

mjr inż. BARBARA OMYLIŃSKA

dr inż. ANDRZEJ SERWACH

Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP
Warszawa

REGULATORY BEZPOŚREDNIEGO DZIAŁANIA CIŚNIENIA PRZEPŁYWU I TEMPERATURY TYPU BRU I BTO DLA AUTOMATYZACJI WĘZŁÓW CIEPLNYCH

W artykule omówiono regulatory bezpośredniego działania ciśnienia, przepływu i temperatury typu BRU i BTO opracowane w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów, produkowane przez Zakłady Automatyki MERA-POLNA w Przemysłu. Podano podstawowe charakterystyki wszystkich typów szeregów regulatorów. Omówiono zastosowanie tych regulatorów w ciepłownictwie do stabilizacji warunków hydraulicznych pracy węzłów centralnego ogrzewania i regulacji temperatury ciepłej wody użytkowej. Przedstawiono również uproszczoną metodę doboru regulatorów do obiektów regulacji.

1. Wstęp

Regulatory bezpośredniego działania są to urządzenia wykorzystujące do regulacji energię czynnika regulowanego. W regulatorach tego typu, czujnik, zadajnik, nastawnik i element wykonawczy, a więc elementy tworzące pętlę sprzężenia zwrotnego stanowią zwartą całość przystosowaną do łatwego zamontowania w regulowanym układzie. Regulatory bezpośredniego działania ze względu na swą prostą budowę, pewny sposób działania oraz możliwość długoletniej eksploatacji bez potrzeby konserwacji są szeroko stosowane na świecie. Regulatory te przede wszystkim znajdują zastosowanie w układach stabilizacji lub inaczej mówiąc w układach regulacji stałowartościowej takich parametrów jak natężenie przepływu, ciśnienie i temperatura.

W artykule omówione są główne właściwości i typowe zastosowania regulatorów przepływu i ciśnienia typu BRU oraz temperatury typu BTO. Regulatory te zostały opracowane w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów i są produkowane przez Zakłady Automatyki MERA-POLNA w Przemysłu. Głównym ich przeznaczeniem jest automatyzacja węzłów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej zasilanych z ciepłowni lokalnych (osiedlowych) lub elektrociepłowni centralnych.

Instalację ciepłowniczą dzieli się na część zewnętrzną, przez którą dostarczany jest do budynku czynnik grzewczy o parametrach uzyskiwanych w ciepłowni oraz część wewnętrzną, w której cyrkuluje czynnik grzewczy o parametrach dostosowanych do potrzeb odbiorczych. Dostosowanie to dokonywane jest w części instalacji wewnętrznej zwanej węzłem cieplnym. Podstawowe parametry czynnika grzewczego w instalacji zewnętrznej mogą zmieniać się w granicach:

- ciśnienie zasilania 8...16 bar,
- ciśnienie powrotu 2... 6 bar,
- temperatura zasilania 70...150 deg,
- temperatura powrotu 30...50 deg.

Ze względu na właściwości użytkowe instalacji wewnętrznej wymagane jest aby spadek ciśnienia czynnika grzewczego na instalacji nie przekraczał 4 bar, a ciśnienie powrotu nie było w żadnym przypadku niższe, niż ciśnienie hydrostatyczne wynikające z wysokości budynku. Temperatura czynnika grzewczego w instalacji wewnętrznej centralnego ogrzewania powinna być dostosowana do aktualnej temperatury na zewnątrz budynku i do pojemności cieplnej pomieszczeń tak, aby zapewnić w nich temperaturę powietrza 18 ± 1 deg. Temperatura ciepłej wody użytkowej powinna być utrzymana w granicach 50 ± 5 deg. Zapewnienie w/w parametrów jest konieczne ze względu na bezpieczeństwo użytkowania instalacji wewnętrznych, nie dopuszczanie do zapowietrzenia instalacji centralnego ogrzewania i zmniejszenie korozji instalacji ciepłej wody wywołanej złą jakością wody wodociągowej i przegrzewaniem instalacji.

Spełnienie w/w wymagań jest możliwe jedynie przez zastosowanie automatycznej regulacji węzłów cieplnych, która pozwala uniknąć tzw. kryzo-

wania, które musi być przeprowadzane na nowo w każdym sezonie, w przypadku sieci rozwijających się, i kłopotliwego w realizacji. Kryzowanie jest skuteczne tylko dla zakłóceń trwałych i zupełnie nie zabezpiecza przed zakłóceniami zmiennymi. Jest to jedna z podstawowych przyczyn niedogrzewania jednych obiektów przy jednoczesnym przegrzewaniu drugich. Najprostszą i najbardziej ekonomiczną regulacją dla węzłów cieplnych jest regulacja za pomocą regulatorów proporcjonalnych bezpośredniego działania przepływu, ciśnienia i temperatury, w kombinacjach właściwych dla każdego typu węzła.

Wcześniejsze informacje o konstrukcji i zastosowaniach regulatorów BRU i BTO podano w artykułach [1...4]. W referatach [5 i 6] omówiono ogólne problemy automatyzacji węzłów cieplnych m.in. za pomocą regulatorów bezpośredniego działania.

2. Podstawowe właściwości regulatorów BRU i BTO

Omawiane w artykule typoszeregi regulatorów bezpośredniego działania przepływu, ciśnienia i temperatury typu BRU i BTO charakteryzują się wysokim stopniem unifikacji. We wszystkich konstrukcjach zastosowano zawory dwugniazdowe serii 10 000 o charakterystykach szybkootwierających, liniowych produkowane przez ZA MERA-POLNA. Zastosowanie zaworów jednego typu jest korzystne z punktu widzenia zarówno użytkownika jak i producenta. Dzięki stosunkowo niewielkim zmianom w poszczególnych typach regulatorów uzyskano dużą uniwersalność w zastosowaniach.

Charakterystyka przepływowa zaworu regulatora odpowiadająca danemu otwarciu zaworu jest opisana równaniem

$$Q = K_V(h) \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad /1/$$

gdzie:

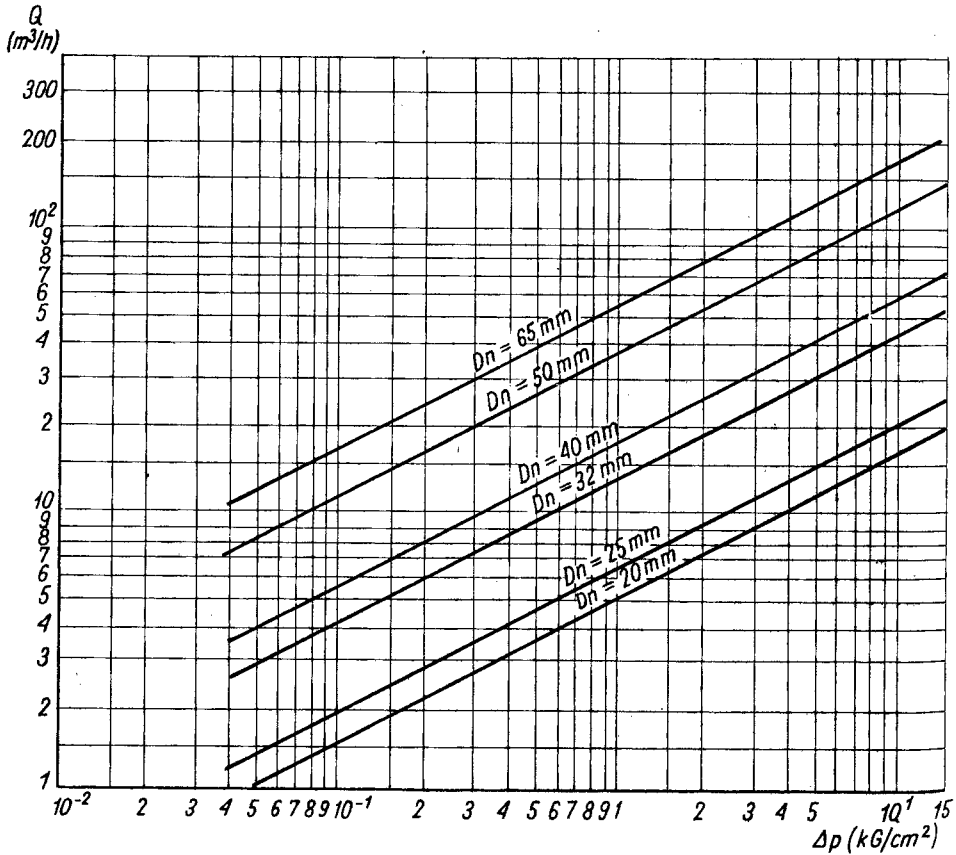
Q natężenie przepływu przez zawór [m^3/h],

$K_V(h)$ - bieżący współczynnik przepływu zaworu [m^3/h], odpowiadający danemu otwarciu lub inaczej mówiąc, przepływ wody przez zawór przy spadku ciśnienia na zaworze $\Delta p = 1 \text{ kg/cm}^2$ i otwarciu zaworu h .

Δp - spadek ciśnienia na zaworze regulatora [kg/cm^2],

φ - gęstość cieczy [kg/dm^3]

Równanie /1/ zapisano w postaci umownej. Ściśle rzecz biorąc pod pierwiastkiem powinien być podany iloczyn stosunku gęstości wody w warunkach normalnych 1 kg/dm^3 do bieżącej gęstości cieczy przez stosunek bieżącego spadku ciśnienia na zaworze do spadku ciśnienia 1 kg/cm^2 , gdyż w takich warunkach dokonywane są pomiary $K_v(h)$. W rezultacie wyrażenie pod pierwiastkiem w równaniu /1/ należy traktować jako bezwymiarowe. Charakterystyki przepływowe wg równania /1/ dla wszystkich typów wymiarów zaworów stosowanych w regulatorach BRU i BTO przy $h/h_{\text{max}} = 1$ podano na rys. 1.



Rys.1. Nominalne charakterystyki przepływowe zaworów stosowanych w regulatorach BRU i BTO

Średnica nominalna zaworu regulatora *	mm	20	25	32	40	50	65
Nominalny współczynnik przepływu zaworu regulatora K_v 100	$\frac{m^3}{h}$	5	6,5	12	18	37	54
Maksymalne ciśnienie na wlocie do zaworu regulatora	kg/cm^2				16		
Dopuszczalny spadek ciśnienia na zaworze regulatora Δp	kg/cm^2				12		
Maksymalna temperatura czynnika regulowanego	$^{\circ}C$				150		
Zakres temperatur otoczenia	$^{\circ}C$				5..50		
Zakres wilgotności względnej otoczenia	%				30..80		

* W regulatorach BTO i BTO-A zastosowano tylko trzy pierwsze typowymiary zaworów.

Ponieważ zawory stosowane w omawianych regulatorach mają proporcjonalne charakterystyki przepływowe, bieżący współczynnik przepływu jest proporcjonalny do względnego otwarcia zaworu

$$K_v(h) = K_{v100} \cdot \frac{h}{h_{\max}} \quad /2/$$

gdzie:

- K_{v100} - nominalny współczynnik przepływu zaworu odpowiadający pełnemu otwarciu,
- h - bieżące otwarcie zaworu [mm],
- h_{\max} - skok (maksymalne otwarcie) zaworu [mm]

Równania /1/ i /2/ pozwalają na określenie przepływu dla dowolnego otwarcia zaworu i dowolnego spadku ciśnienia na zaworze.

Podstawowe dane techniczne regulatorów BRU i BTO wspólne dla wszystkich typów zestawiono w tablicy 1.

2.1. Regulatory przepływu

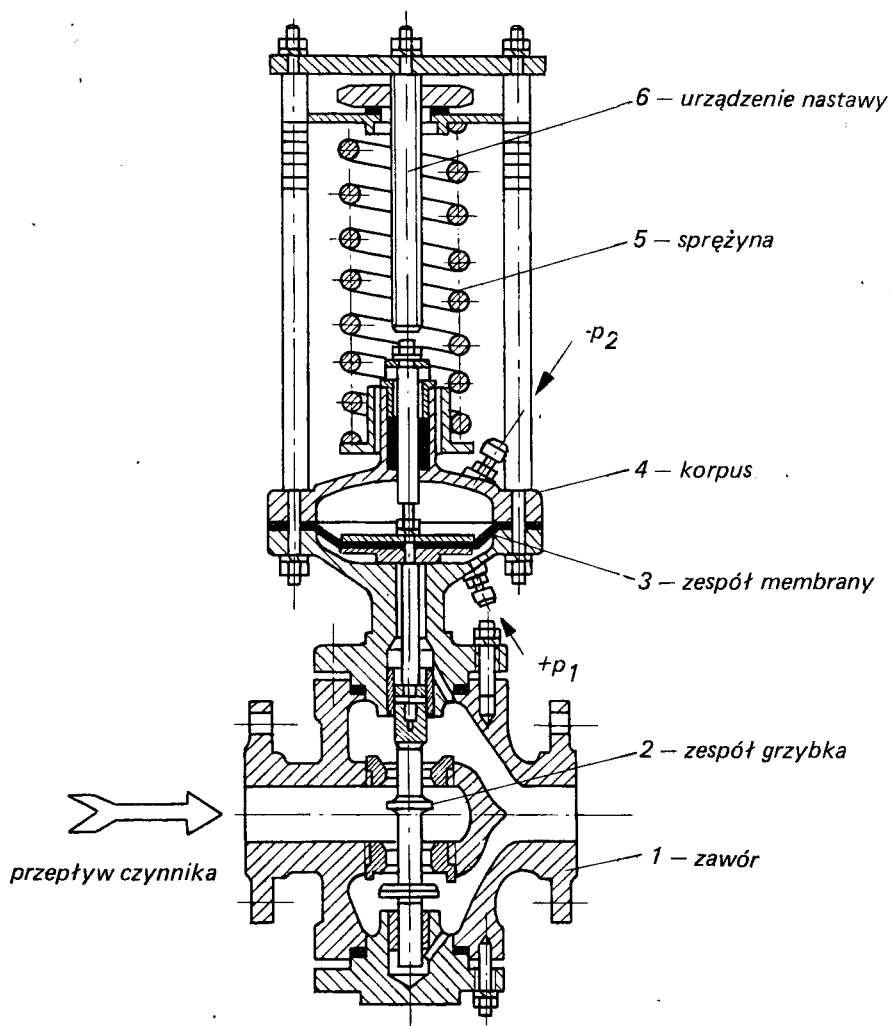
W omawianych typoszeregach regulatorów, do regulacji przepływu służą regulatory BRU-2A, BRU-3, BRU-3A i BRU-3B. W regulatorach tych, do pomiaru natężenia przepływu zastosowano metodę pomiaru różnicy ciśnień na elementach, przez które następuje przepływ czynnika regulowanego. Elementami takimi mogą być: zwężka, odcinek przewodu o znanej oporności hydraulicznej, itp. Ze względu na dowolność wyboru elementu mierzącego przepływ, jako wielkość regulowaną dla regulatorów przepływu, przyjmuje się różnicę ciśnień. Dlatego regulatory te mogą służyć również do regulacji różnicy ciśnień przy zmiennym przepływie o ile oporność hydrauliczna obiektu, na którym należy utrzymywać stały spadek ciśnienia jest zmienna (np. instalacja c.o. wyposażona w zawory przygrzejnikowe).

Spośród omawianych typów regulatorów przepływu seria BRU-3 może być stosowana do regulacji przepływu za regulatorem, natomiast pozostałe serie, do regulacji przepływu zarówno przed, jak i za regulatorem, dzięki wyeliminowaniu wpływu zakłóceń powodowanych przez ciśnienie panujące w przestrzeni za zaworem. Dodatkowo seria BRU-3B zapewnia szczelność odcięcia, dzięki zastosowaniu miękkich gniazd. Wszystkie re-

regulatory przepływu są wyposażone w zawory zamykające się przy wzroście różnicy ciśnień (przepływu).

Zasadę działania regulatorów przepływu omówiono poniżej na przykładzie regulatora BRU-3, którego schemat pokazano na rys.2. Regulator jest zbudowany z trzech podstawowych zespołów:

- zaworu regulacyjnego, dwugniazdowego,
- siłownika membranowego,
- urządzenia nastawy wartości zadanej.



Rys.2. Schemat regulatora BRU-3

Organem wykonawczym regulatora jest zawór (1). Zespół grzybka (2) jest połączony z membraną (3), na którą oddziałuje sygnał sterujący (różnica ciśnień). Na membranę oddziałuje również sygnał wartości zadanej, którym jest siła uzyskana przez napięcie sprężyny (5). Przez porównanie wartości sygnału sterującego z wartością sygnału zadanego uzyskuje się ustawienie grzybka (2) zaworu regulacyjnego w położeniu zapewniającym wartość przepływu odpowiadającą zadanej różnicy ciśnień. Położenie grzybka można kontrolować przez obserwację położenia dolnego talerza sprężyny, wartość nastawy jest pokazana przez wskaźnik (6). Regulator BRU-3, przy zastosowaniu do regulacji przepływu, należy włączyć do układu regulacji tak, aby impuls wyższego ciśnienia był doprowadzany do króćca p_1 , a impuls niższego ciśnienia do króćca p_2 . Przy zastosowaniu regulatora BRU-3 do utrzymywania stałego ciśnienia za regulatorem, przestrzeń w której ciśnienie to ma być regulowane należy połączyć z końcówką impulsową p_1 , a końcówkę impulsową p_2 z atmosferą.

Wszystkie regulatory przepływu mają charakterystyki proporcjonalne o zakresie proporcjonalności nie przekraczającym 10% górnej wartości zakresu nastawy. Regulatory serii BRU-2A są wykonywane dla trzech zakresów nastaw: $0,05 \dots 0,2 \text{ kg/cm}^2$, $0,1 \dots 0,4 \text{ kg/cm}^2$ i $0,3 \dots 1,2 \text{ kg/cm}^2$, natomiast pozostałe serie dla dwóch zakresów nastaw: $0,9 \dots 3,6 \text{ kg/cm}^2$ i $3 \dots 8 \text{ kg/cm}^2$ z możliwością ustawiania dowolnej wartości różnicy ciśnień w każdym zakresie.

Strefa nieczułości dla regulatorów BRU-2A i pierwszego zakresu nastaw regulatorów BRU-3, BRU-3A i BRU-3B wynosi 1,6% górnej wartości zakresu nastawy, natomiast dla drugiego zakresu nastaw regulatorów BRU-3, BRU-3A i BRU-3B wynosi 2,5%.

Przeciek względny we wszystkich regulatorach za wyjątkiem BRU-3B nie przekracza 0,5% nominalnego współczynnika przepływu K_{v100} . Regulatory BRU-3B są całkowicie szczelne ze względu na zastosowanie miękkich gniazd.

2.2. Regulatory ciśnienia

W omawianych typoszeregach regulatorów, do regulacji ciśnienia służą regulatory BRU-4, BRU-4A i BRU-P. Mogą one być stosowane do regula-

ciśnienia przed regulatorem, w przypadku odmiany BRU-4 lub za regulatorem, w przypadku odmian BRU-4A i BRU-P. Wszystkie regulatory ciśnienia zapewniają całkowitą szczelność odcięcia dzięki zastosowaniu miękkich gniazd w zaworach. Regulatory BRU-4 wyposażone są w zawory otwierające się przy wzroście ciśnienia regulowanego, natomiast regulatory BRU-4A i BRU-P mają zawory, które przy wzroście ciśnienia regulowanego zamykają się.

Regulatory serii BRU-4 i BRU-4A są konstrukcjami jednostopniowymi, podobnymi do regulatorów przepływu. Mają one charakterystyki proporcjonalne o zakresie proporcjonalności do 10 % górnej wartości zakresu nastawy. Są wykonywane dla dwóch wartości zakresów nastaw: $0,9 \dots 3,6 \text{ kg/cm}^2$ i $3 \dots 8 \text{ kg/cm}^2$ z możliwością ustawiania dowolnej wartości ciśnienia w każdym zakresie nastawy, przy czym dla pierwszego zakresu strefa nieczułości wynosi 1,6 % górnej wartości zakresu nastawy, a dla drugiego zakresu 2,5 %.

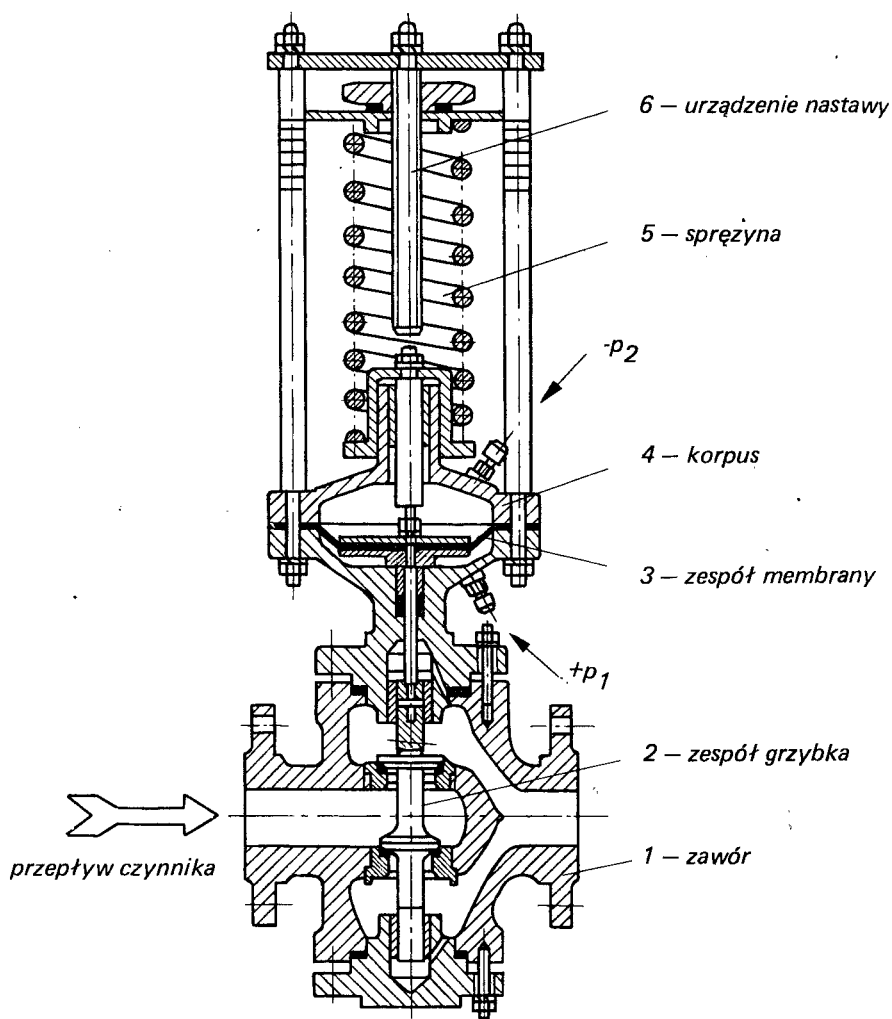
Regulatory serii BRU-P spełniają podobną rolę jak regulatory BRU-4A. Są to jednak konstrukcje dwustopniowe o charakterystyce całkującej, dzięki czemu umożliwiają dokładniejszą regulację ciśnienia w układzie. Ponadto umożliwiają regulację ciśnienia w szerszych zakresach niż regulatory BRU-4A, ponieważ są wykonywane dla trzech zakresów nastaw: $0,1 \dots 1,0 \text{ kg/cm}^2$, $0,4 \dots 4,0 \text{ kg/cm}^2$ i $1,0 \dots 10 \text{ kg/cm}^2$. Strefa nieczułości regulatorów BRU-P nie przekracza 1,6 % górnej wartości zakresu nastawy.

Zasadę działania jednostopniowych, proporcjonalnych regulatorów ciśnienia zilustrowano na przykładzie regulatora BRU-4, którego schemat jest pokazany na rys.3.

Regulator jest zbudowany z trzech podstawowych zespołów:

- zaworu regulacyjnego, dwugniazdowego,
- siłownika membranowego,
- urządzenia nastawy wartości zadanej.

Organem wykonawczym regulatora jest zawór (1). Zespół grzybka (2) jest połączony z membraną (3), na którą oddziałuje z jednej strony sygnał sterujący (ciśnienie regulowane), a z drugiej strony sygnał zadany, którym

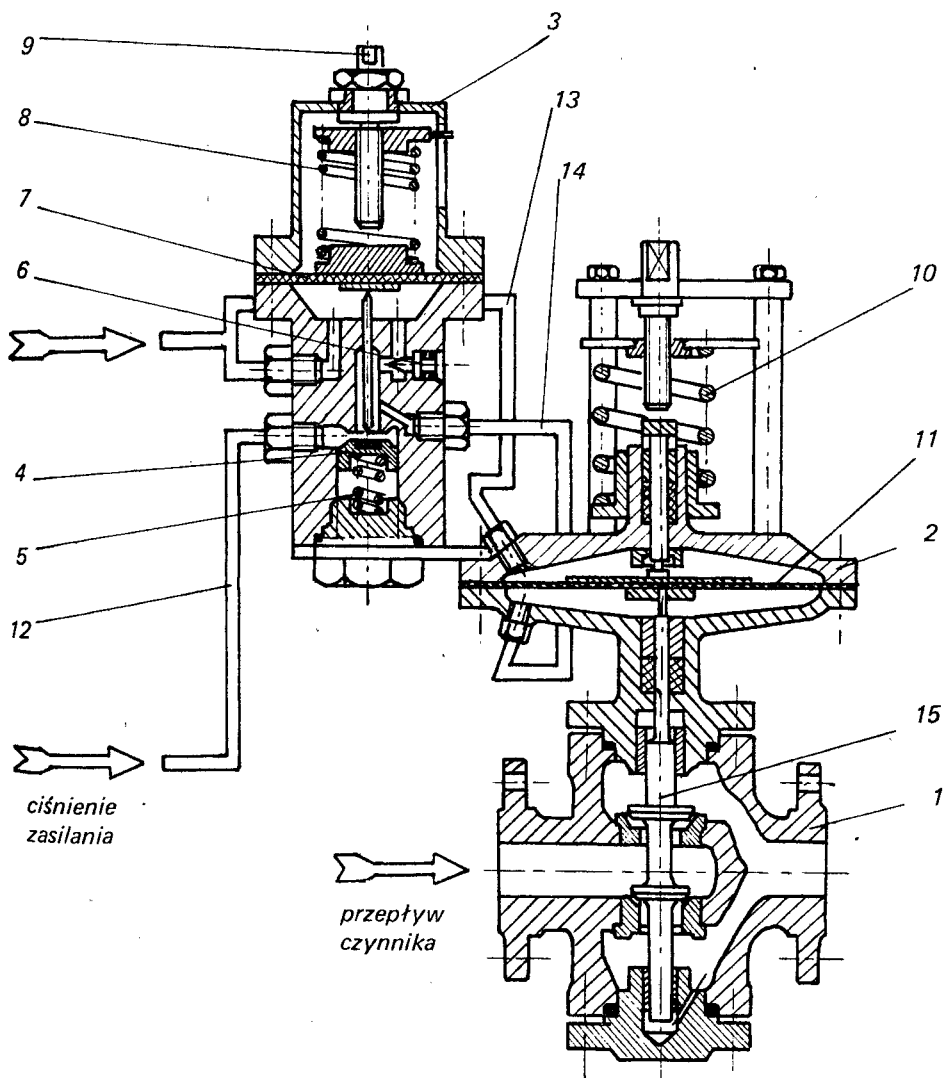


Rys.3 Schemat regulatora BRU-4

jest siła uzyskana przez napięcie sprężyny (5). Przez porównanie wartości sygnału sterującego z wartością sygnału zadanego uzyskuje się ustawienie grzybka zaworu regulacyjnego w położeniu zapewniającym taki przepływ przez zawór, aby ciśnienie w obszarze regulowanym (przed regulatorem) miało wartość zadaną. Gdy wartość ciśnienia zasilania spada poniżej wartości nastawionej, regulator szczelnie odcina przepływ. Położenie grzybka zaworu można kontrolować przez obserwację położenia dolnego talerza sprężyny, a wartość nastawy jest wskazywana przez wskaźnik (6).

Regulator BRU-4 należy tak włączyć do układu regulacji, aby impuls ciśnienia regulowanego z przestrzeni przed regulatorem był doprowadzony do króćca p_1 , a króciec p_2 był połączony z atmosferą.

Zasadę działania dwustopniowego całkującego regulatora ciśnienia BRU-P opisano poniżej, zgodnie z jego schematem podanym na rys.4.



Rys.4. Schemat regulatora BRU-P

Regulator jest zbudowany z trzech podstawowych podzespołów:

- głównego zaworu regulacyjnego (1),
- siłownika membranowego (2),
- serwozaworu (3).

Siła pochodząca od napięcia sprężyny regulacyjnej (8), uzyskana przez obracanie śruby (9) oddziałuje na membranę (7) serwozaworu. Na membranę oddziałuje również siła wypadkowa, pochodząca od ciśnienia regulowanego (p_r), sprężyny zwrotnej (5) i od sztywności membrany. Wielkość napięcia sprężyny nastawnicy określa wartość ciśnienia regulowanego (p_r).

W okresie rozruchu, ciśnienie czynnika roboczego (p_z) działa na główny zawór regulacyjny po stronie zasilania oraz na grzybek (4) serwozaworu przez przewód impulsowy (12). Zawór główny (1) odcina przepływ na skutek działania na grzyb (15) tego zaworu siły pochodzącej od sprężyny (10). Z chwilą wprowadzenia odpowiedniego napięcia sprężyny regulacyjnej (8), przez obroty śruby (9) w kierunku prawym, następuje ruch grzybka (4) serwozaworu w kierunku otwarcia serwozaworu. Czynnik roboczy przepływa przez przewód impulsowy do przestrzeni pod grzybkiem (4) a następnie przez serwozawór i przewód impulsowy (14) dopływa pod membranę (11) siłownika (2). Ciśnienie tego czynnika działając na membranę (11) powoduje ruch grzyba (15) w kierunku otwarcia zaworu głównego (1), co wywołuje przepływ czynnika przez zawór główny regulatora. Ciśnienie czynnika za zaworem głównym powinno być utrzymane na stałym poziomie (p_r). Czynnik pod ciśnieniem regulowanym (p_r) jest doprowadzany przewodem impulsowym (13) nad membranę (11) siłownika. Przestrzeń za zaworem głównym (1) jest połączona przewodem impulsowym (13) z przestrzenią pod membraną (7) serwozaworu. Gdy zapotrzebowanie na czynnik, którego ciśnienie jest regulowane maleje, ciśnienie czynnika rośnie, wówczas rośnie ciśnienie pod membraną (7) serwozaworu, powodując ruch grzybka (4) w kierunku odcięcia przepływu przez serwozawór. Rośnie również ciśnienie pod membraną (11) siłownika (2) powodując ruch grzyba (15) zaworu głównego (1) w kierunku przamykania tego zaworu. Następuje zmniejszenie przepływu przez zawór główny regulatora. Ciśnienie czynnika za

regulatorem wraca do nastawionej wartości (p_r). Jeżeli zapotrzebowanie na czynnik roboczy rośnie, wówczas ciśnienie jego spada. Serwozawór(3) reaguje w ten sposób, że zmniejsza dopływ czynnika nad membraną (11), ciśnienie nad membraną zmniejsza się. Grzyb (15) zaworu głównego przesuwają się w kierunku zwiększenia otwarcia zaworu (1). Przepływ przez zawór (1) rośnie powodując wzrost ciśnienia (p_r) do wartości nastawionej.

2.3. Regulatory temperatury

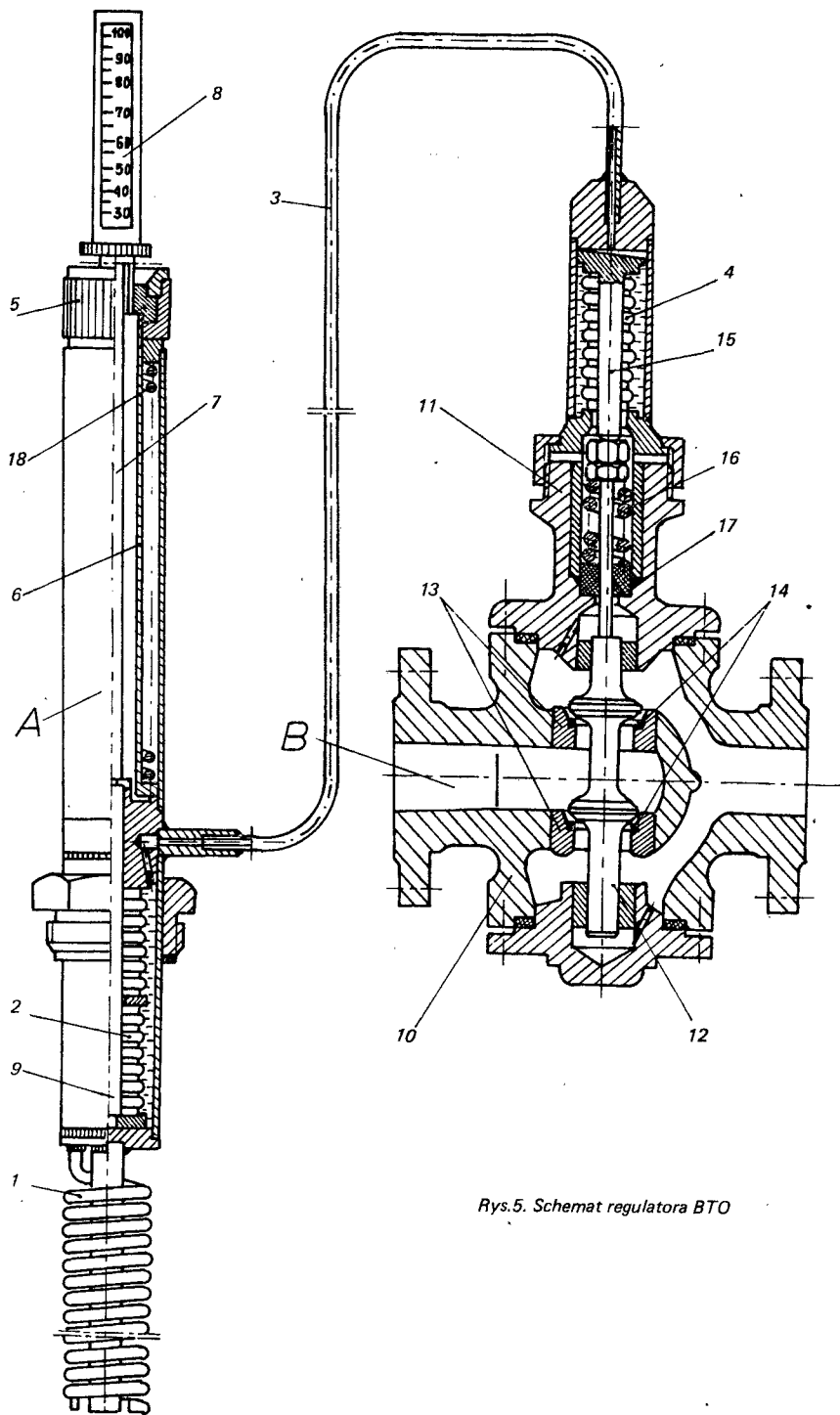
W omawianych typoszeregach regulatorów, do regulacji temperatury służą typy BTO i BTO-A. Mogą one być stosowane do regulacji temperatury wody w zakresie $30^{\circ} \dots 100^{\circ}C$, z możliwością nastawiania każdej temperatury pośredniej. Regulatory BTO są wyposażone w zawory zamykające się przy wzroście temperatury, natomiast regulatory BTO-A, w zawory otwierające się przy wzroście temperatury. Regulatory te posiadają charakterystykę proporcjonalną o zakresie regulacji do $8^{\circ}C \pm 20\%$. Strefa niejednoznaczności (histereza) regulatora nie przekracza $1,6^{\circ}C$. Dopuszczalny przeciek względny w odmianie zwykłej nie przekracza $0,5\%$ nominalnego współczynnika przepływu zaworu K_{v100} , natomiast w odmianie specjalnej $0,1\% K_{v100}$. Zastępcza stała czasowa regulatora nie przekracza $20 s$.

Zasada działania regulatorów temperatury jest zilustrowana na przykładzie regulatora BTO, którego schemat podano na rys.5.

Regulatory są zbudowane z dwóch zasadniczych części:

- czujnika (A),
- zaworu (B).

Czujnik (A) składa się z zespołu hermetycznego i zadajnika. Zespół hermetyczny jest wypełniony cieczą manometryczną. Spirala termometryczna (1) jest całkowicie zanurzona w czynniku ogrzewanym. Górną część czujnika stanowi zadajnik. Składa się on z pokrętła (5) połączonego z nakrętką (6), która współpracuje z nagwintowanym trzpieniem (7). Trzpień jest połączony na stałe z dnem mieszka przegrzania (2). Obracając pokrętłem powodujemy wsuwanie lub wysuwanie trzpienia (7) z nakrętki, co jest równoznaczne ze zmianami długości mieszka (2). Umieszczony w pokrętle popychacz (9) przekazuje zmiany długości mieszka na wskaźnik (8), z



Rys.5. Schemat regulatora BTO

podziałką w °C. Zawór (B) jest zaworem dwugniazdowym. Składa się z korpusu (10), dławnicy (11) z uszczelką (17), grzybka (12) oraz gniazd (13), posiadających zawałcowane wkładki teflonowe (14), które gwarantują wymaganą szczelność. Popychacz (15) mieszka wykonawczego (4), którego ruch jest wywołany wzrostem temperatury czynnika regulowanego, powoduje zamykanie otworu. Otwieranie zaworu przy obniżaniu się temperatury czynnika regulowanego, powoduje sprężyna zwrotna (16). Zawór montuje się na rurociągu, doprowadzającym gorącą ciecz lub parę do obiektu, a czujnik (A) umieszcza się na obiekcie, w którym ma być utrzymana stała wartość temperatury czynnika ogrzewanego. Zawór zmniejszając lub zwiększając natężenia przepływu czynnika ogrzewającego, powoduje powrót temperatury do wartości zadanej. Na wypadek przegrzania o 75°C ponad wartość zadaną, regulator jest zabezpieczony w ten sposób, że w czasie przegrzania wzrost objętości cieczy manometrycznej jest kompensowany ugięciem mieszka (2) i sprężyny (18).

3. Zastosowania w ciepłownictwie

Regulatory omówione w poprzednim rozdziale, umożliwiają budowę układów automatycznej regulacji węzłów ciepłych zasilanych z centralnej sieci ciepłej lub z ciepłowni osiedlowych. Układy te umożliwiają stabilizację warunków hydraulicznych pracy węzła i regulację temperatury ciepłej wody użytkowej, niezależnie od zakłóceń oddziaływujących na węzeł. Typowymi przyczynami zakłóceń oddziaływujących na węzeł są:

- wpływ instalacji o odmiennych charakterystykach technicznych, zasilanych z tego samego przyłącza do sieci ciepłej,
- wpływ zmiennych warunków ciśnieniowych w sieci ciepłej, w miejscu włączenia przyłącza,
- niewłaściwy przebieg zmian temperatury w przewodzie zasilającym sieci w stosunku do zapotrzebowania ciepła dla danego obiektu,
- zmiany oporności hydraulicznej instalacji wewnętrznej budynku spowodowane pracą samych układów automatycznej regulacji temperatury np. zaworów przygrzejnikowych.

Różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych węzłów ciepłych sprawia, że

są one mniej lub bardziej dostosowane do automatyzacji. W przypadku zasilania z centralnej sieci ciepłej, z reguły stosuje się węzły wspólne dla centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej, przy czym, instalacja centralnego ogrzewania jest zwykle zasilana bezpośrednio z sieci ciepłej (przynajmniej w dużych budynkach), natomiast instalacja ciepłej wody użytkowej, za pośrednictwem wymienników ciepła, bowiem wymagania sanitarne nie dopuszczają do korzystania z wody ciepłowniczej dla celów użytkowych.

W węzłach bezpośredniego zasilania instalacji c.o. stosuje się dwa typy obwodów: z hydroelewateorem i ze zmieszaniem pompowym. Oba typy obwodów są, aczkolwiek w odmienny sposób, wrażliwe na wahania ciśnienia dyspozycyjnego w cieci ciepłej. Zmiany oporności instalacji wewnętrznej spowodowane np. pracą termoregulatorów przygrzejnikowych lub ręczną regulacją zaworów przez użytkowników, powodują zmiany wydajności ciepłej tej instalacji. Przemykanie zaworów przygrzejnikowych powoduje wzrost ciśnienia zasilania instalacji. Wzrost ten jest nieco większy w węzłach hydroelewatorowych niż w węzłach zmieszania pompowego. W węzłach hydroelewatorowych wzrost oporności instalacji c.o. (przemykanie zaworów) powoduje zmniejszenie współczynnika mieszania, a tym samym podwyższenie temperatury. Nieco odmiennie przedstawia się sytuacja w węzłach z pompą w przewodzie mieszającym. W węzłach tych przymknięcie zaworów przygrzejnikowych, w przypadku sztywnych charakterystyk pomp, powoduje zwiększenie współczynnika mieszania, a tym samym spadek temperatury. Spadek ciśnienia zasilania powoduje spadek wydajności ciepłej instalacji. Jest on najsilniejszy w węzłach z pompą w przewodzie mieszającym na skutek wzrostu współczynnika mieszania, a tym samym spadku temperatury wody w instalacji. W węzłach hydroelewatorowych spadek ciśnienia zasilania nie powoduje zmiany współczynnika mieszania, powoduje natomiast spadek przepływu czynnika grzejącego w instalacji, większy niż w węzłach zmieszania pompowego. Wywołuje to mniejszy niż przy węzłach pompowych spadek wydajności instalacji, natomiast największe rozregulowanie rozdziału ciepła pomiędzy poszczególne grzejniki.

Reasumując powyższe uwagi należy stwierdzić, że wszystkie typy bezpośrednich połączeń instalacji c.o. z siecią ciepłą są wrażliwe na

wahania ciśnienia dyspozycyjnego. W związku z tym wskazana jest regulacja tego ciśnienia zwłaszcza w przypadku węzłów z pompą w przewodzie mieszającym lub regulacja stałego spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej zwłaszcza w węzłach hydroelewatorowych. Dodatkowo istnieje potrzeba automatycznej regulacji ciśnienia statycznego w instalacji c.o. wszędzie tam, gdzie ciśnienie w przewodzie powrotnym sieci ciepłej w miejscu przyłączenia budynku może stale lub okresowo spadać poniżej wartości ciśnienia hydrostatycznego budynku.

Węzły wymiennikowe wody użytkowej są włączone najczęściej równolegle z węzłami c.o. Z reguły stosuje się w nich wymienniki dwustopniowe z pierwszym stopniem podgrzewu zasilanym z przewodu powrotnego instalacji c.o. i z drugim stopniem zasilanym z przewodu zasilającego, podłączonego do sieci ciepłej. Oba stopnie mają przy tym dodatkowo możliwość połączenia w szereg i zasilania bezpośrednio z sieci, co jest ważne w okresie letnim, gdy instalacja c.o. nie pracuje, a woda dostarczana z elektrociepłowni ma obniżoną temperaturę. Zmiany poboru ciepłej wody użytkowej powodują zmiany jej temperatury. W celu utrzymania tej temperatury na żądanym poziomie niezbędna jest jej regulacja. Najprościej osiąga się ją przez zastosowanie regulatora temperatury typu BTO, którego czujnik włączony jest w obwód c.w.u. za wymiennikiem, natomiast zawór w przewodzie zasilający drugi stopień podgrzewu. Wzrost temperatury c.w.u. powoduje wówczas przemykanie zaworu regulatora, a co za tym idzie zmniejszenie przepływu wody podgrzewającej i spadek wydajności ciepłej wymiennika, a w konsekwencji obniżenie temperatury c.w.u. do żądanego poziomu. Spadek temperatury c.w.u. poniżej wielkości nastawionej powoduje akcję odwrotną.

Ze względu na to, że regulatory typu BTO, jak zresztą wszystkie inne regulatory działające na takiej zasadzie, mają stosunkowo dużą stałą czasową, poprawna regulacja temperatury jest możliwa, pod warunkiem, że obwód c.w.u. ma odpowiednio dużą pojemność cieplną (akumulację ciepła). W praktyce uzyskanie odpowiedniej dla tego typu regulatorów pojemności cieplnej jest możliwe jedynie przez stosowanie, bądź wymienników typu pojemnościowego, bądź w przypadku zastosowania wymienników przeciw-

prądowych, zasobników ciepła. Dodatkowo w przypadku braku poboru c.w.u., np. w okresie nocnym, istnieje niebezpieczeństwo przegrzewania instalacji na skutek przecieków przez zawór regulatora, który nie zapewnia idealnego odcięcia podgrzewu wymiennika drugiego stopnia. Niebezpieczeństwo to można wyeliminować przez zastosowanie cyrkulacji wymuszonej za pomocą pomp cyrkulacyjnych w obiegu c.w.u., co powoduje wymianę ciepła w obiegu, mimo braku odbioru wody. Szczelne odcięcie zaworu regulatora nie jest wtedy konieczne. Stosowanie cyrkulacji wymuszonej zapewnia dodatkowo równomierny rozkład temperatury c.w.u. u poszczególnych odbiorców, zwłaszcza w okresach zmniejszonego poboru.

Praca zaworu regulatora temperatury powoduje wahania ciśnienia dyspozycyjnego, które zakłócają pracę zarówno węzła c.o. jak i samego węzła c.w.u. Przymykanie zaworu regulatora, które ma ograniczyć przepływ wody grzewczej w celu obniżenia temperatury c.w.u., powoduje wzrost ciśnienia dyspozycyjnego, co z kolei wywołuje wzrost przepływu przez zawór regulatora i konieczność jego dalszego przemykania. Stąd wynika również potrzeba stosowania regulacji ciśnienia dyspozycyjnego, bądź spadku ciśnienia na drugim stopniu wymiennika c.w.u.

Wahania temperatury wody w przewodzie powrotnym z instalacji c.o. powodują także niebezpieczeństwo przegrzewania pierwszego stopnia wymiennika c.w.u. Aby tego uniknąć, można równolegle z pierwszym stopniem wymiennika zastosować regulator typu BTO-A, który w przypadku wzrostu temperatury powyżej wartości nastawionej, powoduje otwarcie przepływu bocznikującego pierwszy stopień wymiennika i co za tym idzie, spadek wydajności cieplnej tego wymiennika. W przypadku zastosowania wymienników pojemnościowych i odpornych na korozję, niebezpieczeństwo przegrzewania pierwszego stopnia jest znikome.

Reasumując, omawiane w artykule regulatory przepływu, ciśnienia i temperatury w układach automatycznej regulacji węzłów cieplnych, mogą być stosowane do:

utrzymania żądanego, stałego ciśnienia zasilania w instalacji wewnętrznej, niezależnie od wahań ciśnienia dyspozycyjnego w instalacji zewnętrznej - serie BRU-4A lub BRU-P (dotyczy to zwłaszcza węzłów z pompą w przewodzie mieszającym) ;

utrzymania żądanego, ze względu na warunek całkowitego wypełnienia instalacji, stałego ciśnienia hydrostatycznego na powrocie instalacji wewnętrznej, niezależnie od wahań ciśnienia powrotnego w instalacji zewnętrznej - seria BRU-4;

utrzymania żądanej stałej wartości spadku ciśnienia na wymienniku ciepłej wody użytkowej - seria BRU-2A;

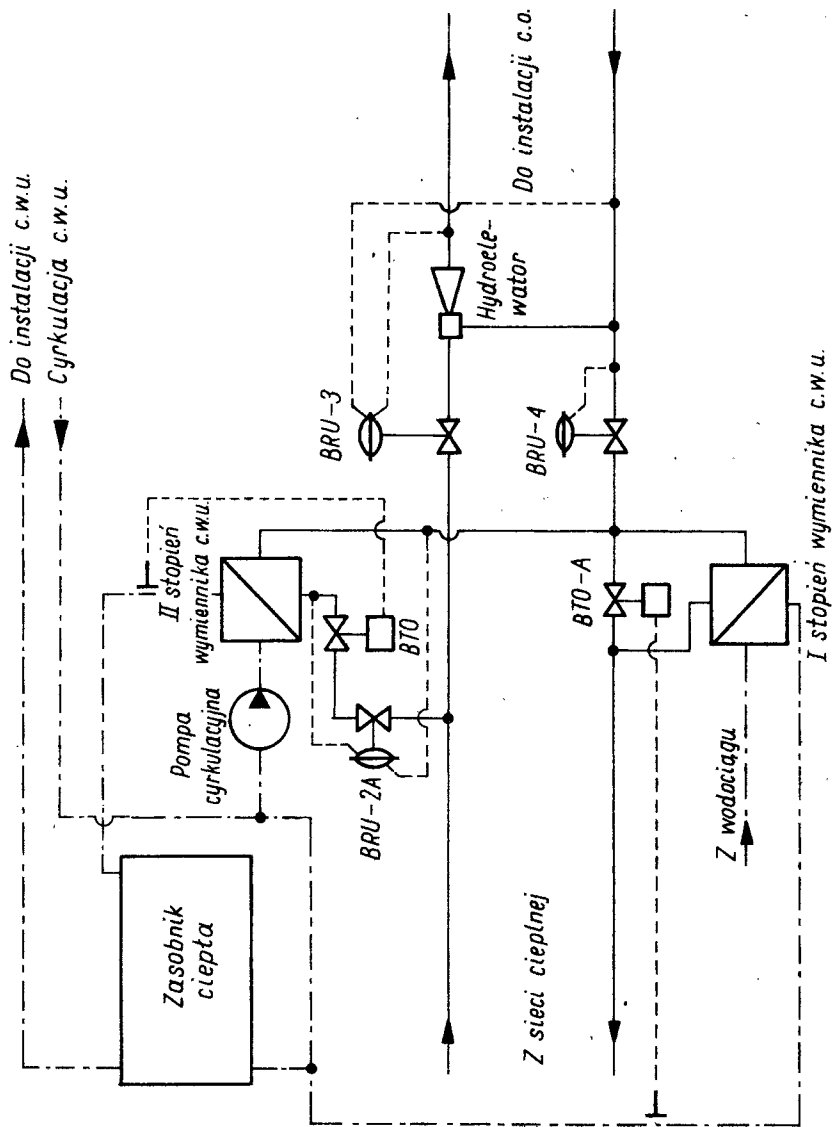
utrzymania żądanego, stałego spadku ciśnienia w instalacji centralnego ogrzewania - serie BRU-3, BRU-3A i BRU-3B, (dotyczy to zwłaszcza węzłów hydroelewatorowych);

utrzymania stałej wartości temperatury ciepłej wody użytkowej - seria BTO;

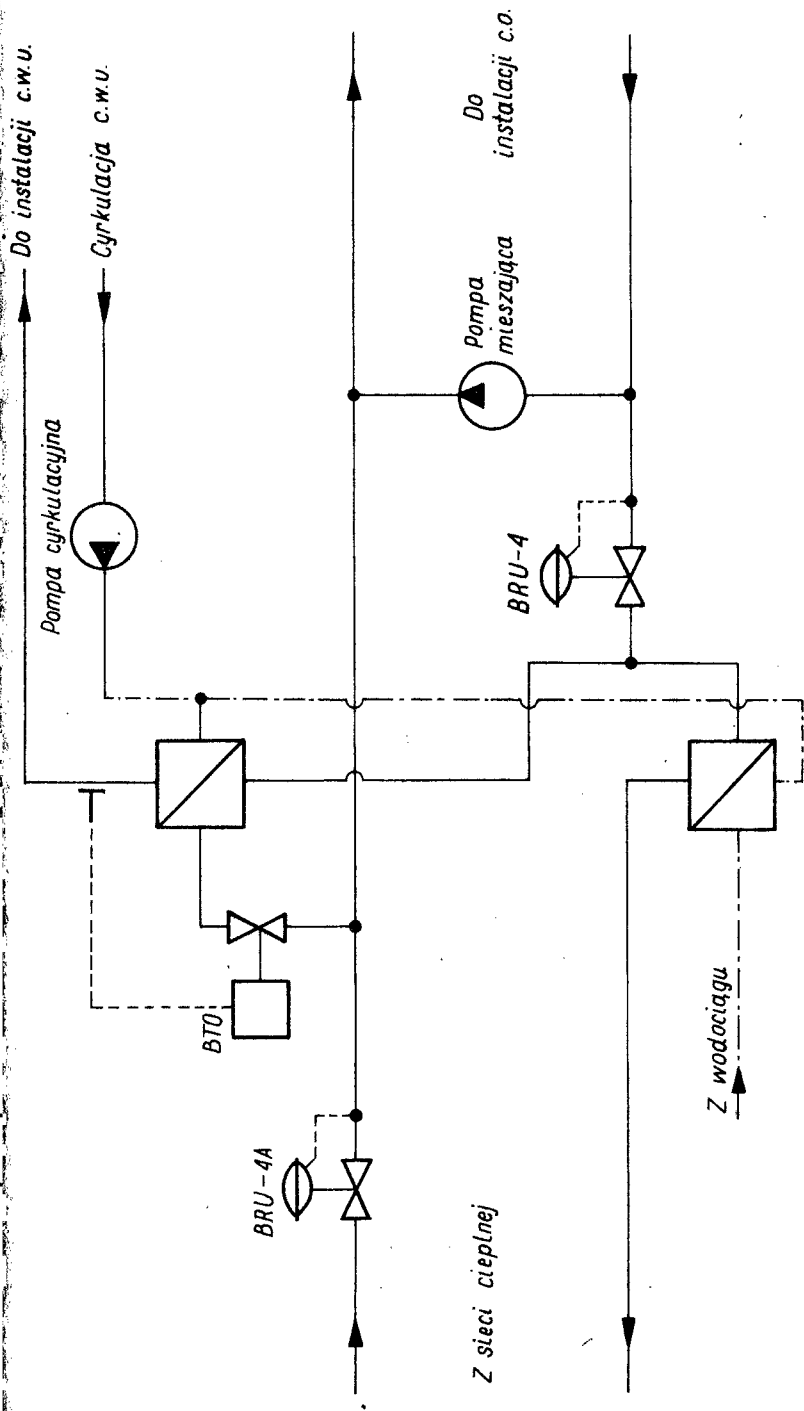
zabezpieczenia przed przekroczeniem dopuszczalnej temperatury ciepłej wody w pierwszym stopniu podgrzewu w wymiennikach dwustopniowych - seria BTO-A.

Na rys.6 i 7 podano dla przykładu uproszczone schematy węzłów cieplnych c.o. i c.w.u., w których zastosowano automatyczną regulację za pomocą regulatorów typu BRU i BTO.

Na rys.6, węzeł w instalacji c.o., jest wyposażony w hydroelewator, w instalacji c.w.u., w wymiennik przeciwapływowy, zasobnik ciepła i pompę cyrkulacyjną. Zastosowano w nim automatyczną stabilizację: ciśnienia podporowego w instalacji c.o. (regulator BRU-4), spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej c.o. (regulator BRU-3), spadku ciśnienia na drugim stopniu podgrzewu w wymienniku c.w.u. (regulator BRU-2A), oraz regulację temperatury c.w.u. (regulator BTO) i zabezpieczenie pierwszego stopnia wymiennika c.w.u. przed przegrzaniem (regulator BTO-A). Na rys.7 węzeł w instalacji c.o. jest wyposażony w pompę w przewodzie mieszającym, a w instalacji c.w.u., w wymiennik pojemnościowy i pompę cyrkulacyjną. Zastosowano w nim automatyczną stabilizację: ciśnienia dyspozycyjnego na wejściu z sieci ciepłej (regulator BRU-4A) i ciśnienia podporowego w instalacji c.o. (regulator BRU-4), oraz regulację temperatury c.w.u. (regulator BTO). Węzeł tego typu, dla poprawnego działania wymaga mniejszej niż pokazany na rys.6 liczby regulatorów. Wynika to z zastosowania w nim wymiennika pojemnościowego i mieszania pompowego.



Rys.6. Uproszczony schemat węzła c.o. i c.w.u. wyposażonego w hydroelewator, wymiennik przeciwwądrowy, zasobnik ciepła, pompę cyrkulacyjną, oraz regulatory BRU-2A, BRU-3, BRU-4, BTO i BTO-A



Rys.7. Uproszczony schemat węzła c.o. i c.w.u. wyposażonego w pompę w przewodzie mieszającym, wymiennik pojemnościowy, pompę cyrkulacyjną oraz regulatory BRU-4, BRU-4A i BTO

4. Dobór regulatora do obiektu

Dobór regulatora do obiektu regulacji (węzła cieplnego) jest uwarunkowany przede wszystkim natężeniem przepływu czynnika grzewczego, które jest uzależnione od jego temperatury i zapotrzebowania na ilość ciepła. Dobór regulatora musi więc być poprzedzony obliczeniami cieplnymi obiektu, które powinny określić maksymalne zapotrzebowanie na czynnik grzewczy.

Dokładny dobór regulatora bezpośredniego działania do węzła cieplnego może być przeprowadzony przy uwzględnieniu dynamiki obiektu regulacji. Wymaga to jednak przeprowadzenia złożonych obliczeń, a częstokroć jest w ogóle niemożliwe, z uwagi na nieznaną charakterystykę dynamicznych obiektów cieplowniczych. Ze względu na to, że węzły ciepłe są projektowane z elementów typowych, handlowo dostępnych, produkowanych w dość rzadkich typoszeręgach, projektant układu ma ograniczone możliwości i niezależnie od mniej czy bardziej dokładnych obliczeń jest zmuszony dokonywać doboru elementów zazwyczaj nie spełniających warunków optymalnego doboru parametrów (wybiera z typoszeręgów elementy o charakterystykach najbardziej zbliżonych, jednak dalekich od optymalnych). Dlatego przeprowadzenie dokładnych obliczeń procesu regulacji w fazie projektowania węzła, nie wydaje się celowe i zupełnie jest wystarczający dobór regulatorów za pomocą metody uproszczonej, opartej na znajomości podstawowych parametrów hydraulicznych węzła.

Regulator może dobrze pracować tylko wtedy, gdy oprócz jego charakterystyki regulacyjnej, jego wielkość decydująca o natężeniu przepływu, jest również prawidłowo dobrana. Dobranie regulatora o zbyt małej średnicy powoduje wolną odpowiedź układu regulacji na zakłócenia (duży przejściowy błąd regulacji), i niepotrzebne zwiększenie strat energetycznych, wynikających ze zbyt dużego dławienia przepływu - nawet przy pełnym otwarciu regulatora. Dobranie regulatora o zbyt dużej średnicy powoduje tendencję do niestabilnej pracy węzła, z uwagi na zbyt duże wzmocnienie w pętli regulacji. Nieprawidłowość ta objawia się powolnymi pulsacjami wielkości regulowanej (ciśnienia, przepływu lub temperatury).

Natężenie przepływu przez zawór regulatora zależy od powierzchni otwarcia zaworu, różnicy ciśnień występującej na zaworze i gęstości czynnika grzewczego (równania /1/ i /2/). Operowanie przy doborze zaworu regulatora powierzchnią jego otwarcia jest niewygodne i błędne dlatego, że strumień nie wypełnia całego przekroju, co uwarunkowane jest efektami przepływu na wyjściu z miejsca przewężenia, a ponadto w tym przypadku pomija się również straty wywołane tarciem, zmianą kierunku przepływu itp. zjawiska. Dlatego zawór regulatora powinno się dobierać ze względu na wartość nominalnego współczynnika przepływu K_{v100} , który jest zresztą ściśle związany ze średnicą nominalną danego zaworu.

W przypadku omawianych regulatorów, dobór regulatora wg K_{v100} jest szczególnie ważny, ponieważ są one oparte na zaworach dwugniazdowych charakteryzujących się stosunkowo dużymi wartościami współczynników przepływu K_{v100} . W praktyce zdarza się często, że dla danego rurociągu właściwe jest dobranie regulatora o średnicy mniejszej niż średnica nominalna tego rurociągu.

Najprostszy sposób doboru regulatora do obiektu powinien zawierać niżej wymienione kroki:

1. Dobór typu regulatora ze względu na przyjęty układ węzła i sposób regulacji. (Wskazówki wynikające z właściwości różnych typów węzłów podano w rozdziale 3).
2. Wspecyfikowanie parametrów hydraulicznych obiektu:
 - zakres zmian przepływu dyspozycyjnego,
 - zakres zmian ciśnienia dyspozycyjnego w przyłączy do sieci cieplnej,
 - zakres zmian ciśnienia w przewodzie powrotnym przyłącza sieci cieplnej,
 - żądana wartość nastawy parametru regulowanego (różnica ciśnień w regulatorach przepływu, ciśnienie w regulatorach ciśnienia, temperatura w regulatorach temperatury).Należy zwrócić uwagę na to, że wybór nastawy w przypadku regulatorów przepływu i ciśnienia jest uwarunkowany nie tylko żądanymi parametrami węzła c.o. i c.w.u., ale również koniecznością utrzymania określonego minimalnego spadku ciśnienia na samym zaworze regulatora.

3. Określenie zakresu nastaw regulatora (dotyczy tylko regulatorów typu BRU, ponieważ regulatory BTO mają tylko jeden zakres nastaw).
4. Dobór nominalnego współczynnika przepływu K_{v100} zaworu regulatora. Doboru tego należy dokonywać korzystając z równań /1/ i /2/ lub odpowiadających im charakterystyk (rys.1), posługując się wyspecyfikowanymi w drugim kroku parametrami hydraulicznymi obiektu. Najwłaściwsze jest przy tym zastosowanie systematycznej procedury iteracyjnej polegającej na sprawdzaniu za pomocą równań /1/ i /2/ dopasowania do obiektu kolejnych typowymiarów zaworów, w porządku rosnącym. Jako zawór dopasowany przyjmuje się taki, którego maksymalne otwarcie (wynikające z najniekorzystniejszej kombinacji wyspecyfikowanych przepływów i spadków ciśnień na zaworze) wynosi około 75 % pełnego skoku zaworu. W przypadku, jeśli nawet największy typowymiar zaworu jest niewystarczający dla przepuszczenia wyspecyfikowanego natężenia przepływu, można podjąć próbę zastosowania, w tych warunkach równoległego połączenia dwóch regulatorów, z których każdy jest dobierany dla połowy żądanego natężenia przepływu. Z uwagi na trudności związane z synchronizacją nastaw, nie zaleca się stosowania więcej niż dwóch, równoległe połączonych regulatorów.

Przykładowe obliczenia doboru regulatorów zamieszczono w artykule [3]. Dla wygody według omówionej wyżej procedury opracowano programy komputerowe w języku FORTRAN, które pozwalają na automatyczny dobór regulatora do węzła. Programy te są do dyspozycji w Ośrodku Automatyki Mechanicznej MERA-PIAP. W celu korzystania z nich, niezbędne jest wyspecyfikowanie dla różnych typów regulatorów, następujących danych wejściowych:

1. Dla regulatorów przepływu BRU-2A, BRU-3, BRU-3A, BRU-3B
 - czy wymagana jest szczelność odcięcia,
 - czy regulacja za, czy przed regulatorem
 - Δp [kg/cm^2] - regulowana różnica ciśnień
 - p_1 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wejściu regulatora
 - p_2 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wyjściu regulatora
 - Q [m^3/h] - przepływ dyspozycyjny.

2. Dla regulatorów ciśnienia BRU-4, BRU-4A, BRU-P

czy regulacja dokładna

czy regulacja za, czy przed regulatorem

p_r [kg/cm^2] - ciśnienie regulowane

p_1 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wejściu regulatora

p_2 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wyjściu regulatora

Q [m^3/h] - przepływ dyspozycyjny.

3. Dla regulatorów temperatury BTO i BTO-A

T [$^{\circ}\text{C}$] - temperatura regulowana

p_1 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wejściu regulatora

p_2 [kg/cm^2] - zakres ciśnienia na wyjściu regulatora

Q [m^3/h] - przepływ dyspozycyjny.

5. Podsumowanie

Omówione w artykule typy szeregi regulatorów bezpośredniego działania przepływu, ciśnienia i temperatury typu BRU i BTO, charakteryzują się wysokim stopniem unifikacji, co jest korzystne zarówno z produkcyjnego, jak i z użytkowego punktu widzenia.

Konstrukcje regulatorów zostały sprawdzone w warunkach normalnej eksploatacji w warszawskich węzłach cieplnych, charakteryzujących się wyjątkowo wysokim zanieczyszczeniem i silną korozyjnością wody grzewczej, dostarczanej z elektrociepłowni. Pierwsze prototypy regulatorów zainstalowano w węzłach w 1972 r. Do chwili obecnej pracują one bez zarzutu.

Prawidłowe użytkowanie omawianych regulatorów wymaga stosowania w instalacji przed regulatorami, filtrów w celu przedłużenia ich żywotności. Odpowiednie filtry typu FS są również produkowane przez ZAMERA PÓLNA. Regulatory współpracujące z filtrami nie wymagają żadnej obsługi, z wyjątkiem okresowego czyszczenia filtrów. W przypadku niestosowania filtrów, regulatory o gniazdach elastycznych (szczelnie odcinające) narażone są na uszkodzenia mechaniczne gniazd i szybką utratę szczelności w czasie eksploatacji.

Parametry techniczne omawianych regulatorów dorównują parametrom technicznym regulatorów produkowanych przez przodujące firmy zagraniczne np. SAMSON, a w wielu przypadkach regulatory krajowe mają lepsze właściwości regulacji (zakres proporcjonalności, strefa nieczułości, stała czasowa). Stwierdzenie to poparte jest wynikami badań porównawczych, laboratoryjnych i eksploatacyjnych.

Zapewnienie dobrych efektów regulacji obiektów, przy zastosowaniu omawianych regulatorów, wymaga właściwego doboru regulatorów do obiektów, w fazie projektowania i prawidłowego ich instalowania. Tam gdzie to tylko możliwe, należy dążyć do eliminacji pracy regulatora, jako zaworu odcinającego przepływ, gdyż w takim stanie regulator pracuje poza zakresem regulacji.

Zastosowanie omówionych regulatorów do automatyzacji węzłów cieplnych zapewnia następujące korzyści użytkowe:

- minimalizację strat energii cieplnej, dostarczanej z ciepłowni,
- wykluczenie konieczności cosezonowego kryzowania instalacji,
- wykluczenie możliwości zapowietrzenia instalacji,
- zwiększenie trwałości instalacji ciepłowniczych, przez zabezpieczenie ich przed nadmiernym wzrostem ciśnienia i zmniejszenie możliwości wystąpienia korozji,
- dostawę odbiorcom niezbędnej ilości ciepła do ogrzewania pomieszczeń oraz ciepłej wody o regulowanej temperaturze zgodnie z aktualnie przyjętymi normami.

Literatura

- [1] Omylińska B.: Regulatory ciśnienia i przepływu bezpośredniego działania typu BRU. Biuletyn MERA, 1973, nr 9 (139).
- [2] Omylińska B., Serwach A., Szewczyk J.: Zasada działania, budowa i właściwości proporcjonalnych regulatorów bezpośredniego działania przepływu, ciśnienia i temperatury typu BRU i BTO. Technika Instalacyjna, 1974, nr 3/4.

- [3] Omylińska B., Serwach A., Szewczyk J.: Zastosowania i zasady doboru do obiektu regulatorów bezpośredniego działania przepływu, ciśnienia i temperatury typu BRU i BTO. Technika Instalacyjna, 1974, nr 3/4.
- [4] Omylińska B., Serwach A.: Zastosowanie regulatorów przepływu, ciśnienia i temperatury typu BRU i BTO do automatyzacji węzłów ciepłych. Przegląd Techniki Polskiej, nr 6/74 w językach angielskim, francuskim i niemieckim .
- [5] Sikorski M.: Automatyczna regulacja instalacji centralnego ogrzewania zasilanych z sieci ciepłych poprzez węzły zmieszania pompowego i hydroelewatorowego. Materiały Konferencyjne VI Zjazdu Ogrzewników Polskich. Warszawa, listopad 1974, tom 1, referat 12.
- [6] Czajkowski M.: Stabilizacja warunków hydraulicznych w węzłach centralnego ogrzewania. Materiały Konferencyjne VI Zjazdu Ogrzewników Polskich, Warszawa, listopad 1974, tom 2, referat 27.