

Jerzy GRYCHOWSKI, Jan BARTOSZ,  
Augustyn STANIEK

## CHARAKTERYSTYKA PRACY ZAWORÓW MEMBRANOWEGO I PRZEWODOWEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zaworów redukcyjnych typu membranowego i przewodowego. Zawory redukcyjne tego typu są stosowane w kopalniach w celu zmniejszenia ciśnienia wody doprowadzanej do wyrobisk z powierzchni kopalni. Badania przeprowadzono na modelu umożliwiającym zmianę cech geometrycznych oraz parametrów pracy. Wyniki badań oraz opracowane wnioski umożliwiają dalszą optymalizację zaworów redukcyjnych tego typu.

### 1. Wstęp

Proces wydobywania węgla z kopalni, a także stała groźba powstania pożaru w wyrobiskach wymaga doprowadzenia wody w celu ograniczenia zapylenia i gaszenia pożaru. Woda podawana jest zwykle z powierzchni kopalni i doprowadzana do wyrobisk specjalną instalacją. Obecnie w związku z coraz większymi głębokościami, z których wydobywa się węgiel (poniżej 1000 m), instalacje doprowadzające wodę muszą być wyposażone w urządzenia redukujące wysokie ciśnienie, do ciśnienia około  $16 \cdot 10^5$  Pa stosowanego obecnie w kopalniach. W tym celu stosuje się zbiorniki na poziomach pośrednich oraz reduktory ciśnienia zwane zaworami redukcyjnymi. Pierwszy ze sposobów redukcji ciśnienia stosowany jest głównie w kopalniach, gdzie głębokość eksploatowanych pokładów nie jest duża. Drugi sposób stosowany jest w kopalniach głębszych. Niekiedy stosowane są instalacje zasilane wodą pochodzącą z wyrobisk na poziomach pośrednich. Nie zawsze warunki naturalne pozwalają na stosowanie tego sposobu. Woda znajdująca się w instalacji może zawierać drobne zanieczyszczenia mechaniczne.

W przypadku stosowania zaworów redukcyjnych, na rurociągu buduje się węzeł redukcyjny. Węzeł redukcyjny składa się z dwu odcinków przewodów połączonych równolegle. Na każdym odcinku znajdują się: zasuwa, zawór redukcyjny i zawór bezpieczeństwa. Ze względu na konstrukcję zawory redukcyjne obecnie stosowane można podzielić na następujące typy:

- zawory redukcyjne tłokowe,
- zawory redukcyjne sprężynowe,
- zawory redukcyjne membranowe.

Własnościami omówionymi powyżej charakteryzuje się zaproponowany przez autorów zawór redukcyjny przewodowy. Celem wykazania zalet zaworu redukcyjnego przewodowego wykonano jego badania i porównano je z wynikami zaworu redukcyjnego membranowego.

Na podstawie analizy konstrukcji stosowanych obecnie zaworów redukcyjnych można wyróżnić pewne własności, którymi powinien odznaczać się zawór redukcyjny stosowany w kopalniach.

Jak wspomniano, zawór redukcyjny instalowany jest w węźle redukcyjnym. Gdy stosowany zawór może pracować tylko w układzie poziomym, wówczas węzeł redukcyjny jest bardzo rozbudowany. Dlatego konstruując zawór należy zapewnić możliwość pracy zaworu zabudowanego na rurociągu pionowym. Również korzystną własnością zaworu jest możliwość regulacji stopnia redukcji. Pożądane jest, aby zmiana stopnia redukcji odbywała się w sposób ciągły i bez konieczności demontażu zaworu. Ponieważ w wodzie mogą występować drobne zanieczyszczenia mechaniczne, dlatego konstrukcja zaworu powinna uwzględniać ten fakt. Szczególnie trafnie musi być rozwiązane dławienie cieczy w zaworze.

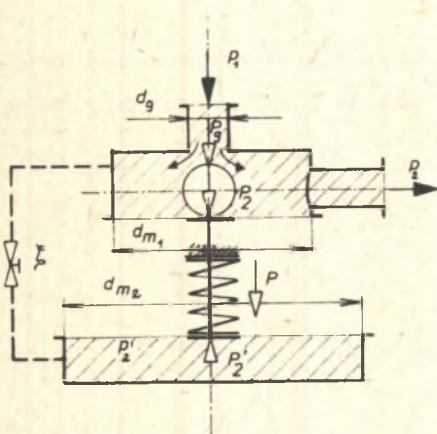
Zawór redukcyjny nie zawsze pracuje w sposób ciągły. W tym przypadku wobec braku przepływu cieczy należy spodziewać się powolnego wzrostu ciśnienia w instalacji po stronie niskiego ciśnienia. Wzrost ten wynika z nieuniknionych przecieków. Dlatego należy zawór lub instalację zabezpieczyć dodatkowym zaworem bezpieczeństwa.

## 2. Zasada działania badanych zaworów

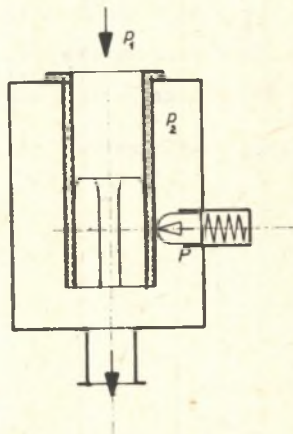
W celu porównania własności zaworu membranowego oraz przewodowego wykonano badania specjalnej konstrukcji zaworu modelowego. Model zaworu umożliwia zmianę szeregu cech geometrycznych oraz parametrów pracy. Ważniejsze elementy modelu zostały skonstruowane w ten sposób, że możliwe było badanie obu typów zaworów przy małej liczbie części zamiennych. Podczas badań stosowano mniejsze ciśnienia jak w rzeczywistych układach ze względu na układ pompowy, jakim dysponowano w laboratorium.

W pierwszym etapie badań mierzono charakterystyki zaworu membranowego. Układ konstrukcyjny jest charakterystyczny dla zaworu typu membranowego. W górnej części znajdują się elementy dławiące: tuleja i osadzona na trzpieniu kula. Aby oddzielić elementy zaworu od strumienia cieczy mogącej zawierać zanieczyszczenia mechaniczne, zastosowano dwie membrany. Średnice membran zostały tak dobrane, aby wypadkowa siła skierowana była w kierunku zamykania zaworu. Dla uzyskania płynnej regulacji stopnia redukcji zastosowano sprężynę osadzoną na trzpieniu. Na przewodzie łączącym górną i dolną komorę umieszczono zawór dławiący. Zawór dławiący poprawia stabilność pracy. W czasie pracy zaworu na elementy ruchome działa układ sił przedstawiony na rysunku 1. Są to siły: pochodzące od działania ciś-

nień  $p_2$  i  $p_2^*$  na membrany, od działania sprężyny oraz napór strumienia cieczy na kulę. Przez  $p_2$  i  $p_2^*$  oznaczono ciśnienie cieczy wypełniającej komorę górną i dolną zaworu.



Rys. 1. Bilans sił działających na trzpień zaworu membranowego



Rys. 2. Ciśnienie działające na element dławiący zaworu przewodowego

W drugim etapie badań wyznaczono charakterystyki zaworu przewodowego. Zawór redukcyjny przewodowy stanowi nowe rozwiązanie zaworu redukcyjnego. Elementem dławiącym zaworu jest przewód elastyczny współpracujący z odpowiedniego kształtu wkładem. Zestaw obu współpracujących ze sobą elementów jest objęty patentem [1]. W czasie pracy zaworu ciecz znajdująca się w rurociągu wysokiego ciśnienia dopływa do przewodu elastycznego i przestrzeniami utworzonymi pomiędzy profilowanym wkładem a wewnętrzną powierzchnią przewodu dostaje się do przewodu niskiego ciśnienia. Gdy ciśnienie po stronie niskiego ciśnienia zmniejszy się, następuje dalsze odchylenie przewodu elastycznego od wkładu i możliwy jest wzrost natężenia przepływu cieczy aż do momentu ustalenia się nowych warunków równowagi. Schematycznie zawór ten przedstawiono na rysunku 2. Regulację stopnia redukcji umożliwia zestaw sprężyn i trzpieni dociskających wstępnie przewód do profilowanego wkładu.

### 3. Program i wyniki badań

#### 3.1. Zawór redukcyjny membranowy

Zgodnie ze schematem na rysunku 1, w momencie otwarcia zaworu obowiązuje równanie:

$$P_g + P + P_{m1} - P_{m2} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$P_g$  [N] - siła oddziaływania cieczy na kulę,

$P$  [N] - siła działania sprężyny,

$P_{m1}$  [N] - siła wynikająca z działania ciśnienia  $p_2$  na membranę górną,

$P_{m2}$  [N] - siła wynikająca z działania ciśnienia  $p_2'$  na membranę dolną.

Wprowadzając oznaczenia:

$$\delta_g = \left(\frac{d_g}{d_{m2}}\right)^2 \quad (2)$$

$$\delta_m = \left(\frac{d_{m1}}{d_{m2}}\right)^2 \quad (3)$$

$$\mathcal{K} = \frac{P}{P_{m2}} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{p_1}{p_2} \quad (5)$$

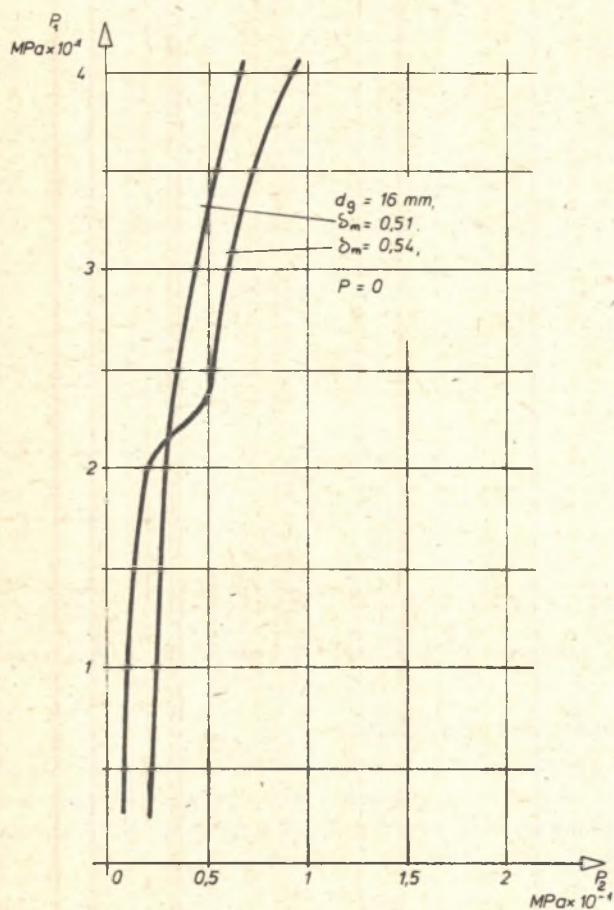
można równanie (1) zapisać w postaci:

$$\text{stopień redukcji} \quad \rho = \frac{1 - \delta_m - \mathcal{K}}{\delta_g} \quad (6)$$

Badania [2] obejmowały pomiar ciśnienia przed zaworem oraz w obu komorach zaworu, ponadto mierzono natężenie przepływu cieczy i położenie trzpienia zaworu w stosunku do gniazda zaworu. Powyższe pomiary wykonywano dla różnych wartości bezwymiarowych współczynników podanych powyżej. Typową charakterystykę otrzymaną w wyniku badań przedstawia rysunek 3.

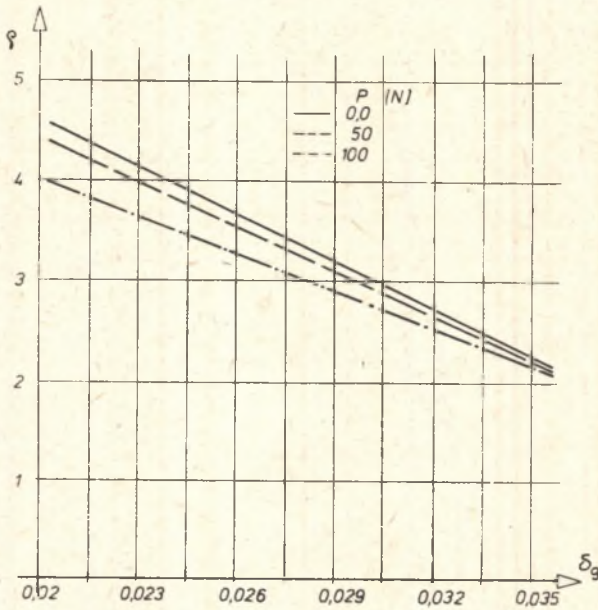
Jak wynika z wykresu charakterystykę można podzielić na trzy części: liniowy odcinek początkowy, odcinek przejściowy i odcinek charakterystyki znajdujący się w obszarze wysokich ciśnień. Odcinek przejściowy charakteryzuje się przegięciem charakterystyki. Jak wykazały badania, jest to wynikiem zmiany kierunku wygięcia membrany.

Ponieważ zmiana kierunku wygięcia membrany nie zawsze odbywa się w tym samym położeniu trzpienia zaworu, stąd odcinek ten jest różnie usytuowany na różnych charakterystykach. Wyniki badań przedstawiono na wykresie w układzie współrzędnych bezwymiarowych. Wykres na rysunku 4 wykonano biorąc



Rys. 3. Charakterystyka zaworu membranowego

dane z części charakterystyk znajdujących się poza punktem przegięcia. Z wykresu wynika że stopień redukcji wyraźnie zależy od cech geometrycznych zaworu, którymi są: czynna powierzchnia membran i gniazda zaworu. Zmianę warunków pracy oraz stopnia redukcji można uzyskać przez zmianę napięcia sprężyny regulacyjnej (siła  $P$ , na rys. 4). Wzrost napięcia sprężyny zmniejsza stopień redukcji. Wpływ ten jest bardziej wyraźny w zakresie mniejszych wartości zredukowanej średnicy gniazda zaworu  $\delta_g$ . Podobny wpływ ma wartość zredukowanej średnicy membran  $\delta_m$ . Wykres podany na rysunku 4 obowiązuje dla wartości zredukowanej średnicy membran od  $\delta_m = 0,50$  do  $0,56$ . W badaniach stwierdzono wyraźny wpływ dławienia zaworem umieszczonym na przewodzie łączącym obie komory; przez odpowiednie zdławienie cieczy można uzyskać bardziej stabilną pracę zaworu i wyłubić drgania trzpienia.



Rys. 4. Charakterystyka bezwymiarowa zaworu membranowego

### 3.2. Zawór redukcyjny przewodowy

Na przewód elastyczny zaworu przewodowego działają siły pochodzące od (rys. 2): ciśnienia wewnątrz przewodu, ciśnienia w komorze zaworu, napięcia sprężyn regulacyjnych i elastyczności przewodu. Siły powyższe powodują odkształcanie przewodu zgodnie z bilansem sił:

$$P_2 + P - P_1 - P_r = 0 \quad (7)$$

gdzie:

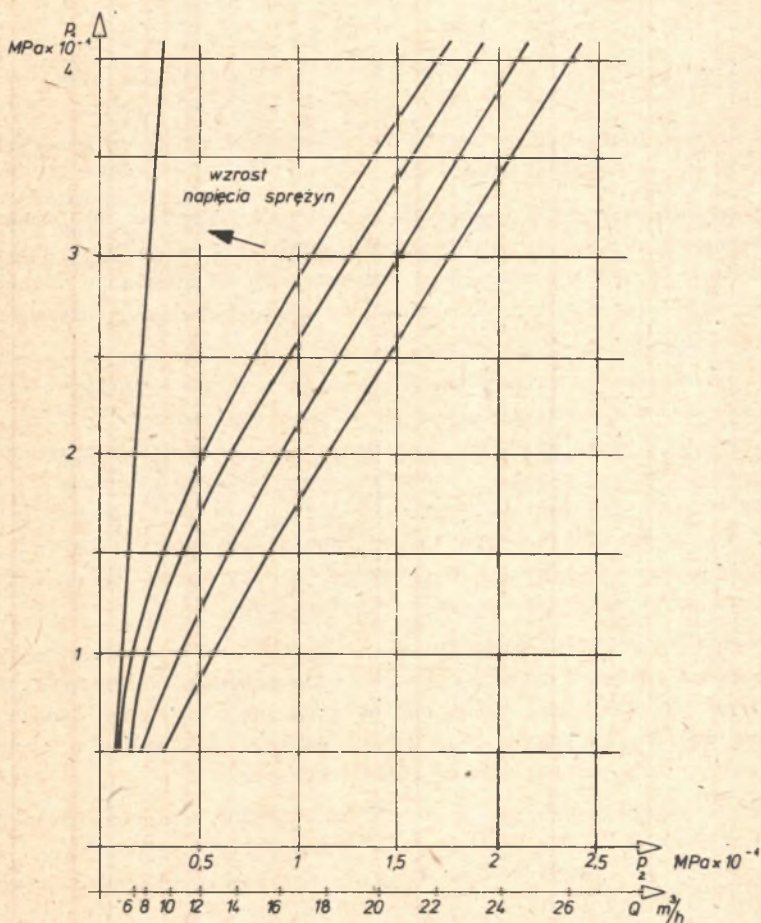
- $P_2$  [N] - siła pochodząca od ciśnienia  $p_2$ ,
- $P_1$  [N] - siła pochodząca od ciśnienia  $p_1$ ,
- $P$  [N] - siła wynikająca z napięcia sprężyn,
- $P_r$  [N] - siła wynikająca z elastyczności przewodu.

Aby wyprowadzić wzór na określenie stopnia redukcji zaworu, należy przyjąć szereg założeń upraszczających. Przede wszystkim przyjęto, że na długości  $l$  przewodu występuje liniowy spadek ciśnienia od wartości  $p_1$  do  $p_2$ . Oznaczając, zgodnie z równaniem (5), stopień redukcji jako stosunek ciśnienia przed i za zaworem można przekształcić równanie (7) otrzymując:

$$\rho = 3 + \frac{4q}{d_w} + \frac{P - P_r}{\frac{\pi}{2} d_w l p_2} \quad (8)$$

gdzie:

- $g$  [m] - grubość ściany przewodu,  
 $d_w$  [m] - średnica wewnętrzna przewodu,  
 $l$  [m] - długość przewodu, na której występuje spadek ciśnienia,  
 $p_2$  [N/m<sup>2</sup>] - ciśnienie w komorze zaworu.



Rys. 5. Charakterystyka zaworu przewodowego

Gdy  $g \ll d_w$ , wzór się upraszcza

$$\rho = 3 + \frac{P - P_r}{\frac{\pi}{2} d_w l p_2} \quad (9)$$

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań zaworu redukcyjnego przewodowego. W początkowym odcinku w zakresie niskich ciśnień charakterystyka jest krzywoliniowa. W dalszej części charakterystyki zaworu mają przebieg zbliżony do liniowego.

W zakresie początkowym pracy uwidacznia się znaczny wpływ elastyczności przewodu. W miarę wzrostu wstępnego napięcia sprężyn regulacyjnych wzrasta stopień redukcji. Biorąc pod uwagę wzór (9) oraz wyniki badań należy stwierdzić duży wpływ elastyczności przewodu na stopień redukcji.

#### 4. Uwagi i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań częściowo zawartych w artykule, można podać kilka wniosków i uwag:

- 4.1. Przedstawione modele zaworów mogą stanowić podstawę do konstrukcji zaworów redukcyjnych tego typu. Szczególnie interesujące rozwiązanie przedstawia zawór przewodowy. Odnacza się on prostszą konstrukcją oraz charakterystykami zbliżonymi do charakterystyk liniowych.
- 4.2. Duży wpływ na przebieg charakterystyk w obu zaworach ma sposób opracowania elementów elastycznych i ich połączenie z dalszymi elementami zaworu. W zaworze membranowym należy wyeliminować wpływ zmiany kierunku wygięcia membrany na pracę zaworu. W zaworze przewodowym, w przypadku dużych ciśnień należy stosować przewód elastyczny wytrzymały na duże ciśnienia. Przewód tego typu nie jest wówczas dostatecznie elastyczny. Należy wówczas starannie dobrać profil wkładu. Częściową kompensację braku dostatecznej elastyczności można skompensować wstępnym napięciem sprężyn regulacyjnych.
- 4.3. Z ważniejszych cech geometrycznych mających wpływ na pracę zaworu membranowego należy wyróżnić stosunek średnicy gniazda zaworu do średnicy dolnej membrany. Natomiast na stabilną pracę tego zaworu mają wpływ opory przepływu w przewodzie łączącym obie komory zaworu. Opory te można zmieniać instalując zawór dławicowy.
- 4.4. Badania wykazały szereg dodatnich cech zaworu przewodowego. Przyszłe badania nad zaworami redukcyjnymi stosowanymi w kopalniach powinny uwzględnić możliwość stosowania zaworów redukcyjnych tego typu.



## LITERATURA

- [1] Grychowski J.: Sposób wielokrotnego zgniatania elastycznego przewodu dla uzyskania szczelności, zgłoszenie patentowe nr 75563.
- [2] Bartosz J., Staniek A.: Praca dyplomowa nr 1937/78/79 wykonana pod kierunkiem dr inż. J. Grychowskiego.

Recenzent: Doc. dr inż. Janusz PLUTECKI

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 23 maja 1980 r.

## Характеристика работы мембранных и проводных клапанов

## Р е з ю м е

В статье даются результаты исследований редуцирующих клапанов мембранного и проводного типа. Редуцирующие клапаны такого типа применяются в шахтах для уменьшения давления воды подвводимой к выработкам с поверхности шахты. Исследования проводились на модели позволяющей на изменение геометрических признаков и параметров работы.

Результаты исследований, а также разработанные выводы дают возможность дальнейшей оптимизации редуцирующих клапанов такого типа.

## Working characteristic of membrane and conduit valves

## S u m m a r y

The paper deals with the results of investigations on pressure reducing valves of the membrane and conduit type. Pressure reducing valves of this type are applied in mining in order to reduce the pressure of water which is pumped from surface to headings.

The investigations have been carried out on a model enabling the change of geometrical features and working parameters. The results of the investigation and the drawn conclusions make it possible to optimize the construction of pressure reducing valves of this type.