

*mgr inż. WOJCIECH WINIARSKI*

*mgr inż. TADEUSZ WRZOS*

*Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów MERA-PIAP*

*Warszawa*

## PRZEŁYWOMIERZ KLAPOWY

*Przeływomierz klapowy należy do grupy przyrządów przeznaczonych do pomiaru chwilowej wartości strumienia objętości i zliczania objętości cieczy przepływającej w zamkniętych rurociągach w przemyśle i gospodarce komunalnej.*

Przeływomierz ten w porównaniu z pozostałymi przyrządami należącymi do tej samej grupy (np. przeływomierze turbinowe, elektromagnetyczne), posiada szereg wad i zalet wynikających z jego zasady działania. Podstawowe, charakterystyczne własności przeływomierza klapowego to:

- dokładność pomiaru objętości rzędu kilku procent,
- duża odporność na przeciążenia i uderzenia hydrauliczne,
- możliwość stosowania do pomiaru cieczy zanieczyszczonych ciałami stałymi.

Zależnie od przyjętego rozwiązania konstrukcji przeływomierza klapowego możliwe jest realizowanie przez przyrząd różnych funkcji:

- wskazanie chwilowej wartości strumienia objętości (mechaniczne lub elektryczne),
- zliczanie objętości przepływającej cieczy,
- przesyłanie na odległość znormalizowanego sygnału.

Dotychczas w kraju przeływomierz klapowy pojawiał się tylko w najprostszej wersji, tzn. z miejscowym, mechanicznym wskazaniem wartości strumienia objętości. Przeływomierze takie stosowane są w instalacjach wydobywania siarki metodą flotacyjną. Do tej pory nie podjęto jednak produkcji tego typu przyrządów ani w kraju, ani w KDL. Natomiast firmy zachodnie produkujące w bogatym asortymencie przeływomierze proponują od szeregu lat swoje rozwiązania przeływomierzy klapowych, szczególnie tam, gdzie nie jest wymagana wysoka dokładność pomiaru, natomiast panują trudne warunki eksploatacyjne (obciążenia dynamiczne, duże zanieczyszczenie cieczy pomiarowej). Zależnie od potrzeby proponowane jest zastosowanie bardziej lub mniej skomplikowanej wersji przeływomierza, który może realizować różne funkcje. Dalej przedstawiono niektóre dane dotyczące własności metrologicznych i użytkowych kilku wybranych typów przeływomierzy klapowych produkowanych na świecie.

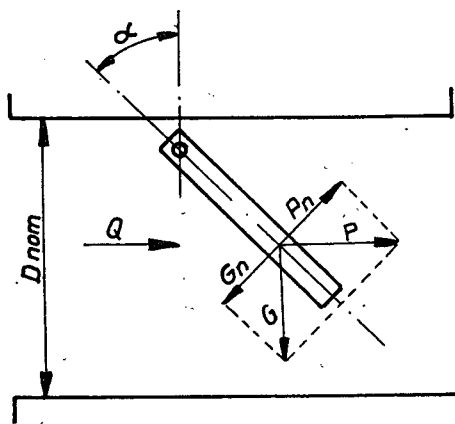
W 1981 r. rozpoczęto w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Zakładzie Pomiaru Parametrów Przepływu prace nad opracowaniem konstrukcji przeływomierza klapowego. Określono wymagania konstrukcji przeływomierza, jego własności metrologiczne i użytkowe:

- musi on charakteryzować się dużą prostotą i trwałością, ma zapewniać wysoką wytrzymałość czujnika na przeciążenia i uderzenia hydrauliczne,
- opracowanie dotyczy czujników o średnicach nominalnych 100 mm, 150 mm i 200 mm,
- należy uzyskać dla każdej wielkości przeływomierza zakres pomiarowy  $Q_{max} : Q_{min} = 10 : 1$ , przy czym zakresy pomiarowe czujników poszczególnych wielkości muszą się zająbiać,
- miernik przeływomierza musi realizować funkcję zliczania objętości cieczy (z dopuszczalnym błędem).

dem  $\pm 5\%$ ), wskazanie chwilowej wartości strumienia objętości (w  $m^3/min$ ), oraz przesyłanie na odległość analogowego sygnału prądowego.

Producent	Typ	Średnica nominalna (mm)	$Q_{max}$ ( $m^3/h$ )	$\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$	Dokładność pomiaru	Realizowane funkcje
Josef Heinrichs (RFN)	BK 200	100	40	10 : 1	$\pm 3\%$ wart. max	- wskazanie analogowe (mechaniczne-miejscowe) - sygnał wyj. elek. - zliczanie objęt.
		150	125			
		200	200			
Turbo-Werk (RFN)	EXTRA	100	50	10 : 1	$\pm 5\%$ wart. max	- wskazanie analogowe (miejscowe-mechaniczne) - sygn. wyj. elektr.
		150	140			
		200	200			
Turbo-Werk (RFN)	PRIMA	100	50	10 : 1	$\pm 5\%$ wart. max	- wskazanie analogowe (miejscowe-mechaniczne)
	INTRA	150	150			
Fischer-Controls (USA)	1350	100	30	5 : 1	brak danych	- wskazanie analogowe (miejscowe-mechaniczne)
		150	80			
		200	120			

Oprócz konieczności rozwiązania wielu problemów konstrukcyjnych pojawiła się również potrzeba teoretycznego i doświadczalnego poznania zjawisk zachodzących w układzie: strumień cieczy w zamkniętym przewodzie.- organ pomiarowy w postaci uchylnej przystoły (kłapy).



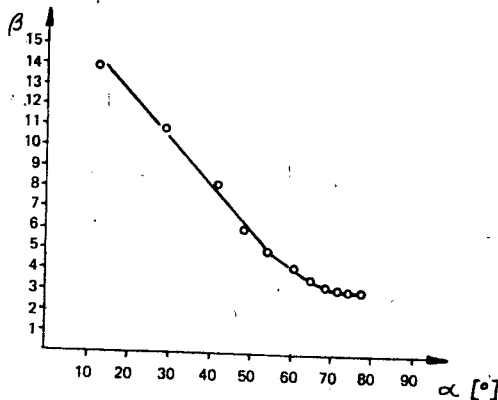
Rys. 1.

W układzie tym (rys.1) występuje siła naporu hydrodynamicznego P na powierzchnię kłapy oraz siła zwrotna wynikająca z ciężaru G kłapy (dla uproszczenia pomijamy siłę tarcia w łożyskach osi kłapy, siłę wyporu kłapy oraz oddziaływanie ścianek wewnętrznych czujnika). Ustalenie się położenia kąowego kłapy następuje w chwili uzyskania równowagi momentów składowych  $P_n$  i  $G_n$  tych sił. Przy założeniu równości ramion działania porównywanych sił otrzymamy wzór [1] :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Q^2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot F_k}{F_r^2 \cdot 2 \cdot g \cdot G}$$

- $\alpha$  – kąt odchylenia kłapy,
- $Q$  – wartość strumienia objętości cieczy,
- $F_r$  – przekrój przepływowy króćca wlotowego czujnika,
- $F_k$  – pole powierzchni kłapy (pow. czołowa),
- $\gamma$  – ciężar właściwy cieczy,
- $G$  – ciężar kłapy,
- $\beta$  – współczynnik oporu czołowego kłapy (wyznaczany doświadczalnie)

Ze względu na brak znajomości wartości współczynnika  $\beta$  oraz przybliżony charakter wzoru, może on służyć jedynie do określenia wpływu poszczególnych parametrów na charakterystykę  $\alpha = f_0(Q)$  czujnika przepływomierza kłapowego. W przypadku opracowania PIAP, wartości wszystkich parametrów były dobierane doświadczalnie na stanowiskach pomiarowych (wodnych) w Laboratorium Przepływowym (lub wprost wynikały z przyjętej konstrukcji). Do badań charakterystyki  $\alpha = f_0(Q)$  czujnik wyposażony był w podzielnik i wskazówkę umożliwiającą odczyt kąta odchylenia kłapy. Szeregowo z badanym czujnikiem montowano na stanowisku wzorcowy przepływomierz turbinowy. Następnie ustalano przy pomocy zaworu regulacyjnego odpowiednią wartość strumienia objętości wody wg wskazań przepływomierza turbinowego i odczytywano wartość kąta odchylenia kłapy. W ten sposób możliwe było obserwowanie wpływu zmian różnych parametrów konstrukcyjnych czujnika na przebieg jego charakterystyki  $\alpha = f_0(Q)$ . W wyniku tych badań stwierdzono również, że zależność  $\beta = f_1(\alpha)$  jest funkcją nieliniową, malejącą. Przykład przebiegu funkcji  $\beta = f_1(\alpha)$  dla czujnika  $\phi$  200 przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2

Wartość współczynnika  $\beta$  zależy od kształtu kłapy pomiarowej, jej wymiarów, stanu powierzchni i krawędzi. Z przeprowadzonych badań wynika, że wpływ zmiany  $\beta$  (np. na skutek wprowadzenia faz na krawędziach kłapy) na przebieg charakterystyki  $\alpha = f_0(Q)$  jest większy niż wpływ zmian  $G$  lub  $F_k$ . Ponieważ starano się zachować jak najprostszą kształt kłapy (ze względu na konieczną powtarzalność tego kształtu przy dużej liczbie wykonywanych kłap) możliwości zmian współczynnika  $\beta$  były ograniczone. Dlatego też kształtowanie charakterystyk czujników poszczególnych wielkości odbywało się na drodze doboru odpowiednich wartości  $F_k$  i  $G$ . Poniżej przedstawiono uzyskane w ten sposób zakresy pomiarowe dla czujników:

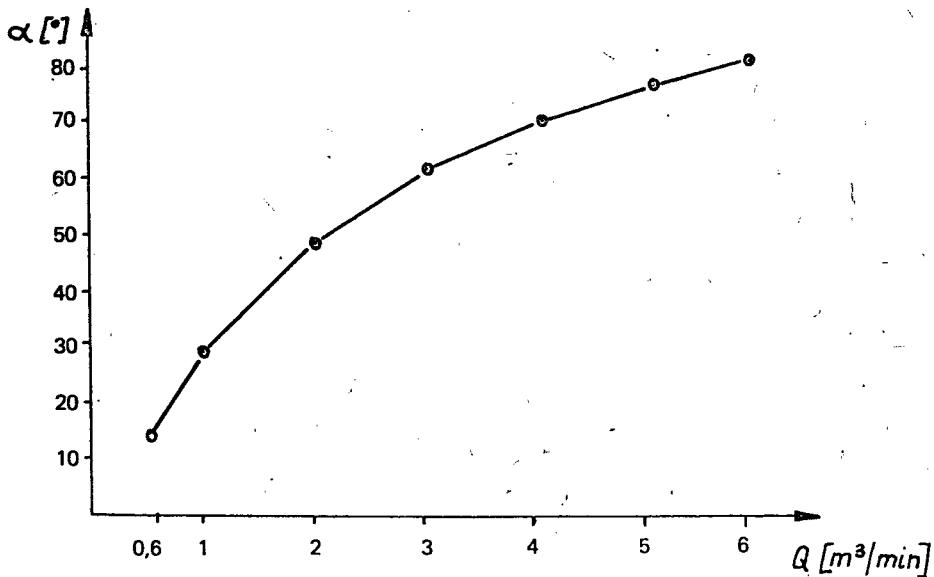
- czujnik  $\phi$  100 mm
 

$Q$ min. = 0,1 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ min. = 6°
$Q$ max. = 1,2 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ max. = 82°
- czujnik  $\phi$  150 mm
 

$Q$ min. = 0,3 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ min. = 10°
$Q$ max. = 3 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ max. = 81°
- czujnik  $\phi$  200 mm
 

$Q$ min. = 0,6 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ min. = 13°
$Q$ max. = 6 m <sup>3</sup> /min	$\alpha$ max. = 81°

Przebieg funkcji  $\alpha = f_0(Q)$  dla czujników o różnych średnicach nominalnych jest w ramach przedstawionych powyżej zakresów pomiarowych zbliżony do siebie. Przykład przebiegu funkcji  $\alpha = f_0(Q)$  dla czujnika  $\phi$  200 przedstawiono na rys. 3.

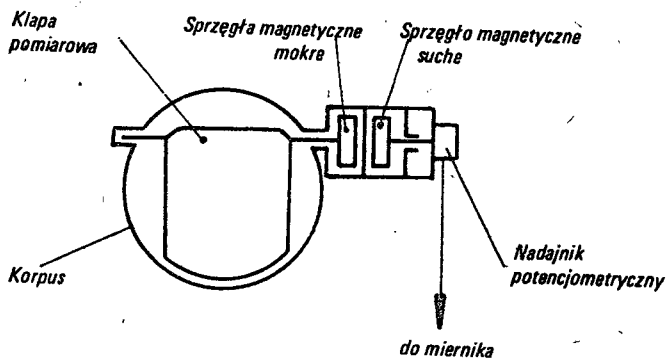


Rys. 3.

W opracowanym w PIAP czujniku przepływomierza kłapowego (rys. 4) ruch kątowy kłapy jest przeno-

szony przez oś kłapy i sprzęgło magnetyczne na oś nadajnika potencjometrycznego tak, że ślizgacz potencjometru wykonuje wraz z klapą obrót o taki sam kąt. Następuje zmiana oporności proporcjonalna do kąta wychylenia kłapy. Zastosowanie sprzęgła magnetycznego gwarantuje pewniejsze i trwalsze rozdzielenie części suchej (nadajnika) i mokrej (elementu pomiarowego) czujnika niż w przypadku zastosowania, w tym samym węźle konstrukcyjnym, dławownicy. Jest to bardzo istotne, szczególnie, gdy ciecz pomiarowa jest agresywna chemicznie (np. ścieki).

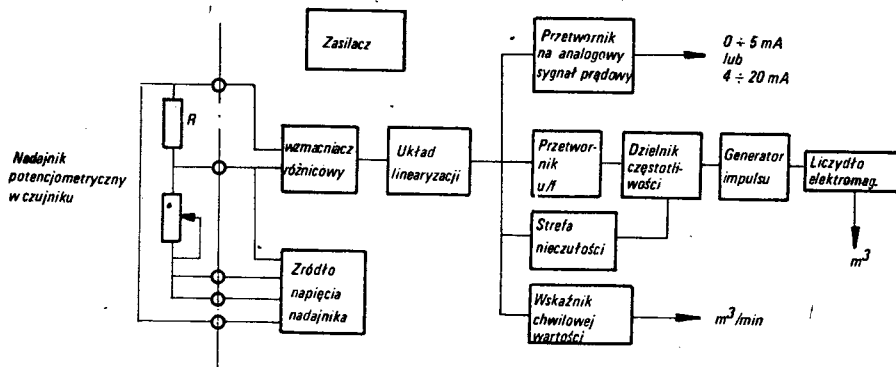
*Schemat konstrukcji czujnika przepływu*



Rys. 4.

Zainstalowany w czujniku nadajnik potencjometryczny wraz z szeregowo połączonym z nim rezystorem jest zasilany z miernika (rys.5) stałym napięciem. Spadek napięcia na szeregowym rezystorze jest sygnałem wejściowym dla miernika. Miernik jest połączony z nadajnikiem w czujniku kablem pięciodrutowym. Ze względu na nieznaną rezystancję tego kabla (dowolna długość) pomiar napięcia zadawanego i wyjściowego na szeregowym rezystorze odbywa się metodą różnicową.

*Schemat blokowy układu miernika*



Rys. 5.

W mierniku przepływomierza klapowego znajduje się wzmacniacz różnicowy sygnału z nadajnika oraz 3 (lub 4) odcinkowy układ linearyzacji charakterystyki czujnika. Napięcie wyjściowe układu linearyzacji jest proporcjonalne do wartości strumienia objętości. Zasila ono również wskazówkowy miernik strumienia objętości. Sygnał ten jest również przetwarzany na znormalizowany sygnał prądowy do przesyłania na odległość. W celu zmierzenia ilości cieczy przepływającej w czasie pomiaru przez czujnik, napięcie proporcjonalne do wartości strumienia objętości zamienione jest na szereg impulsów o częstotliwości proporcjonalnej do wartości strumienia objętości. Impulsy te są zliczane przez licznik elektromagnetyczny, którego wskazanie jest proporcjonalne do ilości przepływającej cieczy. Zbudowano modele przepływomierza klapowego ( $\phi$  100 mm,  $\phi$  150 mm,  $\phi$  200 mm), które następnie wywzorcowano w Laboratorium Przepływowym PIAP tak, aby błąd pomiaru objętości w całym zakresie pomiarowym nie przekraczał dopuszczalnych wartości  $\pm 5\%$ . Modele po wzorcowaniu zainstalowano w systemie odwodnienia Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie w celu przeprowadzenia badań eksploatacyjnych. System ten składa się z około 300 studni głębinowych, rozłokowanych wokół kopalni, które odprowadzają wodę z głębokości kilkuset metrów na powierzchnię i dalej systemem kanałów i rurociągów poza teren kopalni. Warunki eksploatacyjne przepływomierzy były bardzo ciężkie. Każdorazowe włączenie i wyłączenie pompy głębinowej, zainstalowanej w studni, powodowało pojawienie się silnych uderzeń hydraulicznych wskutek czego następowała gwałtowna zmiana położenia kąowego kłapy. W przypadku włączania pompy do pracy, z powodu pojawienia się siły naporu hydraulicznego, kłapa wychylała się gwałtownie z położenia spoczynkowego ( $\alpha = 0^\circ$ ) do drugiego granicznego położenia ( $\alpha \sim 90^\circ$ ) po czym następowało ustalenie się położenia kłapy zależnie od wartości strumienia objętości. Przy wyłączaniu pompy, na skutek zmiany kierunku przepływu (woda cofa się do studni), kłapa gwałtownie zmienia położenie z wychylenia roboczego do spoczynkowego. W efekcie takich dynamicznych zmian wartości lub zwrotu siły naporu hydraulicznego poprzednie próby stosowania w tej samej instalacji np. wodomierzy przemysłowych kończyły się ich niszczeniem (łamanie się łopatek wirników). Dodatkowy problem polegał na obecności w pompowanej wodzie piasku oraz tlenku żelaza, który osadzał się na wewnętrznych powierzchniach w czujnikach. Okres eksploatacji był różny dla poszczególnych egzemplarzy modeli i wynosił od 3 do 8 miesięcy. W trakcie eksploatacji żaden przepływomierz nie uległ zniszczeniu, a jedyne niekorzystne zjawisko, które się pojawiło, polegało na przypadkach luzowania się połączeń gwintowych w czujniku, wywołanych silnymi drganiami przenoszonymi na czujnik przez instalację wodną z ostatecznej konstrukcji czujnika i miernika szeregu zmian porównawczych własności metrologiczne i użytkowe opracowanej konstrukcji.

Pozytywne wyniki badań eksploatacyjnych modeli przepływomierzy klapowych pozwalają na kontynuowanie prac w kierunku wdrożenia do produkcji opracowanej konstrukcji przepływomierza klapowego. Konieczne jest również, ze względu na istniejące zapotrzebowanie, opracowanie nowych wersji tego typu przepływomierza. Chodzi tu przede wszystkim o wersję uproszczoną z miejscowym, mechanicznym wskazaniem chwilowej wartości strumienia objętości oraz o wersję przepływomierza klapowego z demontowaną wstawką pomiarową. Zapewnienie dostępu do wstawki pomiarowej (możliwe jest wówczas częste czyszczenie elementu pomiarowego) pozwoli na stosowanie przepływomierza klapowego do pomiaru cieczy silnie zanieczyszczonych (np. ścieki komunalne i przemysłowe).

Opracowany przepływomierz klapowy jest nowością na rynku krajowym, a uzyskanie parametrów metrologicznych i użytkowych, porównywalnych z parametrami analogicznych przyrządów proponowanych przez firmy zachodnie, pozwala przypuszczać, że w przypadku podjęcia produkcji przepływomierz ten (wraz ze swoimi odmianami) może stanowić interesujące uzupełnienie skromnego asortymentu produkowanych w kraju i w KDL przepływomierzy.

Literatura: [1] A. J. Troškolański: Hydromechanika techniczna. Pomiaru wodne