ . Parametr ten jest mierzony i przetwarzany na standardowy sygnał pomiarowy przez zespół (układ) pomiarowy. Wartość wtórnego sygnału pomiarowego  $y$  jest wskazywana przez miernik wyjściowy zespołu. Człowiek sterujący procesem porównuje wartość sygnału  $y = f(x)$  z wartością ustaloną wcześniej jako optymalną i w przypadku występowania różnicy, odpowiednio (w odpowiednim kierunku) oddziałuje na obiekt sterowania za pośrednictwem urządzenia wykonawczego. Proces sterowania jest komplikowany przez występowanie zakłóceń wpływających na sterowany parametr. Gdyby nie było zakłóceń, można by jednorazowo ustalić optymalne ustawienie urządzenia wykonawczego i sterowanie byłoby zbędne.



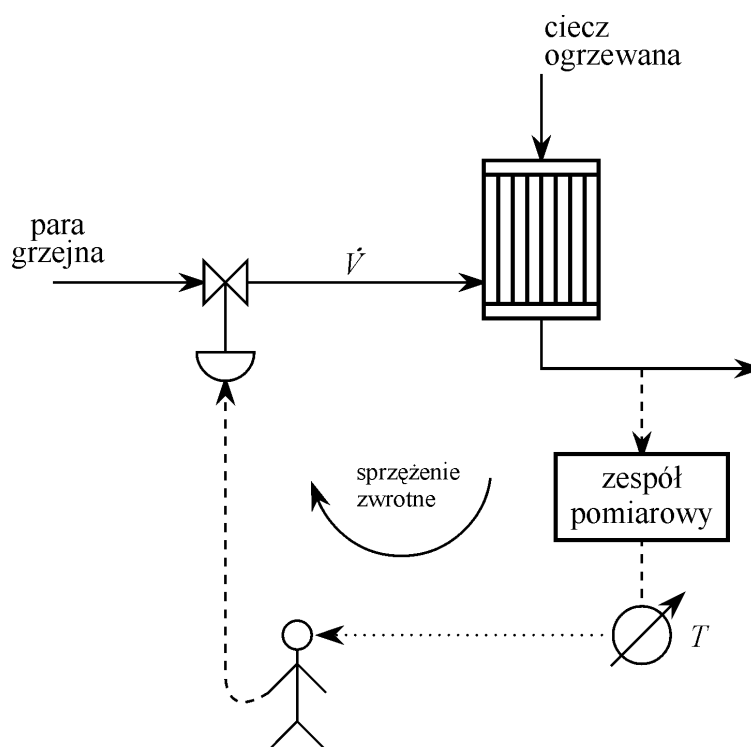
Rys. 1. Schemat zamkniętego układu sterowania ręcznego

Ponieważ w układzie sterowania ręcznego występuje zwrotne oddziaływanie na obiekt, przeciwdziałające zmianom wielkości sterowanej  $x$ , dokonywane w wyniku oceny zmian tej wielkości (sprzężenie zwrotne ujemne), układ sterowania ręcznego jest układem zamkniętym, nazywanym niekiedy (niezbyt poprawnie) układem regulacji ręcznej.

Przykład sterowania ręcznego temperaturą cieczy ogrzewanej w wymienniku ciepła przedstawia rys. 2. Operator obsługujący proces ogrzewania cieczy (lub po prostu konkretne urządzenie – wymiennik ciepła), porównuje wskazania miernika temperatury  $T$  z wartością temperatury właściwą dla procesu, zadaną mu do utrzymywania np. przez

instrukcją technologa. W przypadku gdy temperatura cieczy jest za wysoka, zmniejsza pokrętle zadajnika strumień pary  $\dot{V}$  doprowadzany do wymiennika; przy temperaturze za niskiej reaguje odwrotnie. Jeżeli temperatura jest prawidłowa, nie reaguje.

Natężenie dopływu pary grzejnej  $\dot{V}$  do wymiennika ciepła, będące funkcją ustawienia pokrętła zadajnika, jest kontrolowane w sposób praktycznie ciągły przez obsługującego proces i w ten sposób zamyka się pętla stabilizującego, ujemnego sprzężenia zwrotnego. Sterowanie procesem wymaga jednak aktywnego udziału operatora, zwłaszcza jego zaangażowania myślowego, nie jest więc automatyczne.



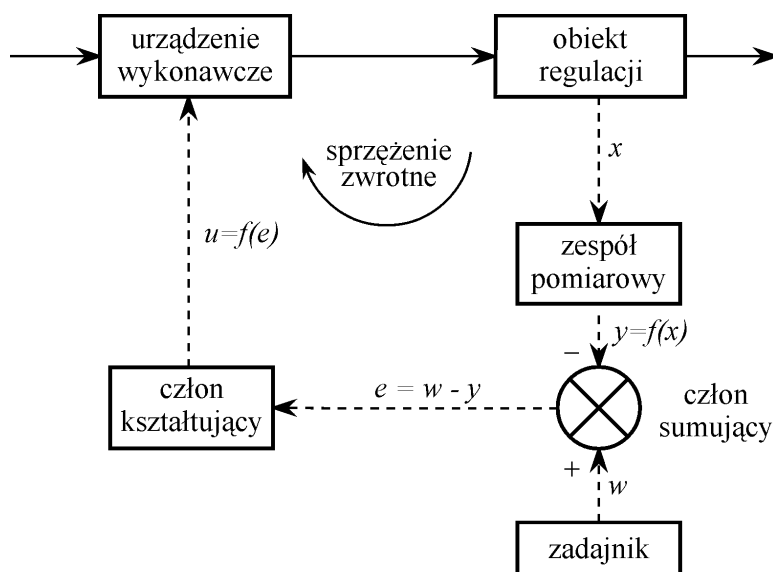
Rys. 2. Przykład zamkniętego układu sterowania ręcznego

W omówionym przykładzie ciekawe będzie prześledzenie, jak działało by tu zastąpienie ujemnego sprzężenia zwrotnego sprzężeniem dodatnim. Wystarczy odwrócić reakcję operatora, który na wzrost temperatury  $T$  reagował by zwiększeniem strumienia ciepła do wymiennika, a przy spadku wartości  $T$  poniżej zadanego poziomu zmniejszał by strumień pary. Takie sterowanie doprowadziłoby do osiągnięcia skrajnych możliwych wartości  $T$  i całe sterowanie nie miało by sensu. Jak widać dodatnie sprzężenie zwrotne działałoby na proces ogrzewania cieczy w wymienniku ciepła destabilizująco.

## 2. REGULACJA AUTOMATYCZNA

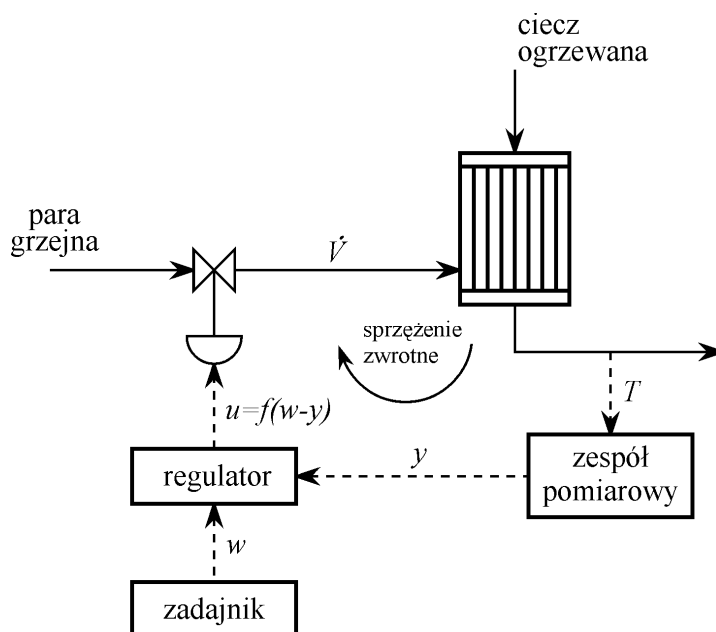
Jeżeli w wyżej opisanym, zamkniętym układzie sterowania ręcznego, czynności człowieka polegające na ocenie różnicy między wartością wielkości sterowanej  $y$ , a wartością ustaloną jako właściwą oraz na zwrotnym oddziaływaniu na obiekt sterowania w celu zmniejszenia tej różnicy zastąpimy działaniem urządzenia automatycznego, otrzymamy zamknięty układ sterowania automatycznego. Układ taki nosi nazwę układu automatycznej regulacji, a urządzenie automatyzujące nazywa się regulatorem.

Schemat zamkniętego układu regulacji przedstawia rysunek 3. Obiektem regulacji jest urządzenie lub proces, w którym reguluje się jeden z parametrów  $x$ . Parametr ten jest mierzony i przetwarzany na standardowy sygnał pomiarowy przez zespół pomiarowy. Sygnał wyjściowy zespołu, czyli sygnał **wielkości regulowanej**  $y = f(x)$ , jest doprowadzany z zespołu pomiarowego do członu sumującego regulatora, do którego wprowadza się też sygnał **wielkości zadanej**  $w$  z zadajnika. Zadajnik umożliwia dowolne, ręczne nastawianie wielkości zadanej. Człon sumujący dokonuje porównania wielkości regulowanej z wielkością zadaną i wysyła sygnał **odchylenia regulacji**  $e = w - y$  do zasadniczej części regulatora – członu kształtującego. W członie kształtującym następuje obróbka matematyczna sygnału  $e$  zgodnie z algorytmem zależnym od rodzaju regulatora i powstały sygnał **wielkości regulującej**  $u = f(e)$  jest doprowadzany do urządzenia wykonawczego, które pośrednio wpływa na wartość regulowanego parametru  $x$ . W ten sposób następuje zamknięcie pętli automatycznego ujemnego sprzężenia zwrotnego, stanowiącego zasadniczą, wyróżniającą cechę układu regulacji automatycznej.



Rys. 3. Schemat zamkniętego układu regulacji automatycznej

Przeanalizujmy przykład zamkniętego układu automatycznej regulacji temperatury cieczy ogrzewanej w rurkowym wymienniku ciepła (rys. 4). Do komory grzejnej wymiennika przez który przepływa ogrzewana ciecz, dopływa przez zawór regulacyjny z siłownikiem (urządzenie wykonawcze regulatora) strumień pary grzejnej z natężeniem  $\dot{V}$ . Temperatura  $T$  cieczy opuszczającej wymiennik ma być stała, niezależna od zmian natężenia jej przepływu, jej temperatury przed ogrzaniem i ciśnienia pary grzejnej (wielkości zakłócających). Zespół pomiarowy przetwarza wielkość temperatury cieczy  $T$  na sygnał wielkości regulowanej  $y = f(T)$ . Sygnał ten jest następnie porównywany w członie sumującym z sygnałem temperatury zadanej  $w$  z zadajnika.



Rys. 4. Przykład zamkniętego układu regulacji automatycznej

Jeżeli temperatura cieczy na wyjściu wymiennika jest niższa od zadanej ( $y < w$ ), odchylenie (uchyb) regulacji  $e = w - y$  jest dodatnie i człon kształtujący regulatora wysyła do urządzenia wykonawczego taki sygnał wielkości regulującej  $u = f(e)$ , że następuje otwieranie zaworu na dopływie pary grzejnej do wymiennika. Strumień pary grzejnej rośnie i temperatura cieczy osiąga zadaną wartość. Jeżeli temperatura  $T$  przekroczy zadany poziom ( $y > w$ ), odchylenie regulacji stanie się ujemne i regulator będzie przysmykał zawór, doprowadzając powtórnie temperaturę cieczy do wartości zadanej. W ten sposób zakłócenia spowodowane zmiennymi parametrami ogrzewanej cieczy i pary grzejnej zostaną automatycznie skompensowane i temperatura cieczy opuszczającej wymiennik ciepła będzie automatycznie, bez udziału człowieka utrzymywana na zadanym poziomie.

Każda zmiana wartości  $T$  spowoduje zwrotne oddziaływanie układu ogrzewającego w takim kierunku, żeby tej zmianie przeciwdziałać. Mamy tu więc do czynienia z występowaniem stabilizującego, ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Człon kształtujący regulatora zawsze realizuje funkcję:

$$u = f(w - y) = f(e) \quad (1)$$

Charakter tej funkcji jest zależny od rodzaju tego regulatora (dwupołożeniowy, impulsowy, analogowy, P, PI, czy PID).

Układ automatycznej regulacji naśladuje czynności, które przy ręcznym sterowaniu w układzie zamkniętym (jak na rys. 1) wykonywał operator. Działa on jednak bez udziału człowieka, a jedynym zewnętrznym elementem do którego mamy dostęp jest pokrętło lub klawiatura zadajnika.

### 3. LITERATURA

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30,  
<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>  
[marek.ludwicki@p.lodz.pl](mailto:marek.ludwicki@p.lodz.pl)

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.