

# PRZEGLĄD KONSTRUKCJI I ZASTOSOWAŃ REGULATORÓW PRZEPLYWU DZIAŁAJĄCYCH BEZ WYKORZYSTANIA ENERGII POMOCNICZEJ

KD:681.121 - Przepływ  
KD:66.073.4 - Regulatory przepływu  
IP: 4.7.0 - Regulatory. Prace ogólne

Omówiono cele i metody regulacji przepływu w instalacjach przemysłowych ze szczególnym uwzględnieniem wzajemnych sprzężeń między obiektem a regulatorem. Dokonano przeglądu konstrukcji i zastosowań regulatorów przepływu nie korzystających z energii pomocniczej. Przedstawiono również niektóre przykłady obwodów regulacji natężenia przepływu.

## 1. W s t ę p

Zadaniem regulacji przepływu jest najczęściej utrzymanie stałego przepływu na odcinkach instalacji technologicznej niezależnie od występujących zakłóceń.

Czasami zadaniem regulacji przepływu może być utrzymanie stałego stosunku przepływów dwóch strumieni, np. w procesie mieszania dwóch mediów, lub regulacja przepływu według z góry ustalonego programu. Ponieważ jednak najbardziej rozpowszechnione w praktyce są stabilizatory przepływu, dlatego tego typu regulatorom poświęcone będzie niniejsze opracowanie.

Stabilizację przepływu na odcinku instalacji można uzyskać elementem nastawczym impedancyjnym /oporowym/, jak wszelkiego typu zawory regulacyjne, lub elementem nastawczym typu źródła /elementem generacyjnym/, jak wszelkiego typu pompy o zmiennym wydatku.

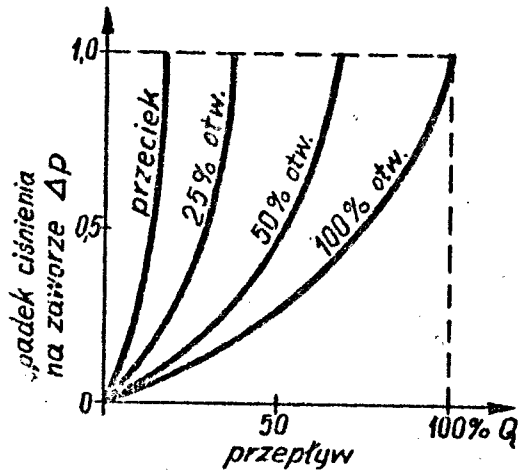
W dalszej części artykułu omówione zostaną metody regulacji przepływu oparte na wykorzystaniu elementu nastawczego impedancyjnego.

Dla nadania jasności dalszym rozważaniom przytoczymy definicje niektórych ważniejszych pojęć dotyczących regulatorów przepływu nie korzystających z energii pomocniczej, zgodnie z terminologią przyjętą przez tzw. system URS /Uniwersalny System Regulacji/.

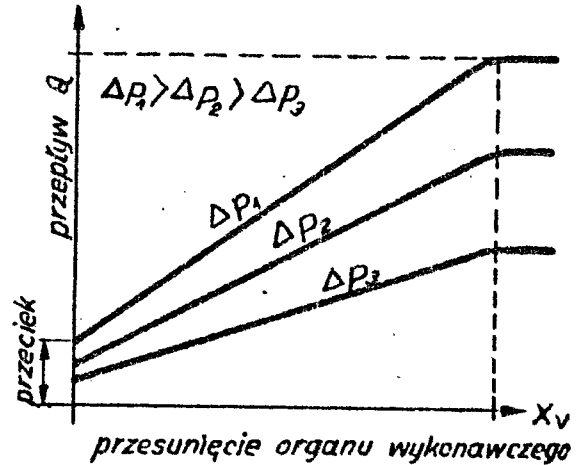
Pod pojęciem regulatora przepływu nie korzystającego z energii pomocniczej rozumie się regulator, w którym do przesunięcia

organu wykonawczego wykorzystuje się część energii strumienia czynnika regulowanego. Energia zawarta w sygnale wytwarzana przez czujnik przepływu /najczęściej sygnałem tym jest różnica ciśnień/ wykorzystana jest do wytwarzania sygnału wykonawczego w siłowniku.

Pod pojęciem charakterystyki wewnętrznej regulatora rozumie się zależność spadku ciśnienia na regulatorze  $\Delta p$  w funkcji przepływu  $Q$  przy ustalonym stopniu otwarcia zaworu. Przykład takich charakterystyk przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1.



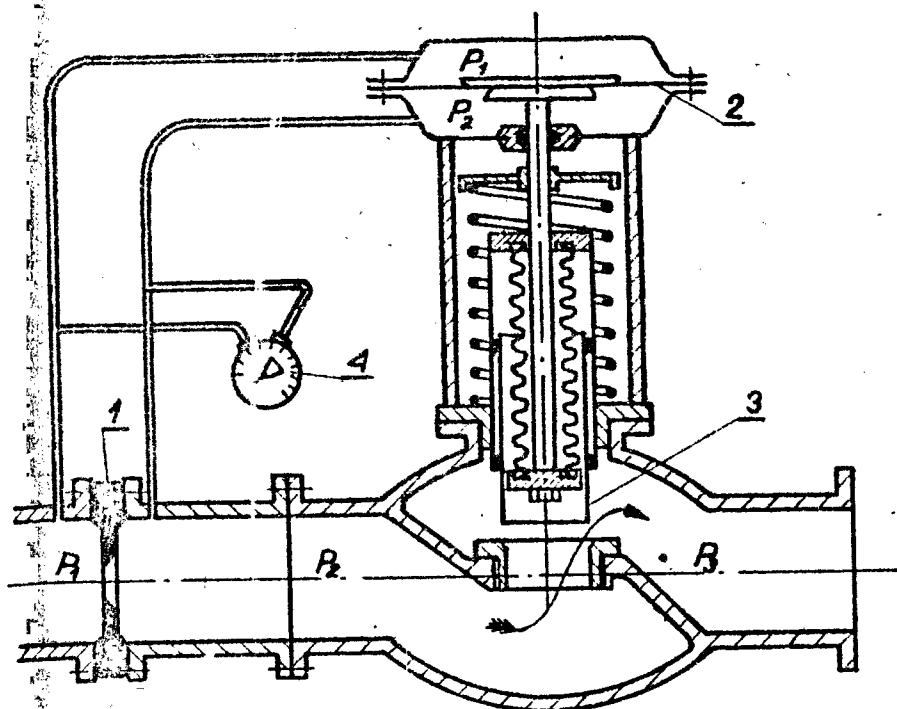
Rys. 2.

Z gałęzi tej charakterystyki odpowiadającej pełnemu otwarciu zaworu można dla spadku ciśnienia  $\Delta p = 1 \text{ kg/cm}^2$  lub  $\frac{98 \cdot \text{KN}}{\text{m}^2}$  określić współczynnik przepływu  $K_v$ .

Zakres proporcjonalności jest to wartość zmiany przepływu odpowiadająca przesunięciu organu wykonawczego o pełny skok. Zaleca się, aby wartość ta mieściła się w granicach 4 - 25% górnej granicy zakresu nastawiania.

Charakterystyka statyczna regulatora: "przepływ - przesunięcie organu wykonawczego" określa zależność między wartością ustaloną przepływu a wartością ustaloną przesunięcia organu wykonawczego przy stałym spadku ciśnienia na zaworze. Przykład takiej charakterystyki zawiera rys. 2/.

Nieczułość jest to różnica wielkości przepływu niezbędna do wywołania zmiany kierunku ruchu organu wykonawczego.



Rys. 3.

Na rys. 3 przedstawiono schematycznie typowy regulator stałego przepływu. Jak każdy tego typu regulator składa się z trzech głównych zespołów:

1. czujnika natężenia przepływu /zwężki/
2. zespołu porównująco-napędowego /siłownika i sprężyny/
3. zespołu nastawczego /zaworu/.

W pewnych przypadkach regulator wyposażony jest w kontrolny wskaźnik przepływu /4/. Cechą charakterystyczną wszystkich regulatorów nie korzystających z energii pomocniczej jest to, że jeden element konstrukcyjny pełni zadanie dwu lub więcej elementów funkcjonalnych wyróżnianych w typowym regulatorze pneumatycznym czy elektronicznym.

Tak więc zespół /2/ regulatora przedstawionego na rys.3 spełnia zarówno funkcję elementu porównującego z wartością zadaną, jak i elementu napędowego dla organu wykonawczego zaworu.

Taki podział, mimo że wydać się może sztuczny, ma istotne znaczenie dla przeprowadzanej analizy pracy regulatora i określaniu jego transmitancji.

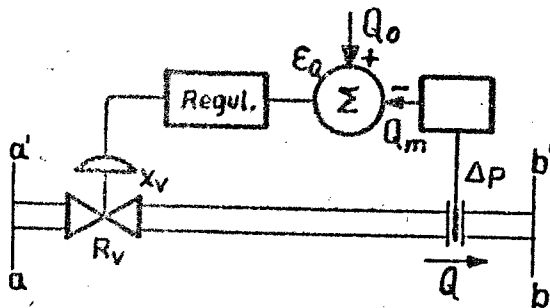
Regulacja przepływu w świetle teorii automatycznej regulacji  
Sprzeżenie "obiekt regulacji - regulator"

Dla poprawnej stabilizacji przepływu w określonym punkcie instalacji niezbędne jest określenie sił hydraulicznych zakłócających proces przepływu, a następnie działanie w kierunku przeciwnym do zakłócenia.

Zjawiskami zakłócającymi przepływ mogą być:

- a/ zmiany ciśnienia na końcach odcinka rurociągu, w którym należy uzyskać stały przepływ;
- b/ zmiany poziomu w otwartych zbiornikach połączonych przez rurociąg;
- c/ zmiany parametrów źródeł zasilania - pomp, np. wyłączenie jednej pompy z układu zasilania, zmiana prędkości obrotowej pompy lub zmiana wydatku jednostkowego.

Przeciwdziałanie tym zakłóceniom wymaga zastosowania odpowiedniego typu regulatora przepływu w zależności od rodzaju źródła powodującego przepływ w instalacji.



Rys. 4.

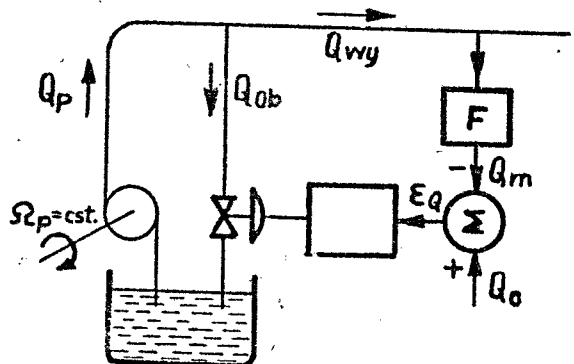
W instalacjach zawierających źródła o charakterze "stałego ciśnienia" skuteczne są regulatory impedancyjne oporowe /rys. 4/.

Natomiast dla instalacji zawierających źródło o charakterze: "stały przepływ" skuteczne są regulatory impedancyjno-upustowe /rys. 5/.

Regulacja przepływu w układzie przedstawionym na rys. 4 polega na wystawieniu na zaworze

takiego spadku ciśnienia, który zlikwiduje zmiany ciśnienia w przekroju a - a przed zaworem lub b - b z zaworem.

W tym układzie wszystkie wspomniane wyżej zakłócenia odczuwane są przez regulator jako zmiany ciśnienia przed zaworem i za zaworem.



Rys. 5.

Pierwszą "czynnością" wykonywaną przez regulator jest pomiar aktualnego natężenia przepływu  $Q$  w instalacji i wytworzenie odpowiedniego sygnału /najczęściej w postaci  $\Delta p$ / niosącego informację o przepływie, a w przypadku omawianych regulatorów przenoszącego również energię niezbędną do napędu organu wykonawczego /zaworu/. Z tego względu musi to być sygnał odpowiednio silny.

Drugą "czynnością" regulatora jest porównanie sygnału od przepływu z sygnałem reprezentującym wartość zadaną  $Q_0$ . Najczęściej operacja porównywania jest oparta o zasadę równowagi sił. Uzyskany z porównania  $Q$  i  $Q_0$  uchyb regulacji  $E_Q$  decyduje o ustawieniu trzpienia zaworu w pozycji zapewniającej stałą wartość przepływu  $Q$ . W "czynności" porównywania  $Q$  z  $Q_0$  korzystne byłoby operowanie jak najmniejszymi siłami pozwalającymi uzyskać dużą dokładność, zmniejszenie straty nieczułości itd. Jest to jednak sprzeczne z warunkiem dostarczenia maximum energii do siłownika.

Zajmijmy się teraz bliżej podstawowym elementem regulatora przepływu, tzn. elementem mierzącym przepływ. Dla wykorzystania w regulatorze przepływu interesujące będą tylko metody energetyczne wykorzystujące przemiany energii zachodzące w strumieniu /zamiana energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie/. Tylko tą drogą można uzyskać odpowiednią ilość energii zdolną do przestawienia organu wykonawczego. Sygnał taki uzyskuje się w regulatorach przepływu najczęściej ze zwężki, z rurki spiętrzającej lub zaworka regulacyjnego. Niektóre z tych elementów zostaną omówione w przykładach.

Należy podkreślić, że elementy te charakteryzują się stałym wyróżnikiem otwarcia /przekrój przepływu niezmienny w trakcie pomiaru/, co daje możliwość realizacji nastawy regulatora przez zmianę wyróżnika otwarcia czujnika.

Warto zwrócić uwagę na jeszcze jedno zagadnienie. Jak już wspomniano sygnał z miernika przepływu musi mieć dostatecznie dużą energię, która byłaby zdolna do przemieszczenia organu wykonawczego. Inaczej mówiąc różnica ciśnień z miernika przepływu powinna być możliwie duża. Z drugiej jednak strony spadek ciśnienia uzyskuje się kosztem gwałtownego wzrostu oporów przepływu głównego strumienia czynnika. Z tego względu do stosowania w regulatorach przepływu najkorzystniejsze są tzw. mierniki deprimageniczne powodujące miejscowy maksymalny spadek ciśnienia  $\Delta p$  większy od wywołanego przez niego trwałego spadku ciśnienia. Przykładem takiego miernika jest właśnie zwężka miernicza.

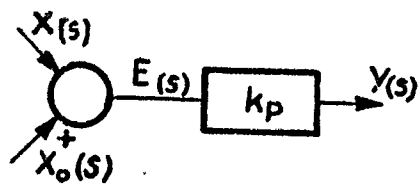
Niekiedy aby uniknąć wprowadzania dodatkowych oporów do obwodu wykorzystuje się spadki ciśnień na odcinkach rurociągu jako sygnał od przepływu. Jest to jednak pewny sposób pomiaru przepływu.

Obok czujnika przepływu równie ważnym zespołem regulatora jest zespół nastawczy. Jak wynika z wyżej przytoczonych przykładów do napędu trzpienia zaworu dysponuje się ograniczonym zapasem energii. Stwarza to absolutną konieczność stosowania zaworów z całkowicie odciążonym elementem nastawczym zarówno w stanach pracy

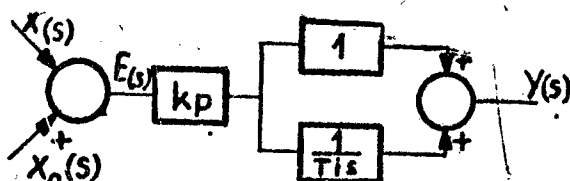
ustalanej, jak i przy przebiegach przejściowych. Ze względu na realizowane przez regulator prawo regulacji istnieją dwa rodzaje regulatorów stałego przepływu, tzn. regulatory proporcjonalne opisane prawem regulacji  $y/s/ = K_p \cdot E/s/$

gdzie:

- $y$  = wyjście z regulatora
- $K_p$  = współczynnik wzmacnienia
- $E$  = sygnał uchybu  $E = X_u - X$



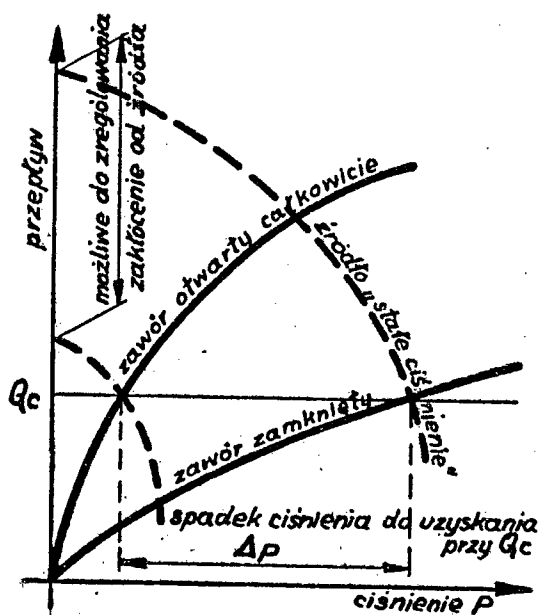
Rys. 6.



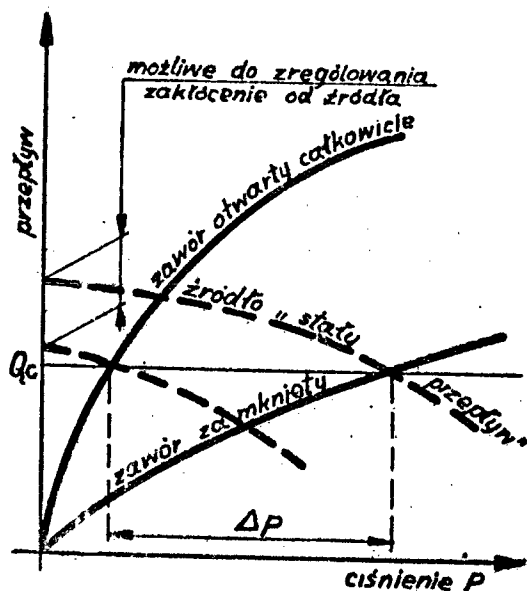
Rys. 7.

oraz regulatory proporcjonalno-całkujące, opisane prawem regulacji:

$$Y/s/ = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right] E/s/$$



Rys. 8.



Rys. 9.

Rys. 8 i 9 obrazują współpracę regulatora stałego przepływu z instalacją zawierającą "źródło stałego ciśnienia" oraz "źródło stałego przepływu". Linie przerywane na tych rysunkach przedstawiają charakterystykę źródeł.

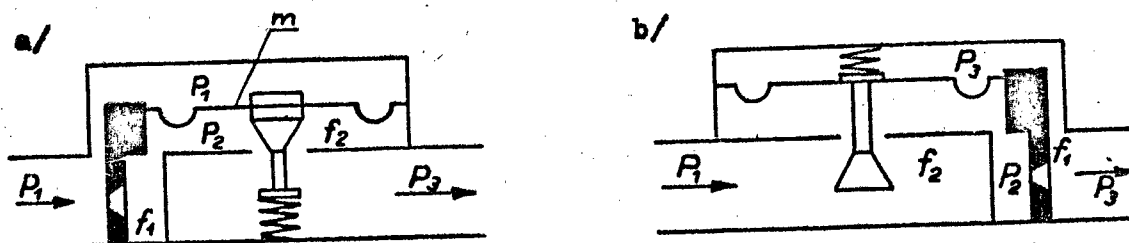
Jak widać regulator z elementem oporowym może skutecznie regulować zakłócenia pochodzące od "źródła stałego ciśnienia", natomiast w niewielkim zakresie może kompensować zakłócenia pochodzące od "źródła stałego wydatku" /rys. 9/.

### 3. Przegląd konstrukcji regulatorów przepływu nie korzystających z energii pomocniczej

Regulatory przepływu nie korzystając z energii pomocniczej stanowią liczną grupę konstrukcji o bardzo różnorodnych zastosowaniach. Typowe konstrukcje tych regulatorów omówimy poniżej.

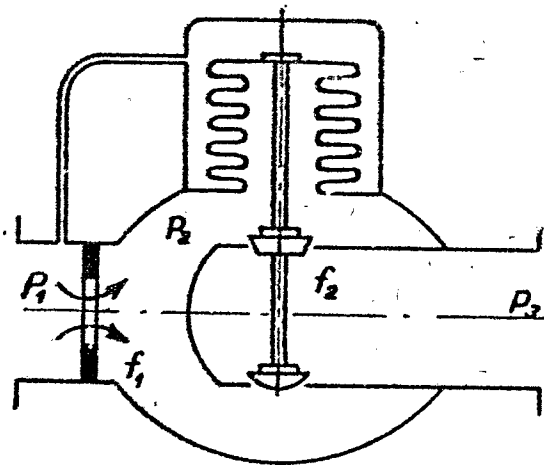
#### 3.1. Regulatory proporcjonalne

Do grupy proporcjonalnych regulatorów przepływu należy regulator firmy Endress + Hauser GmbH + Co przeznaczony do współpracy z instalacją zasilaną "źródłem stałego ciśnienia" /rys. 10/.



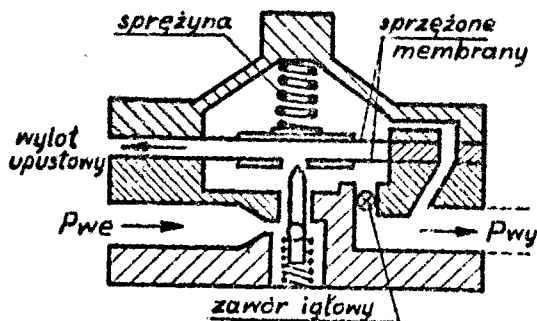
Rys. 10.

Różnica ciśnień wytworzona na zwężce  $f_1$  będąca funkcją przepływu  $Q$  oddziałuje na mieszek sprężysty powodując jego uginanie się. Równowaga następuje w momencie, kiedy siła wywołana różnicą ciśnień pod i nad mieszkiem zostanie zrównoważona sprężystym działaniem mieszka. Jest to typowy przykład wspomnianego pokrywania się funkcji zespołu porównującego i siłownika w jednym elemencie konstrukcyjnym. Grzybek zaworu ustawia się w takim położeniu, aby na zwężce utrzymać stały spadek ciśnienia.



Rys. 11.

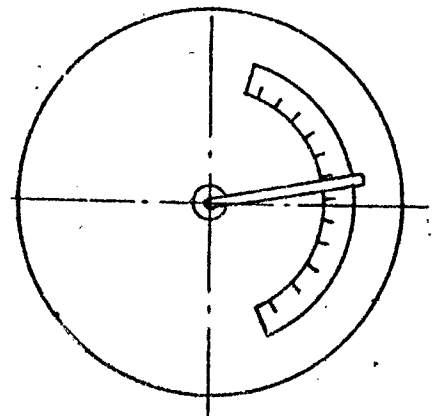
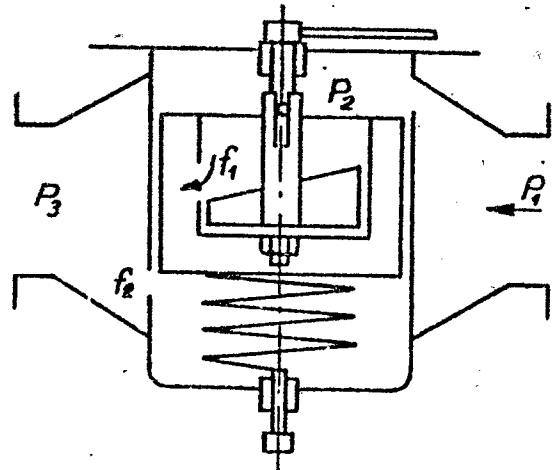
przedstawia rys. 12. W regulatorze tym nastawę realizuje się na zaworze igłowym, następnie regulator stara się utrzymać na tym zaworze stały spadek ciśnienia /około 0,1 kg/cm<sup>2</sup>/, stabilizując w ten sposób natężenie przepływu. Jeśli ciśnienie  $p_1$  wzrośnie lub ciśnienie  $p_3$  zmaleje, sprzężone membrany przesuną się w górę, a natężenie przepływu chwilowo wzrośnie. Podniesienie się membran wywoła przyknięcie zaworu kulkowego na drodze dopływu oraz równoczesne zwiększenie wypływu upustowego, co powoduje powrót przepływu głównego do wartości ustalonej poprzednio.



Rys. 13.

Załóżmy, że przy stałym ciśnieniu na wylocie z regulatora / $p_3$ / nastąpił wzrost ciśnienia na wlocie / $p_1$ /, wówczas na chwilę wzrasta natężenie przepływu, następuje przesunięcie grzybka zaworu w dół i przywrócenie przepływu głównego do poprzedniej wartości. Podobnie działają regulatory przedstawione na rys. 11 i 12.

Dla współpracy z instalacją zasilaną "źródłem stałego przepływu" stosuje się regulatory z upustem. Przykład takiego regulatora

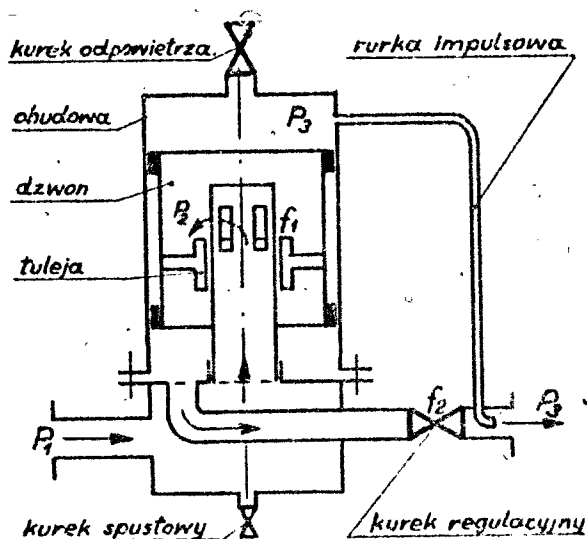


Rys. 12.

### 3.3. Regulatory proporcjonalno-całkujące /izodromowe/

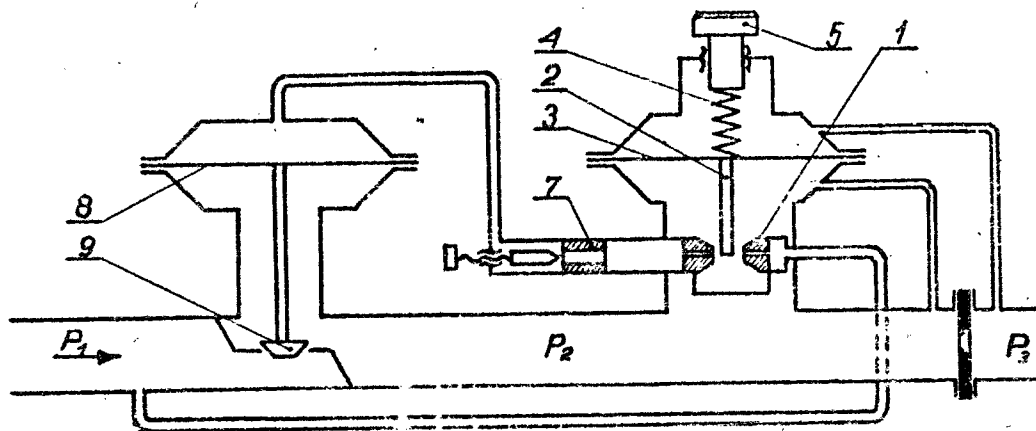
Do grupy regulatorów proporcjonalno-całkujących należy regulator inż. Zdzisława Nowickiego stanowiący przedmiot patentu nr 46475 z dnia 23 stycznia 1963 r. /rys. 14/.

Działanie regulatora polega na dławieniu przepływu przy pomocy tulei połączonej z unoszącym się dzwonem. Tuleja unosząca się przesłania podłużny otwór w rurze prowadzącej. Dzwon unoszony jest przez różnicę ciśnień pod /i/ nad dzwonem /  $\Delta p = p_2 - p_3$  /. Jest to jednocześnie różnica ciśnień przed i za kurkiem regulacyjnym zaniebując efekty wywołane przez dodatkowy przepływ otworkiem odpowietrzającym i nie szczelnościami. Dzwon zatrzyma się w położeniu, w którym następuje równowaga siły wywołanej różnicą ciśnienia i ciężaru dzwonu. Ponieważ ciężar i powierzchnia czołowa dzwonu jest stała, dla danego regulatora istnieje tylko jedna stała wartość różnicy ciśnień  $p_2 - p_3$ , dla której następuje równowaga dzwonu. Jest to równoznaczne z utrzymaniem stałej różnicy ciśnień stabilizującej przepływ.



Rys. 14.

Tego samego typu regulator o działaniu proporcjonalno-całkującym przedstawiono na rys. 15. Jest to opracowanie w ramach uniwersalnego systemu regulacji /URS/.

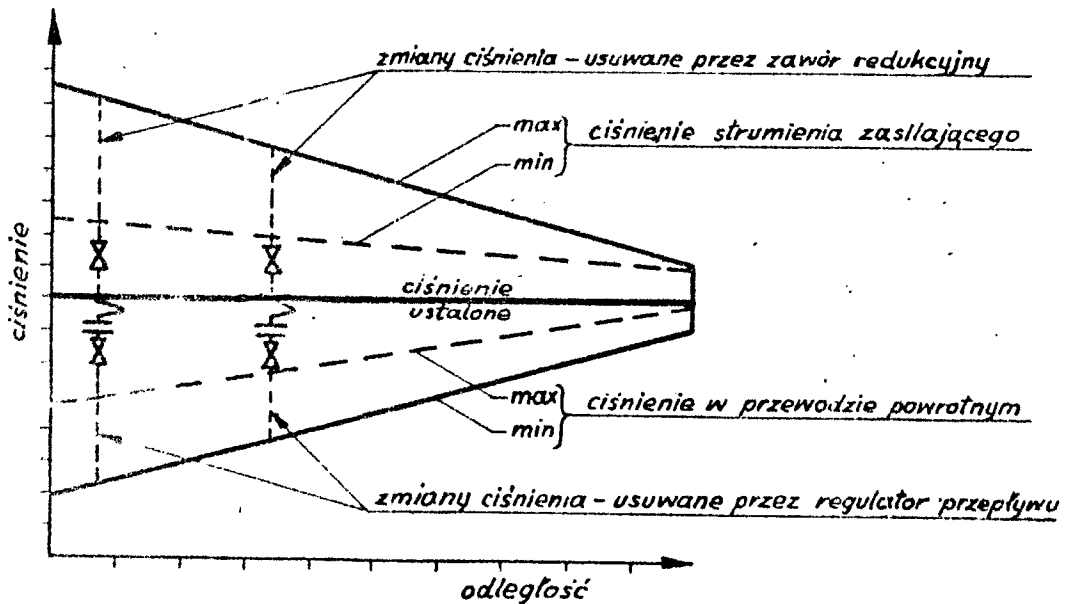


Rys. 15.

#### 4. Zastosowanie regulatorów przepływu nie korzystających z energii pomocniczej

Regulatory przepływu nie korzystając z energii pomocniczej dzięki prostocie, dużej niezawodności działania oraz braku dodatkowych instalacji zasilających znalazły szerokie zastosowanie w ciepłownictwie, przemyśle chemicznym, przemyśle spożywczym i innych dziedzinach gospodarki. Są one np. niezbędnym elementem sieci centralnego ogrzewania zasilanych z dużych elektrociepłowni.

Konieczność stosowania regulatorów przepływu w sieci centralnego ogrzewania uzasadnia rys. 16. Stałe zmiany ciśnienia w punktach od-

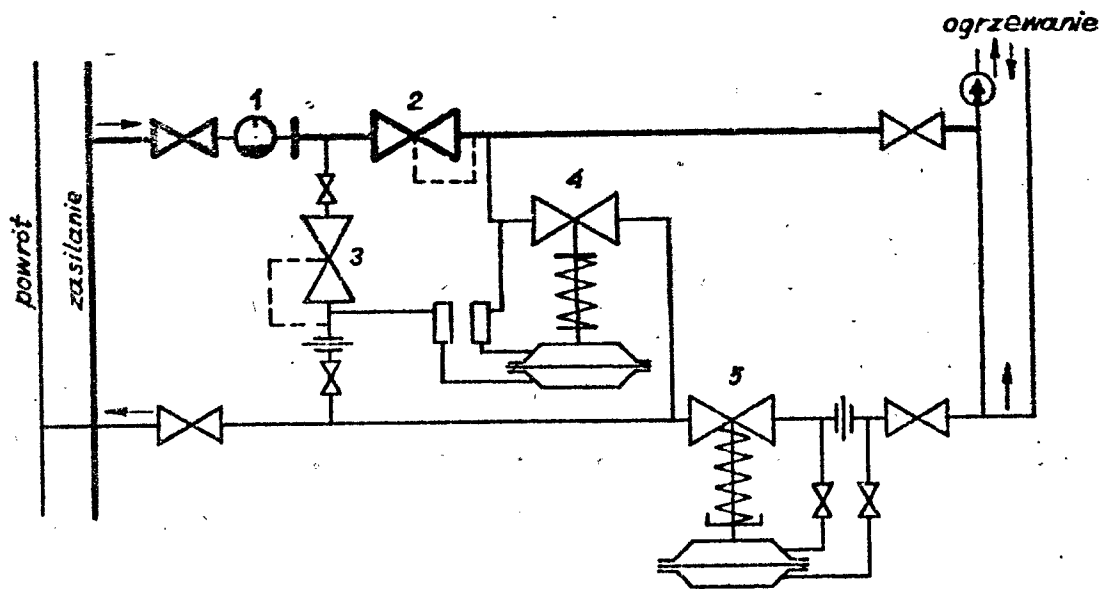


Rys. 16.

bioru powodowane są włączaniem lub wyłączaniem się odbiorców, podłączaniem nowych punktów odbioru, możliwą rozbudową sieci; wywołują one również zmiany ciśnienia tłoczenia pomp.

Zmiany ciśnienia na przewodzie zasilającym i powrotnym dają w efekcie zmiany, tzw. dyspozycyjnej różnicy ciśnień. Regulator przepływu /5/ zamontowany na węźle, jak na rys. 17 przeciwdziała w takim przypadku zmianom przepływu w przewodzie powrotnym, natomiast reductor /2/ przeciwdziała zmianom w przewodzie zasilającym.

Zastosowanie regulacji węzłów ciepłowniczych pozwala uniknąć tzw. kryzowania, które powinno odbywać się w każdym sezonie i jest bardzo kłopotliwe w realizacji. Oczywiście kryzowanie może być skuteczne tylko dla zakłóceń trwałych, o znacznym nasileniu i nie zabezpiecza zupełnie przed zakłóceniami zmiennymi. Jest to jedna z podstawowych przyczyn niedogrzewania jednych obiektów przy jednoczesnym przegrzewaniu innych.

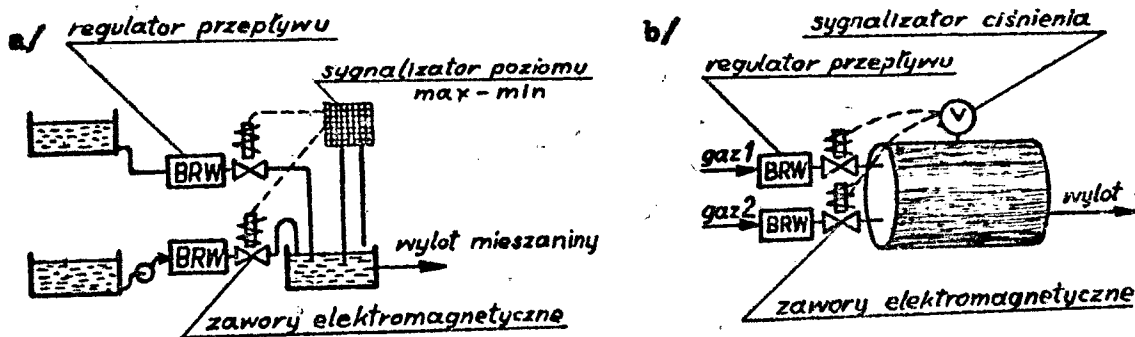


Rys. 17.

Regulator stałego przepływu może również znaleźć zastosowanie w urządzeniach grzewczych narażonych na zmienne w szerokich granicach pobory czynnika, w których istotnym elementem jest zatrzymywanie stałych parametrów użytkowych czynnika, takich jak temperatura czy ciśnienie.

Utrzymanie tych parametrów na określonym poziomie odbywa się w tym przypadku kosztem ograniczenia poboru czynnika.

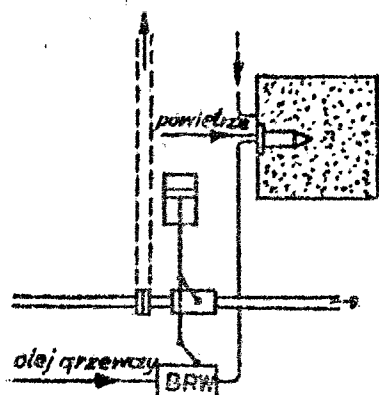
W chemii regulatory przepływu znajdują zastosowanie w układach służących do uzyskiwania mieszaniny o określonym składzie dwóch lub więcej czynników /rys. 18/.



Rys. 18.

Układ przedstawiony na rys. 18a służy do uzyskiwania mieszaniny cieczy i zaopatrzony jest w dwupołożeniowy regulator poziomu sterujący zaworami elektromagnetycznymi.

Natomiast układ na rys. 18b spełnia analogiczne zadanie w odniesieniu do gazów. W tym przypadku zawory elektromagnetyczne sterowane są przez sygnalizator ciśnienia.



Rys. 19.

Obok wymienionych tu typowych zastosowań, regulatory przepływu w wykonaniach specjalnych znajdują zastosowanie jako urządzenia awaryjne w dużych piecach grzewczych oraz urządzenia zabezpieczające, np. wyłączające dopływ paliwa do wytwornicy pary w przypadku braku zasilania tej wytwornicy parą.

Niniejszy artykuł stanowi tylko ogólne omówienie zagadnienia regulacji i regulatorów przepływu. W miarę jednak postępu prac nad tym zagadnieniem poszczególne problemy zostaną omówione bardziej szczegółowo.