

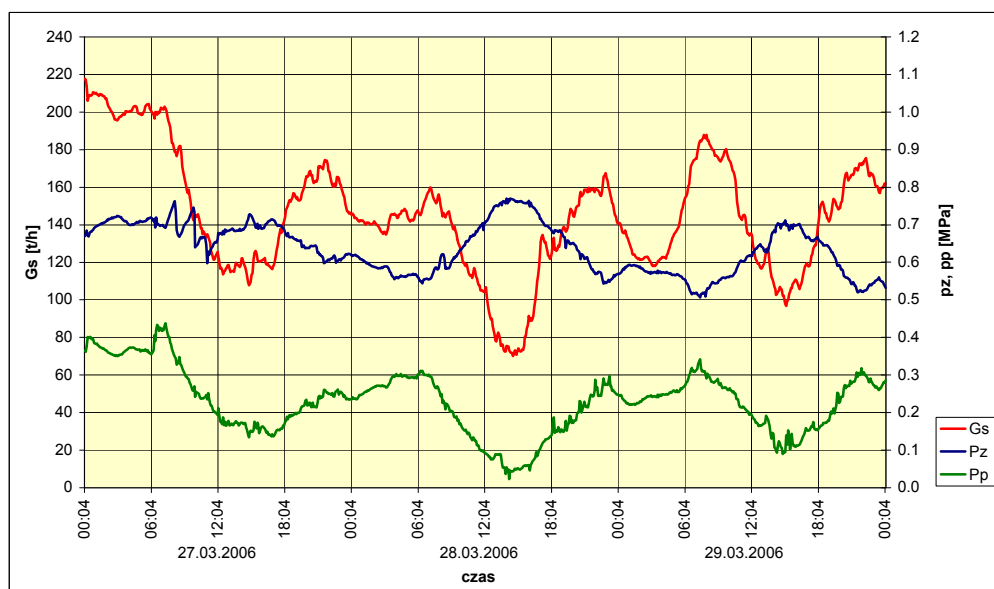
Jadwiga Bojek OBRC SPEC S.A.
Jerzy Gawęda OBRC SPEC S.A.

REGULATORY RÓŻNICY CIŚNIEŃ W KOMORACH CIEPŁOWNICZYCH JAKO CZYNNIK STABILIZUJĄCY PRACĘ REGULATORÓW RÓŻNICY CIŚNIEŃ I PRZEPŁYWU ZAINSTALOWANYCH W WĘZŁACH CIEPLNYCH

W referacie przedstawiono działania eksploatacyjne realizowane w SPEC S.A. mające na celu optymalizację warunków pracy dla regulatorów różnicy ciśnień i przepływu ($\Delta p/V$) zainstalowanych w węzłach cieplnych. Ograniczenie zmian ciśnienia dyspozycyjnego przed regulatorami $\Delta p/V$ sprzyja ich stabilnej pracy i dokładniejszemu utrzymywaniu zadanych nastaw.

1. Oscylacyjne działanie regulatorów różnicy ciśnień i przepływu ($\Delta p/V$) zainstalowanych w węzłach cieplnych

W rozległych systemach ciepłowniczych występują problemy z zapewnieniem stabilnych warunków ciśnieniowych w całym obszarze zasilania. Różnica ciśnień na wyjściu ze źródeł ciepła jest najczęściej utrzymywana na stałym poziomie, niezależnie od zmian natężenia przepływu wody sieciowej. Ciśnienie dyspozycyjne, w miarę stałe na wyjściu ze źródła ciepła, w miarę oddalania się od źródła zmienia się w coraz większym zakresie. Zmiana ciśnienia dyspozycyjnego w oddalonych rejonach sieci cieplnej, powodowana zmianami natężenia przepływu wody sieciowej jest nieunikniona. Zjawisko to nasila się szczególnie w okresie wiosennym, gdy nagłe zmiany temperatury zewnętrznej i nasłonecznienie powodują przemykanie się regulatorów pogodowych centralnego ogrzewania. *Rysunek 1* przedstawia zmiany ciśnienia w odgałęzieniu sieci ciepłowniczej w rurociągu zasilającym (pz) i w rurociągu powrotnym (pp) oraz zmiany natężenia przepływu wody sieciowej (Gs) spowodowane przemykaniem się regulatorów pogodowych centralnego ogrzewania.



Rysunek 1. Zmiana ciśnienia dyspozycyjnego w odgałęzieniu komory ciepłowniczej spowodowana przemykaniem się regulatorów pogodowych centralnego ogrzewania.

W tabeli 1 zestawiono uśrednione 5-minutowe wartości minimalne i maksymalne oraz wartości średniodobowe ciśnień, różnicy ciśnień, przepływu i temperatury zewnętrznej. Największa zmiana różnicy ciśnień (pz – pp) w ciągu doby wystąpiła w dn. 28.03.2006r.

W godzinach południowych (14:14) różnica ta wyniosła 0,74 MPa, a w godzinach rannych (6:24) była równa 0,23 MPa.

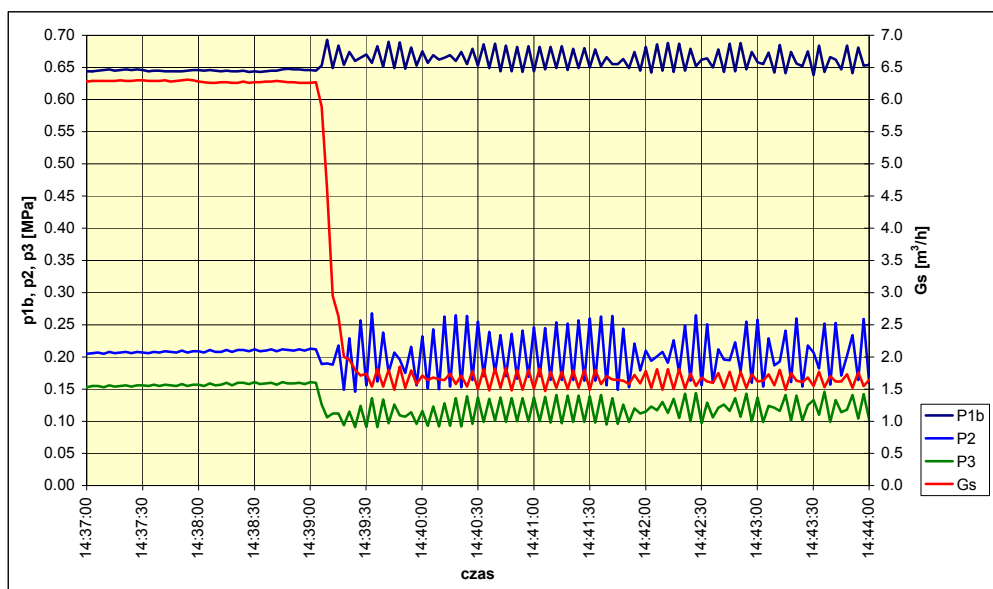
Tabela 1

data	pz [MPa]			pp [MPa]			pz – pp [MPa]			Gs [t/h]			tzew [°C]		
	max	min	śr.	max	min	śr.	max	min	śr.	max	min	śr.	max	min	śr.
27.03.2006	0,76	0,60	0,68	0,44	0,13	0,27	0,59	0,25	0,41	217,7	107,7	162,1	12,8	3,6	8,0
28.03.2006	0,77	0,54	0,64	0,31	0,02	0,19	0,74	0,23	0,45	167,4	70,1	129,5	15,7	5,7	10,5
29.03.2006	0,71	0,51	0,59	0,34	0,09	0,23	0,62	0,16	0,37	187,9	96,9	142,8	14	6,2	9,2

Przy zmniejszonym przepływie oraz podwyższonej różnicy ciśnień, zainstalowane w węzłach ciepłych regulatory różnicy ciśnień i natężenia przepływu przestają pracować w swoim optymalnym zakresie działania. Duża różnica ciśnień oraz małe natężenie przepływu powodują, że regulatory $\Delta p/V$ pracują przy stopniu otwarcia poniżej 10% pełnego skoku. Przy tak małym stopniu otwarcia niektóre z regulatorów pracują niestabilnie i wywołują występowanie drgań i hałasów w węzłach ciepłych. Oscylacje ciśnień powodują drgania elementów węzła ciepłego oraz uszkodzenia manometrów.

Oscylacyjną pracę regulatora różnicy ciśnień i przepływu, zarejestrowaną w pomiarowym węźle ciepłym, przedstawia rysunek 2 z przebiegami zmienności następujących parametrów:

- p1b – ciśnienie przed regulatorem $\Delta p/V$,
- p2 – ciśnienie za regulatorem $\Delta p/V$,
- p3 – ciśnienie na powrocie z węzła w miejscu podłączenia rurki impulsowej regulatora $\Delta p/V$,
- Gs – natężenie przepływu wody sieciowej.



Rysunek 2. Oscylacje ciśnienia i przepływu wody sieciowej w węźle ciepłym.

Przedstawiona na rysunku 2 zmienność parametrów (amplituda i częstotliwość oscylacji) są znacznie zaniżone w stosunku do rzeczywistych zmian, gdyż parametry rejestrowane były z częstością co 3 s, natomiast okres oscylacji parametrów był krótszy niż 3 s. Przykładowo rzeczywiste zmiany ciśnienia za regulatorem (p2) wynosiły od 0,05 do

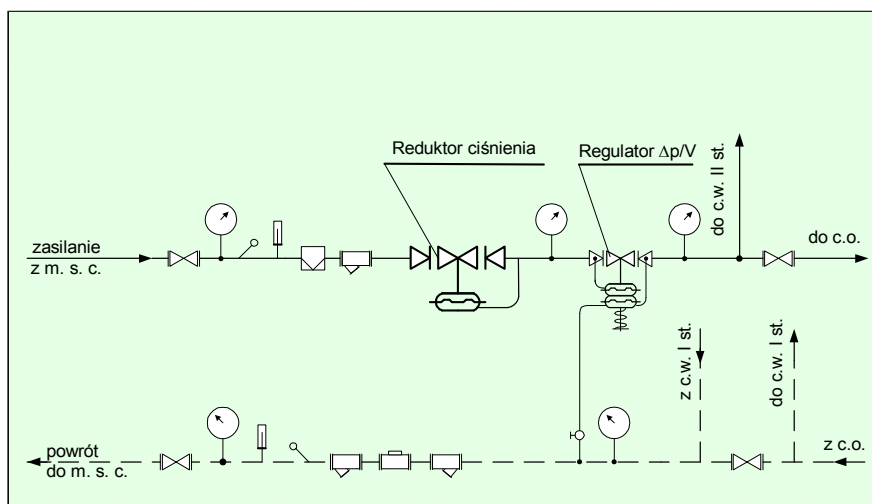
0,35 MPa, gdy zarejestrowane wartości tego parametru zmieniają się w zakresie od 0,15 do 0,25 MPa.

Metodą zalecaną przez OBRC SPEC S.A. do doraźnego stosowania w węzłach ciepłych, w których występują drgania i hałasy, jest instalowanie zaworu dławiącego w rurce impulsowej, przenoszącej impuls ciśnienia z rurociągu powrotnego do siłownika membranowego regulatora $\Delta p/V$. Zwiększenie oporu przepływu w rurce impulsowej powoduje zmniejszenie szybkości reakcji regulatora na zmiany różnicy ciśnień i wy tłumienie oscylacji własnych regulatora.

W celu zabezpieczenia regulatorów $\Delta p/V$ przed pracą przy bardzo małym stopniu otwarcia i wywoływaniem niekorzystnych zjawisk w węzłach ciepłych powinno się instalować urządzenia obniżające ciśnienie dyspozycyjne przed regulatorem $\Delta p/V$. Można stosować jedno z następujących rozwiązań:

- montaż w węzłach ciepłych reduktorów ciśnienia, obniżających ciśnienie przed regulatorami $\Delta p/V$,
- montaż w komorach ciepłowniczych regulatorów różnicy ciśnień, obniżających ciśnienie dyspozycyjne w odgałęzieniach sieci ciepłowniczej.

Reduktor ciśnienia zainstalowany w rurociągu zasilającym węzeł ciepły, przed regulatorem różnicy ciśnień i natężenia przepływu, przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Schemat zabudowy reduktora ciśnienia w węźle ciepłym.

Zadaniem reduktora ciśnienia jest obniżenie ciśnienia przed regulatorem $\Delta p/V$ do nastawionej wartości. Powoduje to zmniejszenie różnicy ciśnień, przy której pracuje regulator $\Delta p/V$. Nie zapewnia to jednak pracy regulatora $\Delta p/V$ przy stałej różnicy ciśnień, ponieważ ciśnienie na powrocie zmienia się. Dodatkowo, gdy wartość ciśnienia w rurociągu powrotnym wzrośnie do wartości nastawionej na reduktorze ciśnienia, reduktor zamyka się i odcina dopływ wody sieciowej do węzła.

W SPEC S.A. zainstalowano w 2002 r. reduktory ciśnienia w 22 węzłach ciepłych usytuowanych w rejonie o ciśnieniu dyspozycyjnym w sieci ciepłowniczej powyżej 0,6 MPa ($p_z = 0,9$ MPa, $p_p = 0,2...0,3$ MPa). W większości węzłów ciepłych, po uruchomieniu reduktorów i nastawieniu ciśnienia regulowanego na poziomie 0,6 MPa, drgania i hałasy ustąpiły. Niestety, w niektórych węzłach ciepłych, zwłaszcza przy obniżeniu się ciśnienia w rurociągu powrotnym sieci ciepłowniczej poniżej wartości 0,1 MPa, konieczne było obniżenie nastawy reduktorów ciśnienia do wartości 0,5 MPa. Przy wzroście ciśnienia na powrocie do wartości powyżej 0,3 MPa, nastawiona wartość ciśnienia regulowanego w niektórych węzłach ciepłych była za niska dla prawidłowej pracy węzła. Po zebraniu doświadczeń z eksploatacji za-

instalowanych 22 reduktorów ciśnienia, podjęto decyzję o nierozszerzaniu stosowania reduktorów ciśnienia w SPEC S.A. Za rozwiązanie bardziej skuteczne i ekonomiczne niż stosowanie reduktorów ciśnienia w węzłach cieplnych uznano w SPEC S.A. montaż regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych.

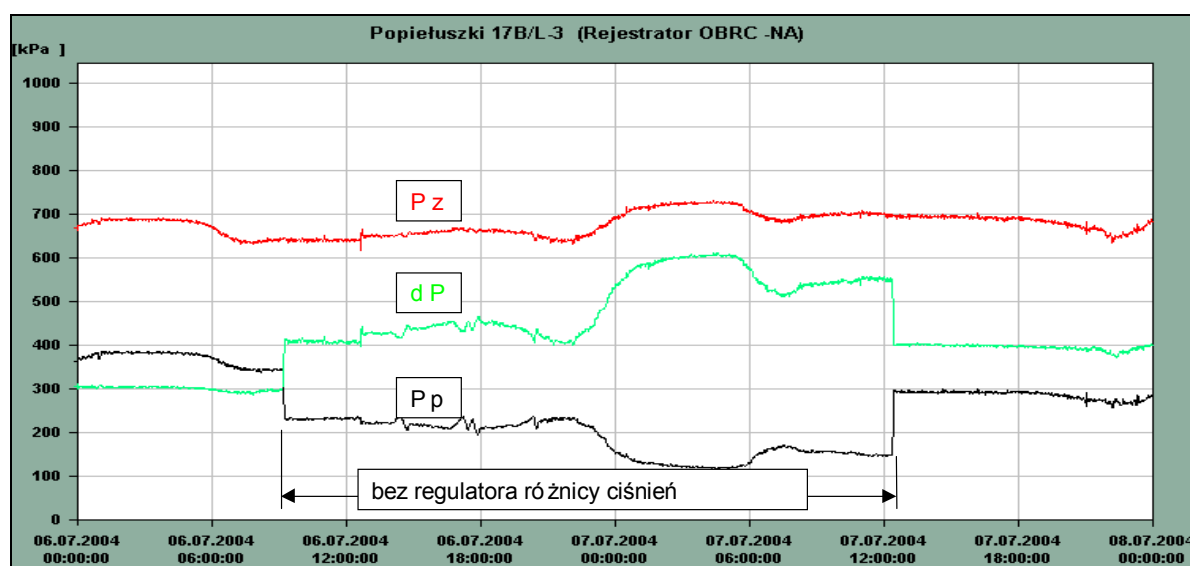
2. Montaż regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych

Decyzję o szerokim zastosowaniu regulatorów różnicy ciśnień w odgałęzieniach komór ciepłowniczych poprzedzono odpowiednimi badaniami. W 2004 r. przeprowadzono badania eksploatacyjne regulatora pilotowego różnicy ciśnień [2], a w 2006 r. badania regulatora różnicy ciśnień w wersji klasycznej [3]. W 2006 r. wykonano badania współpracy regulatorów różnicy ciśnień w pierścieniowym układzie zasilania sieci ciepłowniczej.

Z przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

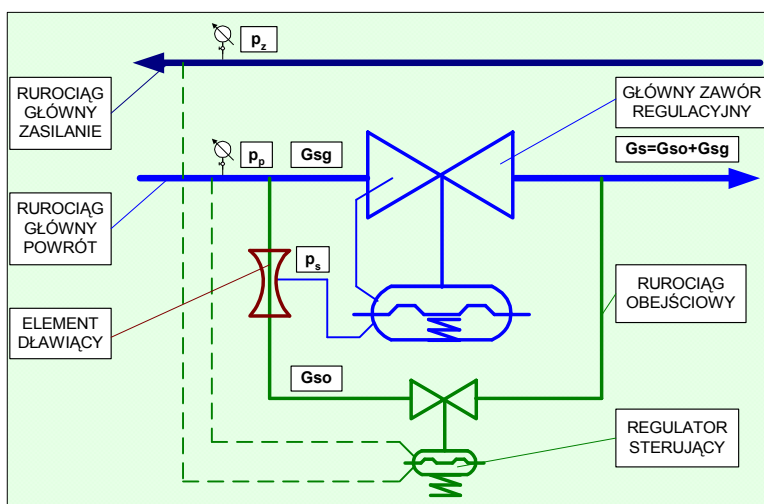
- 1) Zastosowanie regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych zapewnia obniżenie i stabilizację różnicy ciśnień w odgałęzieniach sieci ciepłowniczej, co przeciwdziała występowaniu drgań i hałasów w węzłach cieplnych.
- 2) Lepsze efekty stabilizacji różnicy ciśnień osiąga się przy zastosowaniu pilotowych regulatorów różnicy ciśnień niż przy zastosowaniu regulatorów w wersji klasycznej. Regulator pilotowy umożliwia dokładną regulację również przy małych wartościach natężenia przepływu wody sieciowej.
- 3) Regulatory różnicy ciśnień mogą być stosowane w pierścieniowym układzie zasilania sieci ciepłowniczej (2 regulatory w pierścieniu, zasilanym z tej samej magistrali).

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy przebieg zmienności ciśnień na odgałęzieniu komory T-15 bez regulatora i z regulatorem różnicy ciśnień, przy nastawie 0,30 MPa i 0,40 MPa.



Rysunek 4. Przebieg ciśnień w odgałęzieniu komory ciepłowniczej z regulatorem i bez regulatora różnicy ciśnień

Schemat ideowy działania pilotowego regulatora różnicy ciśnień przedstawia rysunek 5. Regulator pilotowy jest urządzeniem składającym się z dwóch zaworów regulacyjnych: głównego i sterującego (rysunek 5). Główny zawór regulacyjny jest regulatorem o dużej średnicy, instalowanym w rurociągu powrotnym odgałęzienia. Regulator sterujący (regulator różnicy ciśnień o małej średnicy np. DN25) jest instalowany w rurociągu obejściowym, w którym jest również zainstalowany element dławiący typu dysza Venturiego.



Rysunek 5. Schemat ideowy pilotowego regulatora różnicy ciśnień.

Przy małym przepływie woda sieciowa przepływa jedynie przez rurociąg obejściowy (Gso). Na elemencie dławiącym tworzy się względne podciśnienie (ps) w odniesieniu do ciśnienia wejściowego (pp). Różnica ciśnień (pp – ps), zależna od natężenia przepływu wody sieciowej przepływającej przez rurociąg obejściowy, jest przenoszona rurkami impulsowymi do napędu membranowego głównego zaworu regulacyjnego. Dopóki ta różnica ciśnień jest mniejsza od określonej wartości, sprężyna napędu membranowego utrzymuje zawór główny w pozycji zamkniętej ($G_{sg} = 0$) i układ jest regulowany jedynie poprzez regulator sterujący umieszczony w rurociągu obejściowym. Powyżej określonego przepływu granicznego w rurociągu obejściowym i związanej z nim różnicy ciśnień powstającej na elemencie dławiącym, zawór główny włącza się płynnie do regulacji.

Przykład montażu regulatora pilotowego w komorze ciepłowniczej przedstawia fotografia 1.



Fotografia 1. Pilotowy regulator różnicy ciśnień zainstalowany w komorze ciepłowniczej.

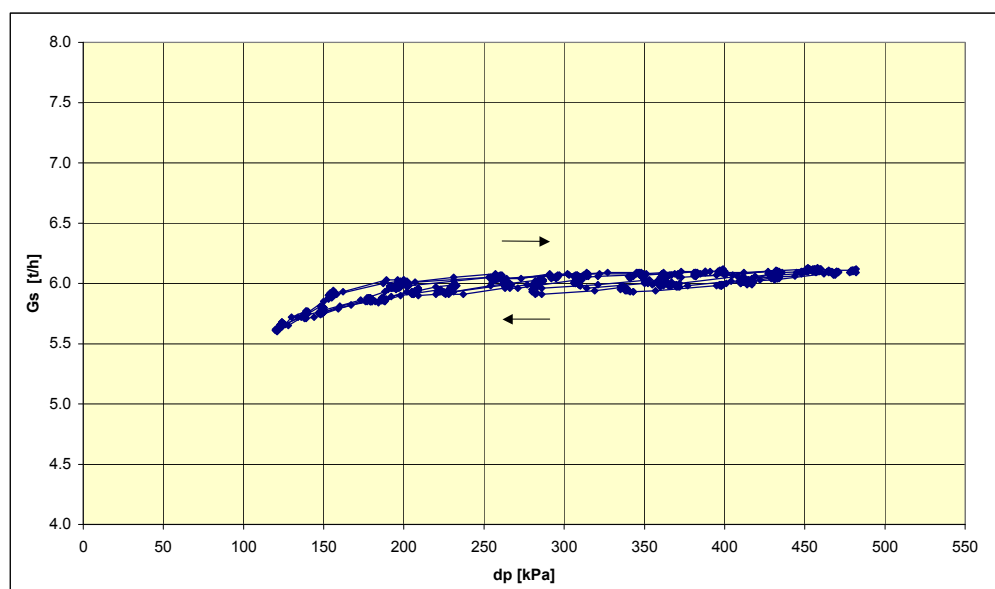
W SPEC S.A. zainstalowano w latach 2004-2007 42 szt. regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych, w tym 28 szt. w wersji pilotowej. Największe z zainstalowanych regulatorów mają wielkość DN150 (wersja pilotowa, 4 szt.), a najmniejszy to DN25 (wersja klasyczna, 1 szt.). Pod koniec 2008 roku wykonano kontrolę pracy 28 regulatorów [6]. Kontrola wykazała, że wszystkie regulatory utrzymywały zadaną różnicę ciśnień ustaloną przy rozruchu regulatora, z zadawalającą dokładnością $\pm 0,01$ MPa.

Pod koniec 2008 roku zainstalowano kolejne 34 szt. regulatorów różnicy ciśnień, w tym 22 szt. w wersji pilotowej. Tak więc na koniec 2008 r. w warszawskim systemie ciepłowniczym zainstalowanych jest 76 regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych. W pierwszym etapie wdrożenia regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych (w latach 2004-2005), na rynku były dostępne pilotowe regulatory różnicy ciśnień tylko w zakresie średnic od DN100. Poniżej DN100 konieczne więc było stosowanie regulatorów różnicy ciśnień w wersji klasycznej. Aktualnie pilotowe regulatory są oferowane w zakresie średnic nominalnych od DN65. Umożliwia to zastosowanie w komorach ciepłowniczych regulatorów pilotowych, o lepszych właściwościach regulacyjnych w stosunku do regulatorów w wersji klasycznej, już od średnicy nominalnej DN65. Dodatkową zaletą pilotowych regulatorów różnicy ciśnień są ich mniejsze wymiary niż regulatorów w wersji klasycznej, co jest szczególnie przydatne przy montażu w komorach ciepłowniczych.

3. Wpływ stabilizacji ciśnienia dyspozycyjnego na dokładność utrzymywania zadanych nastaw regulatorów różnicy ciśnień i przepływu ($\Delta p/V$)

Ograniczenie zmian ciśnienia dyspozycyjnego przed regulatorem ($\Delta p/V$) wpływa pozytywnie na jego dokładność regulacji. Mała zmiana ciśnienia dyspozycyjnego przed regulatorem różnicy ciśnień i przepływu powoduje małe zmiany stopnia otwarcia regulatora. Im mniejsze zmiany stopnia otwarcia regulatora tym mniejsze zmiany wartości regulowanej. Wynika to z zasady działania regulatorów $\Delta p/V$. Regulatory różnicy ciśnień i natężenia przepływu stosowane w systemach ciepłowniczych są regulatorami bezpośredniego działania, tzn. wykorzystującymi energię czynnika regulowanego do zmiany stopnia otwarcia zaworu regulacyjnego. Dokładność regulacji różnicy ciśnień i natężenia przepływu zależą od zakresu proporcjonalności (zmiany wartości wielkości regulowanej potrzebnej do wykonania pełnego skoku grzyba zaworu).

Rysunek 6 przedstawia zmienność ograniczenia przepływu przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego, a rysunek 7 przedstawia zmienność ograniczenia przepływu w funkcji skoku zaworu dla przykładowego regulatora różnicy ciśnień i przepływu Nr 1 (o górnej wartości zakresu nastaw przepływu 8 m³/h) [1].



Rysunek 6. Zmienność ograniczenia przepływu przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego dla przykładowego regulatora różnicy ciśnień i przepływu Nr 1

Przedstawiony na rysunku 7 stopień otwarcia zaworu regulacyjnego (h) nie był mierzony bezpośrednio przyrządem mierniczym, ale został wyliczony ze wzoru:

$$h = \frac{10 \times G_s}{K_{vs} \sqrt{p_{1b} - p_2 - \Delta p_w}} \times 100 \quad [1]$$

gdzie:

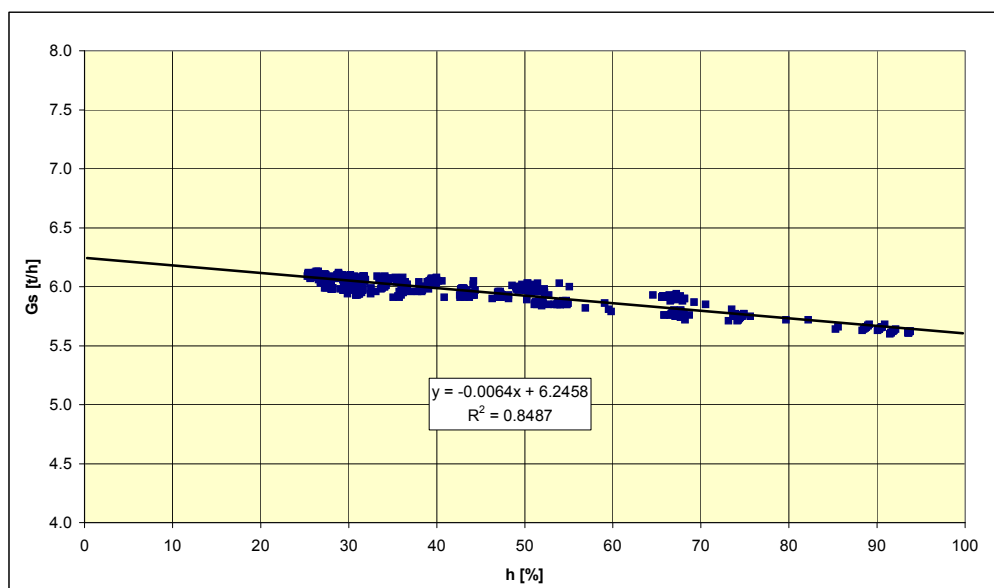
G_s - natężenie przepływu wody sieciowej przez regulator $\Delta p/V$ w t/h,

p_{1b} - ciśnienie w rurociągu zasilającym wody sieciowej przed regulatorem $\Delta p/V$ w kPa,

p_2 - ciśnienie w rurociągu zasilającym wody sieciowej za regulatorem $\Delta p/V$ w kPa,

Δp_w - spadek ciśnienia na dławiku regulatora $\Delta p/V$ w kPa.

Zmiana skoku zaworu regulacyjnego była wywoływana poprzez zmianę ciśnienia przed regulatorem (p_{1b}).



Rysunek 7. Zmienność ograniczenia przepływu w funkcji skoku zaworu dla przykładowego regulatora różnicy ciśnień i przepływu Nr 1.

Z rysunku 7 wynika, że zakres proporcjonalności członu ograniczenia przepływu przykładowego regulatora wynosi 8% górnej wartości zakresu nastawy. Jest to bardzo dobra dokładność regulacji, spełniająca wymagania techniczne SPEC S.A. [4] Uwzględniając fakt, że praca regulatorów nie odbywa się przy pełnym zakresie zmian stopnia otwarcia (od 0 do 100%), dokładność tą uważa się za wystarczającą dla zapewnienia przyjętych standardów dostawy ciepła. Zgodnie z warunkami umowy, odchylenie od wartości obliczeniowej, średniego w okresie doby natężenia przepływu nośnika ciepła dostarczanego do węzła cieplnego, nie powinno przekraczać +5% i -5% (przy całkowicie otwartych zaworach regulacyjnych c.o. i c.w.).

Niestety nie wszystkie regulatory $\Delta p/V$ zapewniają tak dobrą dokładność regulacji. Sygnały dochodzące z eksploatacji, o dużych zmianach ograniczenia przepływu w stosunku do nastawionych wartości, skłoniły Pracownię Automatyki OBRC do przeprowadzenia badań eksploatacyjnych reprezentatywnej próbki z kilkunastu tysięcy regulatorów zainstalowanych w węzłach cieplnych SPEC S.A. W latach 2007 i 2008 przeprowadzono badania eksploatacyjne 4 nowych regulatorów różnicy ciśnień i przepływu oraz 20 regulatorów pracujących w węzłach cieplnych SPEC S.A. od kilku do kilkunastu lat. Łącznie wyznaczono 68 charakterystyk zmienności ograniczenia przepływu przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego w zakresie od 200 do 600 kPa. Badaniom poddano regulatory $\Delta p/V$ następujących producentów: firmy Samson (12 szt.), firmy IWK (3 szt.), firmy Danfoss (9 szt.).

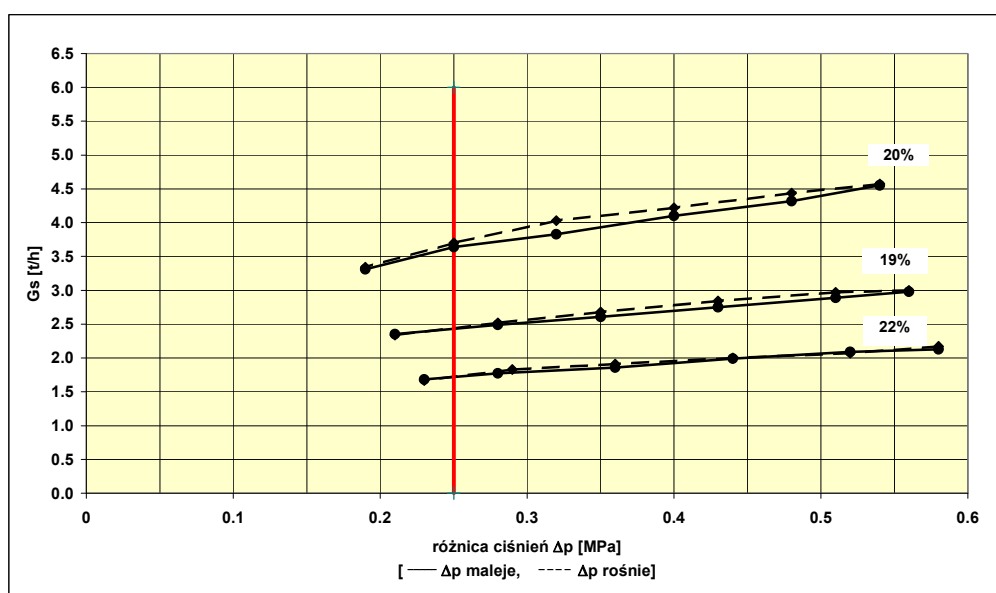
Czas eksploatacji badanych regulatorów wynosił:

17 lat - 1 szt.	11 lat - 3 szt.
15 lat - 4 szt.	10 lat - 1 szt.
14 lat - 4 szt.	3 lata - 3 szt.
13 lat - 1 szt.,	2 lata - 1 szt.
12 lat - 2 szt.	nowy - 4szt

Odchyłka ograniczanego przepływu od początkowej nastawy dla przebadanych regulatorów wynosiła:

do 5 %	- dla 15% wyznaczonych charakterystyk,
od 6% do 10%	- dla 43% wyznaczonych charakterystyk,
od 11% do 15%	- dla 22% wyznaczonych charakterystyk,
od 16% do 20%	- dla 16% wyznaczonych charakterystyk,
od 21% do 22%	- dla 4% wyznaczonych charakterystyk

Na rysunku 8 przedstawiono zmienność ograniczenia przepływu przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego dla przykładowego regulatora różnicy ciśnień i przepływu Nr 2, którego odchyłki ograniczanego przepływu od początkowej nastawy były największe (o górnej wartości zakresu nastaw przepływu $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$) [5].



Rysunek 8. Zmienność ograniczenia przepływu przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego dla przykładowego regulatora różnicy ciśnień i przepływu Nr 2.

Charakterystyki przedstawione na *rysunku 8* zostały wyznaczone dla trzech wartości nastawy ograniczenia przepływu:

- dla wartości o około 30% mniejszej od obliczeniowej dla danego węzła. ($2,1 \text{ t/h}$),
- dla wartości obliczeniowej dla danego węzła ($3,0 \text{ t/h}$),
- dla wartości o około 50% większej od obliczeniowej dla danego węzła ($4,6 \text{ t/h}$).

Zmiany dyspozycyjnej różnicy ciśnień w węźle (Δp) były realizowane poprzez dławienie głównym zaworem odcinającym na zasilaniu węzła. Nastawa ograniczenia przepływu była wykonana przy maksymalnej dyspozycyjnej różnicy ciśnień. Ciśnienie na zasilaniu było obniżane co około $0,1 \text{ MPa}$ do wartości około $0,2 \text{ MPa}$, a następnie zwiększane do wartości

maksymalnej. Maksymalną odchyłkę ΔG_s (dokładność regulacji) od nastawy przepływu obliczono wg wzoru:

$$\Delta G_s = \frac{G_{s_{\max}} - G_{s_{\min}}}{G_{s_{\text{nom}}}} \times 100\% \quad /2/$$

gdzie:

$G_{s_{\max}}$ – maksymalne natężenie przepływu wody sieciowej,

$G_{s_{\min}}$ – minimalne natężenie przepływu wody sieciowej, wyznaczone dla dyspozycyjnej różnicy ciśnień $\Delta p = 0,25$ MPa,

$G_{s_{\text{nom}}}$ – nastawa ograniczenia przepływu wody sieciowej.

4. Wnioski

- 1) Z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych wynika, że dokładność regulacji przepływu jest bardzo różna i zawiera się w granicach od 3 do 22% nastawy początkowej (przy zmianie ciśnienia dyspozycyjnego w zakresie od 200 do 600 kPa). Dokładność regulacji nie jest wprost uzależniona od producenta, typu regulatora i lat pracy.
- 2) Instalowanie regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych w celu ograniczenia zmian ciśnienia dyspozycyjnego w odgałęzieniach sieci ciepłowniczej wywiera niewątpliwie pozytywny wpływ na pracę regulatorów różnicy ciśnień i przepływu zainstalowanych w węzłach cieplnych. Mniejsze zmiany ciśnienia dyspozycyjnego w odgałęzieniach sieci ciepłowniczej to:
 - dokładniejsza regulacja różnicy ciśnień i przepływu regulatorów $\Delta p/V$ zainstalowanych w węzłach cieplnych,
 - stabilna praca regulatorów $\Delta p/V$ i zabezpieczenie przed występowaniem drgań i hałasów w węzłach cieplnych (potwierdzają to opinie mistrzów obwodów kubaturowych SPEC S.A.).

Literatura

1. Bojek Jadwiga „Badania eksploatacyjne regulatorów różnicy ciśnień i przepływu w zakresie dokładności regulacji.” Opracowanie OBRC z listopada 2007 r. nr arch. 3141/07
2. Gawęda Jerzy „Opracowanie koncepcji szerszego wdrożenia w w.s.c. regulatorów pilotowych (w oparciu o przeprowadzone badania eksploatacyjne)” Etap I – „Badania eksploatacyjne regulatora pilotowego różnicy ciśnień” Opracowanie OBRC z maja 2004 r. nr arch. 2779/04.
3. Gawęda Jerzy „Wdrożenie regulatorów różnicy ciśnień w w.s.c.” Etap III „Analiza pracy regulatora różnicy ciśnień w wersji klasycznej”. Etap IV – „Analiza współpracy regulatorów różnicy ciśnień w pierścieniowym układzie zasilania sieci ciepłowniczej”. Opracowanie OBRC z czerwca 2006 r. nr arch. 2999/06.
4. Gawęda Jerzy „Wymagania techniczne dla elementów automatyki węzłów cieplnych” Opracowanie OBRC z października 2006 r. nr arch. 3030/06.
5. Gawęda Jerzy „Badania eksploatacyjne regulatorów różnicy ciśnień i przepływu nowych oraz po kilku latach eksploatacji.” Opracowanie OBRC z października 2008 r. nr arch. 3241/08.
6. Gawęda Jerzy „Analiza efektów zainstalowania 76 szt. regulatorów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych” – Etap 1. Opracowanie OBRC z grudnia 2008 r. nr arch. 3270/08.