



Badania zaworu kulowego zintegrowanego z kryzowym systemem pomiarowym

Robert Matysko^{}, Marcin Lackowski^{*}, Edward Krzemiński^{**}*

^{}Institut Maszyn Przepływowych*

im. Roberta Szewalskiego, PAN, Gdańsk

*^{**}Zakład Produkcji Doświadczalnej*

Automatyki sp. z o.o., Ostrów Wielkopolski

1. Wstęp

W pracy opisano zawór kulowy z możliwością kryzowego pomiaru przepływu. Jest to nowa i własna propozycja rozwiązania pozwalającego albo odcinać przepływ albo dokonywać pomiar strumienia masy. W prezentowanym zaworze zainstalowano kryzę wielootworową, która z uwagi na swoją geometrię umożliwi osiągnięcie:

1. niższego spadku ciśnienia podczas pomiaru wydatku przepływającego płynu,
2. wysokiej powtarzalności pomiarów nawet przy dodatkowych zaburzeniach przed i za kryzą wielootworową,
3. mniejszych oporów przepływu na elemencie pomiarowym,
4. mniejszego zapotrzebowania na moc do transportowania (pompowania, sprężania) płynów.

Opisywany w artykule zintegrowany z kryzą pomiarową zawór poszerza zakres stosowalności zaworów kulowych w obrębie metrologii przepływów (albo odcięcie przepływu albo jego pomiar). W artykule przedstawiono charakterystyki przepływowe zaworu. Przedstawiono metodykę określania jego wewnętrznej charakterystyki przepływowej K_V , oraz wyznaczono ją. Przedstawiono również metodykę określania wy-

datku masowego przy użyciu kryzy wielootworowej jak i jednotworowej które są zainstalowane w zaworze odcinającym.

2. Charakterystyki przepływowe zaworów

Zawory kulowe pracują jako zawory odcinające. Często jest tak, że stosowane są również do lekkiego zdławienia przepływu w efekcie zmieniają się warunki przepływowe w urządzeniach w których zawory kulowe są stosowane. Wynika to z ich charakterystyki przepływowej. Histereza pojawiająca się podczas pracy zaworów kulowych w czasie przepływu związana jest również nie tylko z tarcie lepkiem, lecz również z wartościami ciśnienia panującymi między wlotem a wylotem z zaworu kulowego (spadek ciśnienia na zaworze). Im większa różnica ciśnień między wlotem a wylotem z zaworu tym wolniej reaguje przepływ podczas przemykania zaworu (Cui et al. 2017). W przypadku modelowania pracy zaworu z innymi urządzeniami można zauważyć, że charakterystyki histerezy związane z opóźnieniem przepływu przenoszą się na inne systemy połączone z zaworem (Kuczyński W. 2013). Praca zaworu ma znaczący wpływ na dynamikę zachodzących procesów przemian fazowych zarówno podczas skoków jednostkowych jak i oscylacji periodycznych (Kuczyński i Charun 2014). Chcąc opisać opory jakie zawór generuje w przepływie będące przyczyną pojawiającej się histerezy zapisuje się równanie (Bohdal i in 1997, Cui i in. 2017):

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho v^2} \quad (1)$$

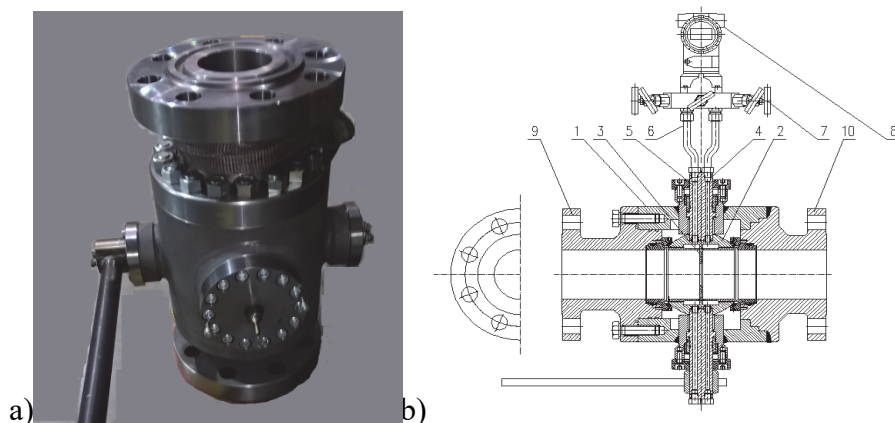
Z równania tego również można wyznaczyć bezwymiarowy współczynnik przewężenia zaworu α_z (Zhifang i in. 2008):

$$\alpha_z = \frac{1}{\zeta} \quad (2)$$

Posiadając charakterystyki związane z oporami jakie zawór generuje można wyznaczyć również najczęściej stosowany współczynnik przepływu K_V . W niniejszej pracy wyznaczono parametry przepływowe prototypowego zaworu kulowego zintegrowanego z kryzą wielootworową jako elementem pomiarowym. Nowy zawór kulowy z zintegrowaną kryzą pomiarową z racji innowacyjnej konstrukcji posiada własne charakterystyki przepływowe, które w niniejszym artykule zostaną przybli-

żone. Również przedstawiony zostanie sposób pomiaru oraz określania wydatku płynącego płynu za pomocą kryz zainstalowanych w zaworze.

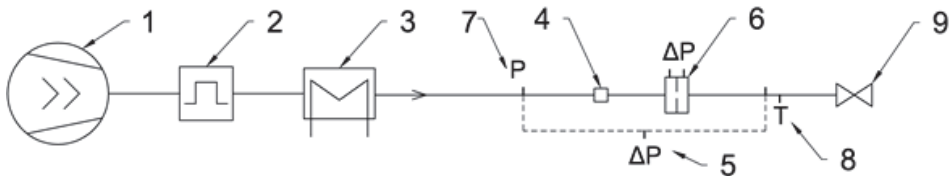
3. Konstrukcja zaworu oraz opis stanowiska badawczego



Rys. 1. Zawór KP100 a) zdjęcie, b) konstrukcja zaworu; 1 – korpus zaworu, 2 – kula, 3 – kryza pomiarowa, 4 – trzpień obrotowy, 5 – otwór impulsowy, 6 – rurka impulsowa, 7 – zawór pięciodrogowy, 8 – przetwornik różnicy ciśnień, 9 – kołnierz przyłączeniowy wlotowy, 10 – kołnierz przyłączeniowy wylotowy

Fig. 1. KP100 valve a) photo, b) valve design; 1 – valve housing, 2 – ball, 3 – measuring orifice, 4 – spindle, 5 – pulse hole, 6 – impulse tube, 7 – five-way valve, 8 – differential pressure transducer, 9 – inlet mounting flange, 10 – outlet mounting flange

Przedmiotem prowadzonych badań był przedstawiony na rysunku 1 zawór kulowy z zintegrowaną kryzą pomiarową. Zawór wykonano jako prototypową jednostkę KP100 do testów ruchowych. Przedstawiony zawór umożliwia albo odcięcie przepływu gazu albo pomiar jego strumienia przy całkowicie otwartym zaworze. Na rysunku 2 przedstawiono schemat stanowiska badawczego.



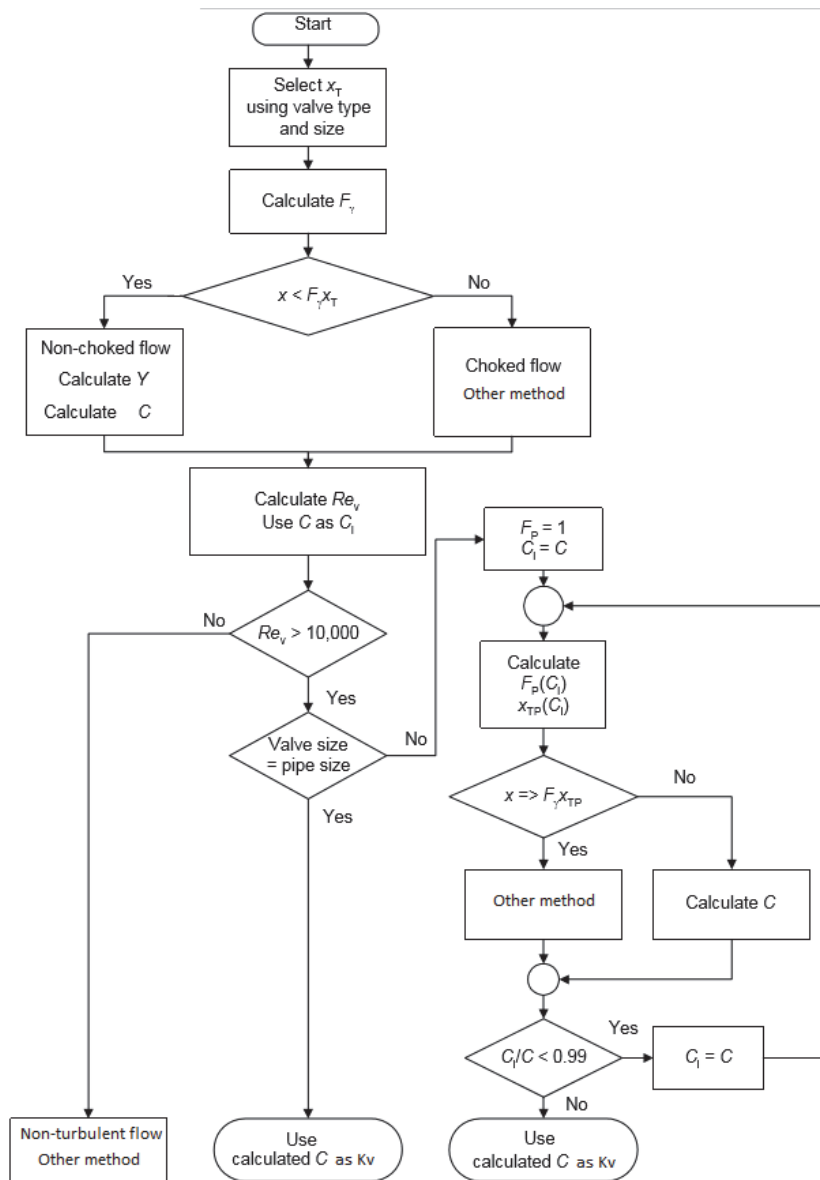
Rys. 2. Stanowisko badawcze przygotowane dla testów zaworu kulowego; 1 – sprężarka, 2 – przepływomierz Coriolisa, 3 – podgrzewacz powietrza, 4 – element wprowadzający zburzenie, 5 – pomiar ciśnienia, 6 – badany zawór zintegrowany z kryzą pomiarową, 7 – system pomiaru spadku ciśnienia na całym układzie pomiarowym, 8 – pomiar temperatury, 9 – zawór regulacyjny

Fig. 2. Test stand prepared for testing the ball valve, 1 – compressor, 2 – Coriolis flowmeter, 3 – air heater, 4 – element introducing the breaking in the liquid flow, 5 – pressure measurement, 6 – the tested valve integrated with the measuring orifice, 7 – pressure drop measurement system for the entire measuring system, 8 – temperature measurement, 9 – regulating valve

Z punktu widzenia możliwości prowadzenia prac pomiarowych najważniejsze jest zapewnienie odpowiedniego natężenia przepływu oraz jego precyzyjny pomiar referencyjny z wykorzystaniem przyrządu o co najmniej rząd lepszej dokładności. W pracach pomiarowych wykorzystano sprężarkę śrubową olejową KAESER DSD 238 T SFC, o zmiennej wydajności. Regulacja wydajności odbywa się automatycznie za pomocą regulacji prędkości obrotowej napędu sprężarki za pomocą falownika. Zakres wydatku wynosi 5,8-20 m³/min. Kompresor ma możliwość zadawania nastawy ciśnienia tłoczenia w zakresie od 5,5-10 bar. W pracach badawczych wykorzystywano zbiornik buforowy znajdujący się za kompresorem oraz zestaw dwóch zaworów regulacyjnych, jeden po zbiorniku oraz drugi na wylocie systemu. W badaniach wykorzystano referencyjny element pomiaru przepływu oparty na przepływomierzach systemu Coriolisa E+H Promass 80F DN50.

4. Algorytm obliczania współczynnika K_v zaworu dla turbulentnego przepływu gazu

Badania zaworu wykonano w zakresie turbulentnego przepływu powietrza. To determinuje procedurę obliczeń współczynnika K_v , którą zaczerpnięto z normy ISA-75.01.01-200. Na rysunku 3 przedstawiono algorytm obliczeniowy zastosowany w procedurze określania wartości K_v .



Rys. 3. Algorytm obliczeniowy dla wartości K_V zaworu
Fig. 3. The calculation algorithm for K_V value of the valve

Współczynnik związany z rodzajem czynnika przepływającego wyznaczono z zależności opisującej współczynnik stosunków ciepła właściwego.

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1,40} \quad (3)$$

gdzie dla powietrza przyjęto $\gamma = 1,40$.

Stosunek różnicy ciśnień dla zaworu z dodatkowym oporem przepływu.

$$x = \frac{\Delta P}{P_1} \quad (4)$$

Z poniższej zależności, dla pierwszego kroku iteracji, wyznaczono współczynnik ekspansji.

$$Y = 1 - \frac{X}{3F_\gamma x_T} \quad (4)$$

gdzie współczynnik x_T przyjmowany jest dla zaworów kulowych:

$$x_T = 0,42 \quad (5)$$

$$C = \frac{\dot{m}}{N_6 Y \sqrt{x p_1 \rho_1}} \quad (6)$$

gdzie $N_6 = 3,16$.

Dla kolejnych kroków iteracji wyznacza się kolejno

$$x_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_p^2}}{1 + \frac{x_T \zeta (C_i)^2}{N_5 (d^2)}} \quad (7)$$

gdzie $N_5 = 0,0018$,

$$Y = 1 - \frac{X}{3F_\gamma x_{TP}} \quad (8)$$

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum \zeta (C_i)^2}{N_2 (d^2)}}} \quad (9)$$

gdzie $N_2 = 0,0016$,

$$C_i = \frac{\dot{m}}{N_6 Y F_p \sqrt{x p_1 \rho_1}} \quad (10)$$

$$Re = \frac{N_4 Q F_d}{\nu \sqrt{C_i F_L}} \left(\frac{C_i^2 F_L^2}{N_2 D^4} + 1 \right)^{1/4} \quad (11)$$

gdzie $N_4 = 0,0707$, $F_L = 0,74$.

Wynik C_i dla którego $C_i/C \leq 0,99$ przyjmuje się jako $K_V = C_i$. Po obliczeniu współczynnika K_V zaworu z zainstalowaną kryzą wielootworową wykonano również obliczenia przepływu objętościowego powietrza za pomocą kryz. Obliczenia te następnie porównano z wartością referencyjną zmierzoną przy pomocy przepływomierza Couriolisa.

5. Algorytm obliczania wydatku masowego z kryzy wielootworowej i jednotworowej

W zaworze zainstalowano w badaniach do celów porównawczych normatywną kryzę jednotworową, oraz kryzę wielootworową (rys. 4). Wykonano obliczenia wydatku objętościowego wg poniżej przedstawionej metodyki, którą zaczerpnięto z normy PN-EN ISO 5167-2:2005.

A) Określenie przewężenia kryzy

$$\beta = \left(\frac{A_n}{A_D} \right)^{0,5} \quad (12)$$

B) Określenie liczby Re względem średnicy rurociągu

C) Określenie L_1 i L_2'

Po stronie dopływowej $L_1 = l_1/D$,

Po stronie odpływowej $L_2' = l_2'/D$

l_1 – odległość mierzona od powierzchni dopływowej do otworu impulsowego

l_2' – odległość mierzona od powierzchni odpływowej do otworu impulsowego

D) Określenie liczby ekspansji dla kryzy

$$\epsilon_1 = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \frac{\Delta p}{\kappa p_1} \quad (13)$$

p_1 – ciśnienie absolutne przed kryzą

Wzór ten można stosować jedynie w przypadku spełnienia warunku:

$$\frac{p_2}{p_1} = 0,75 \quad (14)$$

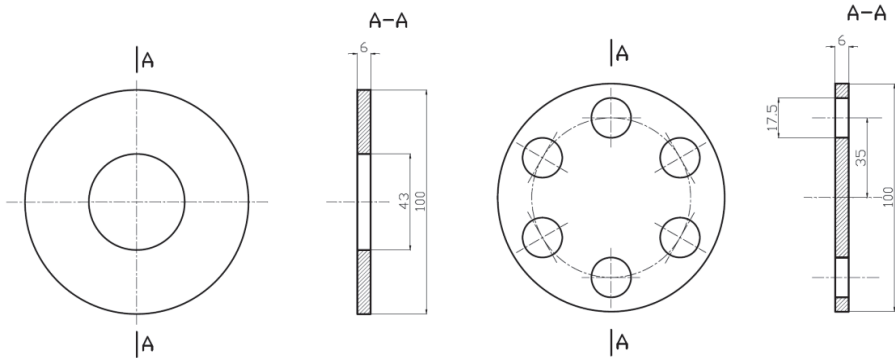
E) Określenie współczynnika przepływu dla kryzy zgodnie z równaniem Stolza:

$$S = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,1840 \beta^3 + 0,0029 \beta^{2,5} \left[\frac{10^6}{Re_D} \right]^{0,75} + 0,09 L_1 \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1} - 0,0337 L_2' \beta^3 \quad (15)$$

F) Określenie gęstości przepływającego medium ρ

G) Określenie wydatku masowego kryzy

$$\dot{m} = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \epsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \Delta p \rho} \quad (16)$$



Rys. 4. Kryzy zainstalowane w zaworze wykorzystane w badaniach eksperymentalnych

Fig. 4. Orifices installed in the valve used in experimental research

6. Wyniki badań eksperymentalnych

Badania eksperymentalne prowadzono zarówno w celu określenia charakterystyki przepływowej K_V zaworu jak i w celu weryfikacji poprawności pomiaru masowego wydatku za pomocą kryz. K_V zaworu określono gdy w zaworze zainstalowana była docelowa kryza wielootworowa (6 otworów). W celu weryfikacji dokładności pomiaru wydatku za pomocą kryz wielootworowych zainstalowanych w zaworze stosowano przepły-

womierz Coriolisa. W badaniach wydatku określono również dokładność i wrażliwość na zakłócenia pomiarowe kryz wielootworowych w odniesieniu do kryz jednotworowych zainstalowanych w zaworze.

6.1. Określenie współczynnika K_V zaworu

Poniżej (tabela 1) przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla przepływu gazu przez zawór z kryzą wielootworową.

Tabela 1. Wyniki badań eksperymentalnych dla przepływu gazu przez kryzę wielootworową

Table 1. Experimental results for the gas flow through a multi-hole orifice

Δp	[kPa]	3,253	2,853	2,362	1,904	1,515	1,213	0,827	0,534	0,256
P	[kPa]	399,08	400,06	399,3	399,18	400,43	397,92	400,7	397,60	400,27
\dot{Q}_{ref}	$\left[\frac{nm^3}{h}\right]$	877,031	823,3	747,2	668,7	600,8	537,0	443,8	356,15	246,953

Wyniki obliczeń K_V oraz wydatku objętościowego \dot{Q}_{kryza} w przypadku pomiaru kryzą przedstawiono w tabeli 2.

Wartość średnia współczynnika określającego charakterystykę wewnętrzną zaworu wynosi $K_V = 88,5 \frac{m^3}{h}$. Niska wartość K_V zaworu kulowego wynika z faktu zainstalowania w nim wielootworowej kryzy pomiarowej. Typowe zawory kulowe o DN100 np. firmy Danfoss posiadają $K_V = 620 \frac{m^3}{h}$, tym niemniej nie posiadają one możliwości dokonywania pomiaru, gdy przepływ jest otwarty.

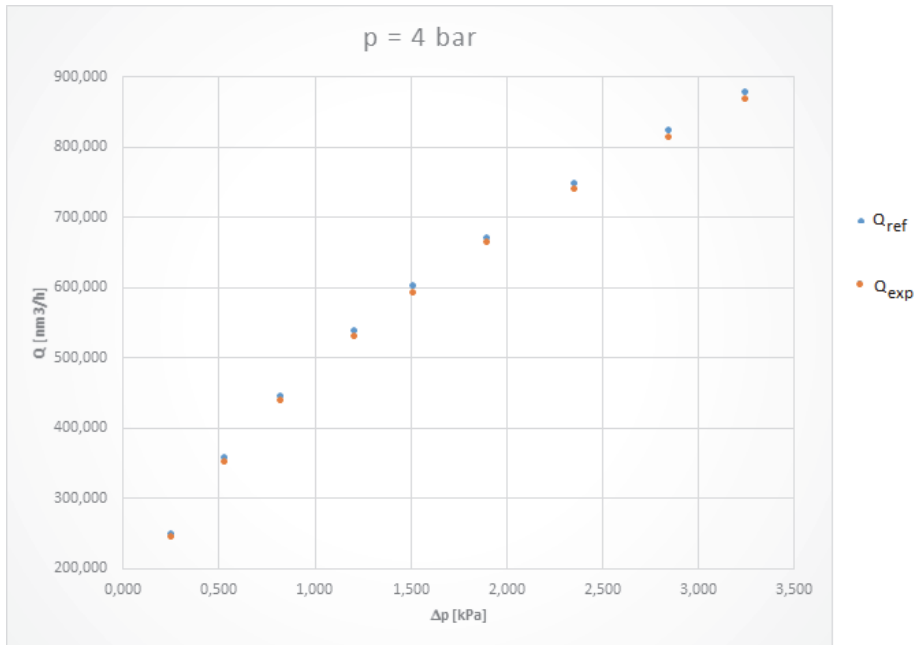
Tabela 2. Wyniki obliczeń strumieni objętościowych oraz współczynnika K_V zaworu

Table 2. Results of the volumetric flow and valve K_V calculation

Re	–	75648,72	71015,1	64451,6	57679,4	51822,4	46320,9	38286,9	30720,4	21301,0
K_V	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	88,58011	88,6801	88,4908	88,1549	88,565	88,7117	88,3509	88,5479	88,2491
\dot{Q}_{exp}	$\left[\frac{nm^3}{h}\right]$	866,729	812,342	738,462	662,963	592,488	528,696	438,313	351,213	243,935

6.2. Stabilność pomiaru wydatku objętościowego za pomocą kryz wielootworowych zainstalowanych w zaworze

Dokonując analizy wyników badań eksperymentalnych otrzymanych z kryzy wielootworowej zainstalowanej w zaworze kulowym podjęto decyzję by wykonać takie same badania dla kryzy jednootworowej zainstalowanej w zaworze o jednakowej powierzchni przesłonięcia przekroju poprzecznego. Poniżej przedstawiono wyniki tych badań. Badano kryzy jednootworowe oraz wielootworowe o geometrii jak na rysunku 4.



Rys. 5. Wyniki pomiarów strumienia objętości dla zaworu z kryzą pomiarową
Fig. 5. Results of volume flow rate measurements for the valve with a measuring orifice

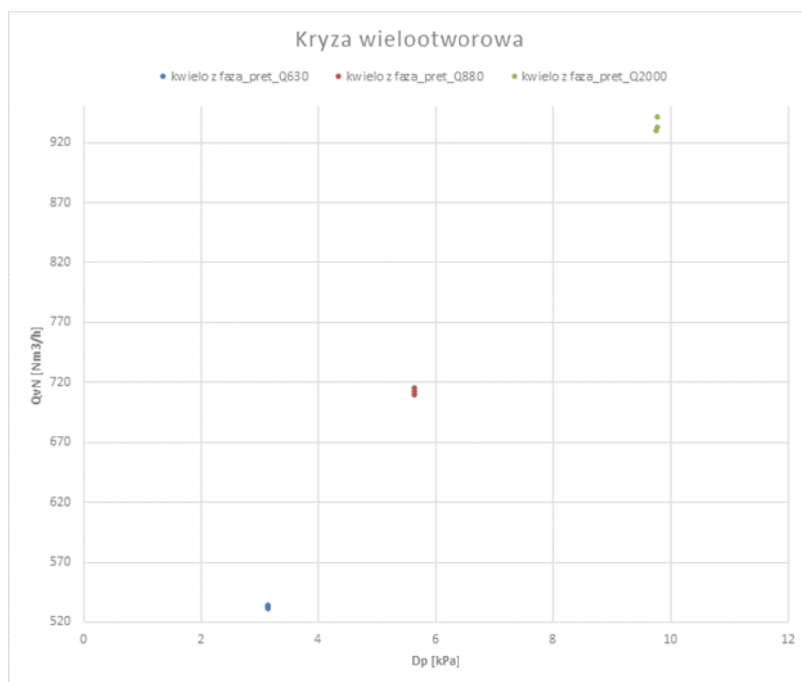
Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów natężenia przepływu powietrza wykonane za pomocą kryzy wielootworowej (Q_{exp}), i przepływomierzem Coriolisa (Q_{ref}) w funkcji różnicy ciśnień przed i za kryzą. W czasie pomiarów do zbadania stabilności pomiarowej wprowadzono zaburzenie w postaci pręta umieszczonego w odległości 1 m od elementu pomiarowego. Zaburzenie było wprowadzane od góry rurocią-

gu w jego osi, elementem zaburzającym był pręt o średnicy 8 mm. Badania przeprowadzono dla trzech stopni wprowadzenia elementu w przepływ, dbając o stabilizację wydatku dla różnych stopni wprowadzonego elementu. Dało to możliwość porównania wpływu wygenerowanego zaburzenia na pracę systemu pomiarowego opartego na kryzie jedno i wielootworowej.

Poniżej (rysunki 6-9) przedstawiono wykresy na których uwiidoczniono, że pomiary za pomocą kryzy wielootworowej są jakościowo bardziej poprawne.

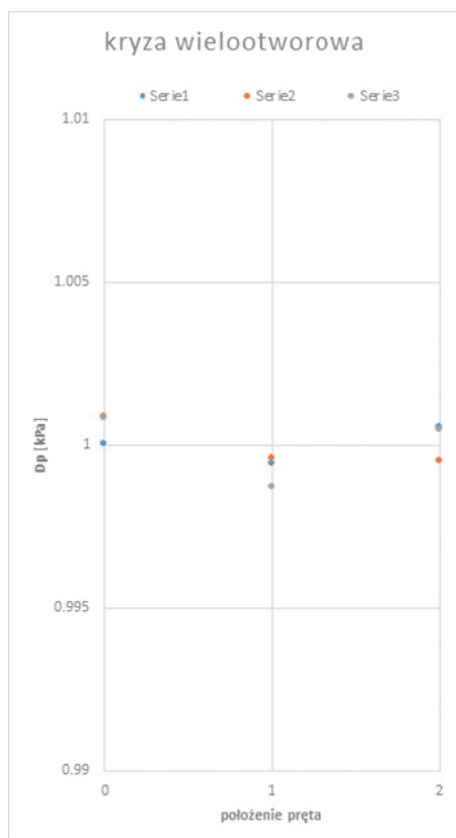
Przedstawione na rysunku 6 wyniki pomiarów pokazały, że wprowadzone zaburzenie wpływa w minimalny sposób na mierzone przy wykorzystaniu kryzy wielootworowej wartości natężenia przepływu. Jest to wynik szczególnie ciekawy jeśli porównamy te wyniki z przedstawionymi na rysunku 8, gdzie został przedstawiony wpływ wprowadzanego do przepływu elementu zaburzającego na wartości mierzone przy wykorzystaniu jednotworowej kryzy pomiarowej. Z przedstawionych na tym rysunku wyników pomiarowych wynika, że wpływ zaburzenia na pomierzone wartości natężenia przepływu jest stosunkowo duży. Co ciekawe w obu przypadkach wprowadzenie zaburzenia (czyli dodatkowego oporu do przepływu) wpływało na zwiększenie mierzonego strumienia gazu, oczywiście rzeczywisty strumień był stały (kontrolowany przepływomierzem Coriolisa), jest to szczególnie ciekawe jeśli uświadomimy sobie, że wprowadzenie elementu zaburzającego wpływa na zwiększenie oporu przepływu tego odcinka.

Dla natężenia przepływu wynoszącego około $930 \text{ Nm}^3/\text{h}$ w przypadku kryzy wielootworowej rozrzut wyników pomiarowych dla wprowadzanego za pomocą pręta zaburzenia przepływu (wprowadzanego 1 m od kryzy) nie przekracza 1%, podczas gdy dla kryzy jednotworowej dochodzi do 2%. Jeszcze wyraźniej efekt ten jest widoczny na rysunku 7 oraz rysunku 9. Dla kryzy wielootworowej efekt ten jest dużo mniejszy.



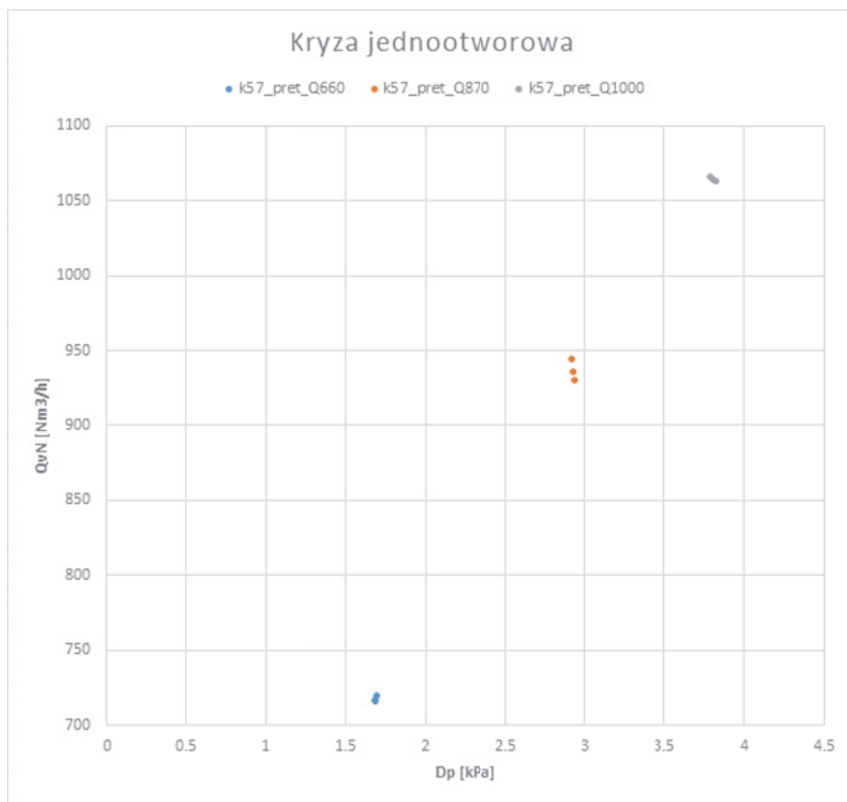
Rys. 6. Wyniki pomiarów natężenia przepływu dla wielootworowej kryzy pomiarowej, w przepływie do którego wprowadzano zaburzenie w osi przepływu w odległości 1 m od kryzy

Fig. 6. Results of flow rate measurements for the multi-hole measuring orifice with disturbance introduced in the flow axis 1 m from the orifice



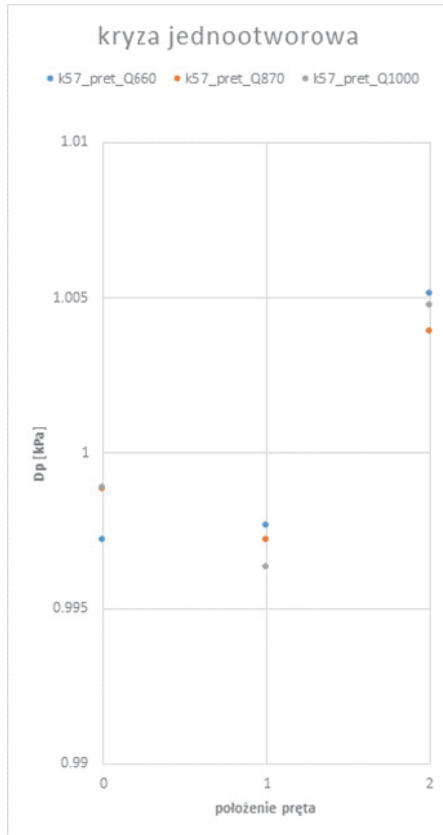
Rys. 7. Wyniki pomiarów spadków ciśnienia dla wielootworowej kryzy pomiarowej, w przepływie do którego wprowadzano zaburzenie w osi przepływu

Fig. 7. Results of pressure drop measurements for the multi-hole measuring orifice with disturbance introduced in the flow axis



Rys. 8. Wyniki pomiarów natężenia przepływu dla jednootworowej kryzy pomiarowej, w przepływie do którego wprowadzano zaburzenie w osi przepływu w odległości 1 m od kryzy

Fig. 8. Results of flow rate measurements for the single-hole measuring orifice with disturbance introduced in the flow axis 1 m from the orifice



Rys. 9. Wyniki pomiarów spadków ciśnienia dla jednootworowej kryzy pomiarowej, w przepływie do którego wprowadzano zaburzenie w osi przepływu

Fig. 9. Results of pressure drop measurements for the single-hole measuring orifice with disturbance introduced in the flow axis

7. Podsumowanie

Przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliły określić charakterystykę wewnętrzną zaworu K_v z dodatkowym zintegrowanym z zaworem wielootworowym kryzowym systemem pomiaru wydatku objętościowego lub masowego przepływającego medium. Nowatorska konstrukcja zaworu kulowego w którym zainstalowano kryzę wielootworową pozwala odcinać przepływ lub dokonywać pomiaru w przypadku gdy zawór jest w pozycji otwartej. Badania pokazały niższą wartość

współczynnika wymiarowego ($K_V = 88,5 \frac{m^3}{h}$) zaworu zintegrowanego z kryzą wielootworową, niż w przypadku klasycznych zaworów kulowych. Badania pokazały również jakościowo bardziej poprawne wyniki związane z określoną wartością wydatku objętościowego gazu dla kryzy wielootworowej. W przypadku zainstalowanej w zaworze kryzy wielootworowej rozrzut wyników pomiarowych dla wprowadzanego zaburzenia przepływu nie przekracza 1%, podczas gdy dla zainstalowanej w zaworze kryzy jednootworowej dochodzi do 2%.

Proponowane rozwiązanie zaworu z systemem pomiarowym może być implementowane w instalacjach biogazowych oczyszczalni ścieków zarówno do pomiaru jak i odcinania przepływu biogazu. Konstrukcja zaworu spełnia wymagania związane ze szczelnością oraz jakością pomiaru wydatku biogazu.

*Research was carried out under the Operational Program
"Intelligent Development" (POIR 01.01.01-00-0013 / 15
"Development of devices for measurement
of media flow on industrial trunk-lines"*

Literatura

- Bohdal, T., Charun, H., Ewertowska, Z. i in. (1997) *Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki płynów*. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
- Cui, B., et al. (2017) Influence of opening and closing proces of ball valve on external performance and internal flow characteristics. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80, 193-202.
- ISA-75.01.01-200
- Kuczyński, W. (2013) Modeling of the Propagation of a Pressure Wave During the Condensation Process of R134a Refrigerant in a Pipe Minichannel Under the Periodic Conditions of Hydrodynamic Disturbances. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56(1-2), 715-723.
- Kuczyński, W., Charun, H. (2014) Modeling of a Two-Phase Region Length of the Condensation of R134a and R404A Refrigerants in Pipe Minichannels With Periodic Hydrodynamic Instabilities, *Heat Transfer Engineering*, 35(9), 850-862.
- PN-EN ISO 5167-2:2005
- Zhifang, X., Lin, S., Hongfei, O. (2008) Refrigerant flow characteristics of electronic expansion valve based on thermodynamic analysis and experiment. *Aplied Thermal Engineering*, 28, 238-243.

Symbole

- α_z – współczynnik przewężenia zaworu [-],
 A_D – powierzchnia poprzeczna rurociągu [m²],
 A_n – sumaryczna powierzchnia otworów w kryzie [m²],
 β – przewężenie kryzy [-],
 C, C_i – współczynnik przepływu zaworu dla celów iteracyjnych [m³/h],
 d – wymiar nominalny zaworu, średnica otworu w kryzie pomiarowej [m, mm],
 D – wewnętrzna średnia rurociągu [m, mm],
 ϵ_1 – współczynnik ekspansji dla kryzy pomiarowej [-],
 ζ – współczynnik strat lokalnych w przepływie [-],
 F_γ – współczynnik dla stosunków ciepła właściwego [-],
 F_p – współczynnik geometryczny rurociągu [-],
 F_L – współczynnik odzysku ciśnienia statycznego ($F_L = 0,74$),
 F_d – współczynnik kształtu zaworu $F_d = 0,99$,
 γ – stosunek dla ciepła właściwego [-],
 κ – wykładnik izentropy [-],
 K_V – współczynnik charakterystyczny zaworu [m³/h],
 l_1 – odległość mierzona od powierzchni dopływowej do otworu impulsowego,
 l_2' – odległość mierzona od powierzchni odpływowej do otworu impulsowego,
 ν – lepkość kinematyczna [m²/s],
 \dot{m} – wydatek masowy [kg/h],
 N_6 – stała numeryczna ($N_6 = 3,16$),
 N_5 – stała numeryczna ($N_5 = 0,0018$),
 N_2 – stała numeryczna ($N_2 = 0,0016$),
 N_4 – stała numeryczna ($N_4 = 0,0707$),
 p_1 – ciśnienie absolutne na wlocie [kPa],
 p_2 – ciśnienie absolutne na wylocie [kPa],
 Δp – różnica ciśnień ($p_1 - p_2$) [kPa],
 Q – wydatek objętościowy [m³/h],
 \dot{Q}_{exp} – objętościowe natężenie przepływu z pomiaru za pomocą kryz pomiarowych [m³/h],
 \dot{Q}_{ref} – wydatek objętościowy referencyjny mierzony przepływomierzem Couriolisa [m³/h],
 ρ – gęstość [kg/m³],
 ρ_1 – gęstość płynu na dolocie do zaworu pomiarowego [kg/m³],
 Re – liczba Reynoldsa dla zaworu [-],
 Re_D – liczba Reynoldsa dla rurociągu [-],
 S – współczynnik Reader Harris/Gallaghera [-],

v – prędkość przepływu [m/s],
 x_T – współczynnik stosunku ciśnienia dla zaworu (bez dodatkowych elementów) w warunkach przepływu nadkrytycznego $x_T = 0,42$,
 x_{TP} – współczynnik stosunku ciśnienia dla zaworu (z dodatkowymi elementami) w warunkach przepływu nadkrytycznego [-],
 x – stosunek różnicy ciśnienia do ciśnienia panującego na wlocie ($\Delta p / p_1$),
 Y – współczynnik ekspansji w zaworze kulowym.

Tests of a Ball Valve Integrated with the Orifice Measuring System

Abstract

This paper describes a new design of a ball valve integrated with multi-hole measuring orifice. The innovative design of this valve allows simultaneous cutting off the flow or measuring volumetric flow rate of the fluid (air) flowing through. The article presents methodology for determining the value of the volumetric flow rate and dimension factor K_V of the valve integrated with multi-hole measuring orifice. It shows also research and calculations results of volumetric flow rate values obtained from the valve integrated with multi-hole measuring orifices. Stability of the volumetric flow rate measurement in relation to the reference value was examined. Stability of the volumetric flow rate measurement for the multi-hole and single-hole measuring orifices installed in the valve was compared. K_V of the valve with installed original multi-hole measuring orifice was determined. The proposed solution of a valve with a measuring system can be implemented in biogas installations of sewage treatment plants for both measuring and shutting off biogas flow.

Streszczenie

W artykule opisano nową konstrukcję zaworu kulowego zintegrowanego z kryzą pomiarową wielootworową. Innowacyjna konstrukcja tego zaworu pozwala albo na odcinanie przepływu albo pomiar strumienia objętości przepływającego płynu (biogaz, powietrze). W artykule przedstawiono metodykę określania wartości wydatku objętościowego oraz współczynnika wymiarowego K_V zaworu zintegrowanego z kryzą pomiarową wielootworową. Przedstawiono również wyniki badań oraz obliczeń wartości wydatku objętościowego uzyskanego z zaworu zintegrowanego z kryzami wielootworowymi. Zbadano stabilność pomiaru wydatku objętościowego w odniesieniu do wartości referencyjnej. Porównano stabilność pomiaru wydatku dla kryzy wielootworowej oraz jedno-

otworowej zainstalowanej w zaworze. Określono K_V tego zaworu z zainstalowaną oryginalną kryzą wielootworową. Proponowane rozwiązanie zaworu z systemem pomiarowym może być implementowane w instalacjach biogazowych oczyszczalni ścieków zarówno do pomiaru jak i odcinania przepływu biogazu.

Słowa kluczowe:

zawór kulowy, kryza wielootworowa, charakterystyka zaworu, spadek ciśnienia na zaworze

Keywords:

ball valve, multi-hole orifice, valve characteristics, valve pressure drop