

POMIAR KRYŻĄ SEGMENTOWĄ STRUMIENIA MEDIUM DLA MAŁYCH LICZB REYNOLDSA

Andrzej MROWIEC¹, Dariusz KASPRZAK²

1. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu, Wydział Politechniczny
tel.: 606942976 e-mail: a.mrowiec@pwsz.kalisz.pl
2. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu, Wydział Politechniczny
tel.: 502826660 e-mail: darkas1@wp.pl

Streszczenie: Podstawowym surowcem energetycznym w Polsce jest węgiel. W ostatnich latach podejmowano próby spalania koloidalnych zawiesin pyłu węglowego w oleju napędowym lub opałowym. Przy pomiarach przepływu takich zawiesin, może dochodzić do wytrącania i zalegania w układach przesyłowych osadów, co w efekcie może prowadzić do zaburzeń strumienia przepływu. Wiarygodność pomiaru tego parametru, mogą zapewnić kryzy segmentowe. W artykule zaprezentowano wyniki badań przepływowych kryz segmentowych z przytarczowym punktowym odbiorem ciśnienia różnicowego, przy niewielkich liczbach Reynoldsa oraz symulacje numeryczne dla wybranej kryzy. W badaniach jako medium wykorzystano wodę.

Słowa kluczowe: kryza segmentowa, liczba Reynoldsa, współczynnik przepływu.

1. WSTĘP

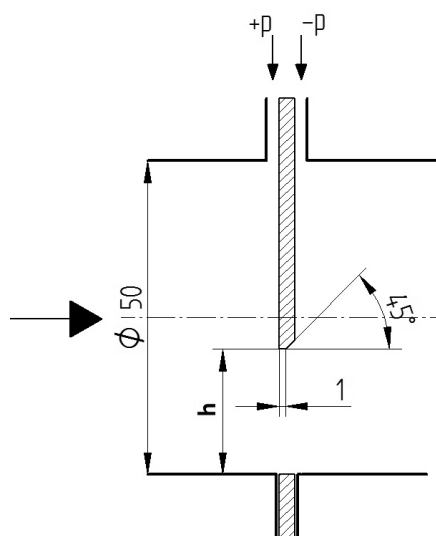
W wielu przypadkach występuje konieczność nieprzerwanej kontroli parametrów przepływu cieczy w instalacjach. Najczęstszym sposobem przeprowadzenia takich czynności jest zastosowanie przepływomierzy spiętrzających [1, 3, 5, 6]. Ma to miejsce zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak również przemysłowych. Jednym ze sposobów zapewniających pomiar strumienia płynu jest określenie różnicy ciśnienia na elemencie spiętrzającym, którym mogą być na przykład kryzy pomiarowe. Wśród nich można wyróżnić kryzy: standardowe, mimośrodowe oraz segmentowe [4].

Szczególnie interesującym przypadkiem kryzy normalnej jest kryza segmentowa [2, 7]. Jest ona coraz częściej stosowana w przypadku pomiaru przepływu gazów zapyłonych, jak również cieczy zanieczyszczonych różnego rodzaju czynnikami (np. zawiesinami). Zaletą kryzy segmentowej jest fakt iż jej stosowanie prowadzi do jednostronnego przewężenia przekroju rurociągu przepływowego. Zaleca się, aby otwór kryzy segmentowej umiejscowiono w dolnej części zwężki, dzięki czemu unika się tworzenia osadu w rurociągu przed zwężką. W związku z tym taki układ pomiaru przepływu będzie odporny na tworzenie się osadów. Natomiast wymagania dotyczące sposobu wykonania takiej kryzy (np. wejściowy brzeg kryzy, gładkość, grubość itp.) są takie same jak wymagania dotyczące kryzy ISA [5]. Do obliczenia strumienia przepływu stosuje się zależności takie same jak dla kryzy

znormalizowanej jednak należy znać wartość współczynnika przepływu zależnego od wysokości wycinka koła otworu zwężki jak i wymiar przewężenia.

2. PRZEPROWADZENIE POMIARÓW

Badania przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym w którym przepływ w instalacji hydraulicznej wymuszano pompą wirową w obiegu zamkniętym. Do pomiaru przepływającego strumienia wody przez badane kryzy segmentowe (rys. 1) wykorzystano przepływomierz elektromagnetyczny typu PROMAG 30AT15 o błędzie granicznym $\Delta p_v = 0,0092 \text{ dm}^3/\text{s}$ w badanym zakresie pomiarowym. Powstające na kryzie ciśnienie spiętrzenia różnicowego Δp mierzono w sposób przytarczowy punktowy inteligentnym przetwornikiem różnicy ciśnień typu APR-2000/ALW o zakresie pomiarowym $-0,5...7 \text{ kPa}$.



Rys. 1. Schemat badanej kryzy segmentowej

Badania przeprowadzono dla 5 kryz segmentowych, różniących się parametrem h (rys. 1), a co za tym idzie modułem kryzy – tabela 1.

Tabela 1. Parametry geometryczne badanych kryz segmentowych

Kryza segmentowa	h [mm]	m [-]
KS - 1	7,5	0,094
KS - 2	10,0	0,142
KS - 3	12,5	0,195
KS - 4	15,0	0,252
KS - 5	17,5	0,312

Badania doświadczalne kryz segmentowych w zakresie małych liczb Reynoldsa ($Re = 4000 \dots 10000$) wykonano przy przepływie wody w rurociągu o średnicy ϕ 50 mm przy temperaturze $t = 21^\circ C \pm 1^\circ C$.

Równanie charakterystyki badanych doświadczalnie przepływomierzy spiętrzających zbudowanych w oparciu o typoszereg kryz segmentowych opisano za pomocą zależności (1):

$$q_v = C^* \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

gdzie:

Δp - różnica ciśnień przed i za zwężką w [Pa],

C^* - stała przepływu badanego przepływomierza

$$\left(C^* = \frac{C \cdot m}{\sqrt{1-m^2}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \right)$$

C - współczynnik przepływu,

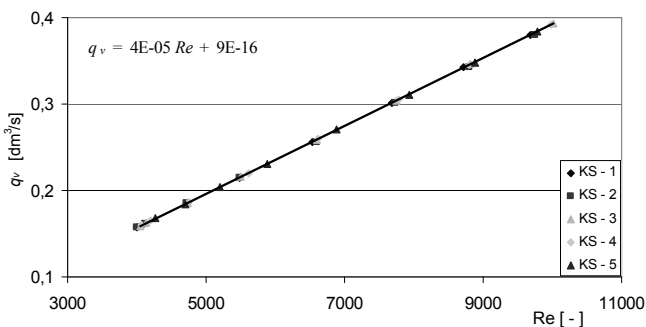
m - moduł kryzy,

ε - współczynnik ekspansji (dla wody $\varepsilon = 1$),

D - średnica rurociągu [m],

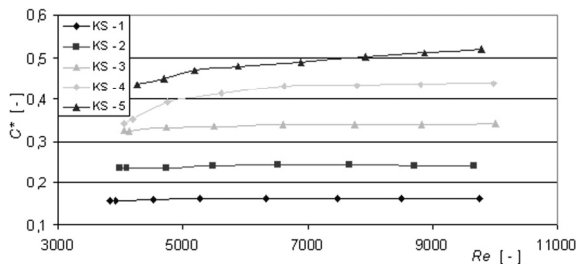
ρ - gęstość medium [kg/m³].

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę wyznaczoną na podstawie uzyskanych wyników pomiarów strumienia objętości $q_v = f(Re)$ dla badanych kryz segmentowych.



Rys. 2. Wyznaczona eksperymentalnie charakterystyka strumienia objętości $q_v = f(Re)$

Na rysunku 3 przedstawiono wyznaczone na podstawie wyników badań charakterystyki stałych przepływu C^* badanych kryz segmentowych w zależności od liczby Reynoldsa.



Rys. 3. Wyznaczone eksperymentalnie charakterystyki rozkładu stałych przepływu $C^* = f(Re)$

3. SYMULACJA NUMERYCZNA PRZEPLYWU

Przeprowadzono również symulacje numeryczne badanego procesu przepływowego dla modelu 3D $k-\varepsilon$, wybranej kryzy segmentowej (KS - 2) [8, 9]. Do jej realizacji wykorzystano program FLUENT [10], przyjmując jako parametr wejściowy strumień masy q_m przepływający przez przebadaną kryzę segmentową.

Na rysunku 4 przedstawiono wyznaczony numerycznie rozkład ciśnienia statycznego przy przepływie wody ($Re=10000$) przez kryzę segmentową w przekroju osiowym płaszczyźnie przekroju wzdłużnego.



Rys. 4. Rozkład ciśnienia statycznego dla modelu 3D $k-\varepsilon$ (dla kryzy segmentowej KS - 2 przy $Re = 10\ 000$)

Z porównania wyników: badań doświadczalnych i przeprowadzonych symulacji, dla modelu 3D $k-\varepsilon$, oszacowano względny błąd symulacji δ_{sym} spiętrzenia ciśnienia na badanej kryzie segmentowej, który opisano za pomocą zależności (2):

$$\delta_{sym} = \frac{\Delta p - \Delta p_{sym}}{\Delta p} \cdot 100\% \quad (2)$$

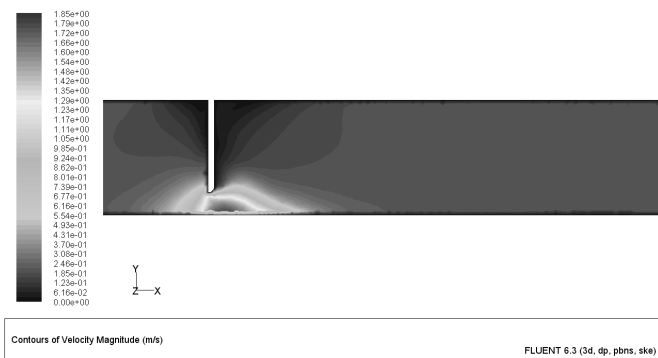
gdzie:

Δp - różnica ciśnień przed i za kryzą (doświadczenie),

Δp_{sym} - różnica ciśnień przed i za kryzą (symulacja).

Przeprowadzono obliczenia błędu symulacji dla przepływającego strumienia masy wody $q_m = 0,390$ kg/s przez układ pomiarowy kryzy segmentowej (KS - 2), błąd ten nie przekracza 7,2 %.

Na rys. 5 przedstawiono wyznaczony numerycznie rozkład pola prędkości przy przepływie wody ($Re = 10000$) przez kryzę segmentową (KS - 2) w przekroju osiowym w płaszczyźnie przekroju wzdłużnego.



Rys. 5. Rozkład pola prędkości przepływu dla modelu 3D $k-\varepsilon$ (dla kryzy segmentowej KS – 2 przy $Re = 10000$)

Z przedstawionego rozkładu prędkości przy liczbie $Re = 10000$ średnia prędkość strumienia wody na dolocie (w odległości $30 \cdot D$ przed kryzą) wynosi 0,2 m/s, natomiast w przewężeniu kryzy maksymalna prędkość dochodzi do 1,79 m/s.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione w artykule rozważania dotyczą przepływu wody przez badane doświadczalnie kryzy segmentowe. W wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych i obliczeń przepływu strumienia objętości w funkcji liczby Reynoldsa uzyskano punkty, przez które przeprowadzono linię trendu. Jest to linia prosta opisana równaniem $q_v = Re \cdot 4 \cdot 10^{-5} + 9 \cdot 10^{-16}$. Bardzo istotnym jest też to, że dla kryz segmentowych o module $m < 0,145$ (KS – 1 i KS – 2) uzyskano w zakresie liczby $Re_D = 4000 \dots 10000$ praktycznie stałe wartości stałej przepływu C^* , o charakterystykach zbliżonych do równoległych linii prostych.

Przeprowadzona symulacja numeryczna ($\delta_{sym} < 7,2 \%$) w pełni potwierdza przydatność tego sposobu badań do

wyznaczania wartości wielkości charakteryzujących przepływ w porównaniu z kosztownymi i czasochłonnymi badaniami doświadczalnymi.

Planuje się wykonane dalszych badań na oleju hydraulicznym jako medium, celem oszacowania dolnej granicy liczby Re przy której wartość stałej przepływu C^* pozostanie niezmienna i stała dla szerszego przedziału liczby Reynoldsa.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Bonfing K. W.: Technische Durchflussmessung, Vulkan-Verlag, Essen, 1977
2. Crabtree M. A.: Industrial Flow Measurement, University of Huddersfield, 2009, p.119
3. Goldstein R. J.: Fluid Mechanics Measurements, Hemisphere Publishing Corp. 1983
4. Gondek A.: Przepływomierze spiętrzające przepływ, Politechnika Krakowska, 2009
5. Kabza Z.: Pomiary strumieni płynów (przewodnik), Wydawnictwo Opolskiej, Studia i monografie z. 90, Opole 1996.
6. Kremlewski P. P.: Raschodimieriy i scetciki kolicestva vescestv, Izd. Politechnika, Saint Petersburg, 2002
7. Liptak B. G.: Flow Measurement, Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, 1993, p 85-86
8. Mrowiec A.: Analiza numeryczno – doświadczalna rozkładu parametrów przepływu w kolanie pomiarowym, Materiały – XIII Krajowa i IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Metrologia w Technikach Wytwarzania”, 2009 r, Poznań – Żerków, s. 305-308
9. Mrowiec A.: Optymalizacja przepływomierza kolanowego, Rozprawa Doktorska, Politechnika Opolska, Opole 2013 r.
10. Fluent 6.1 User's Guide, Fluent Inc., 2003

MEASUREMENT WITH SEGMENTAL ORIFICE OF FLOW MEDIUM FOR SMALL REYNOLDS NUMBERS

In Poland coal is the main energy resource. As part of the conducted research attempts were made at using suspensoids containing coal dust in gas oil and furnace oil. This leads to a reduction in NO_x and SO_x percentage without the need for an expensive desulphurization and dust extraction installation. However, there is a need for using cheap but reliable systems to measure the flow of the injected fuel. In real operating conditions various residues may often deposit in fuel transmission systems, which in turn can lead to flow fluctuations. Reliable flow factor measurement requirements can be met by segmental orifices. In the article, based on a research and measurement station, presented were the results of flow measurements with segmental orifices with point reception of differential pressure for small Reynolds numbers as well as numerical simulations. For the selected segmental orifice the flow factor characteristic in the function of the Reynolds number was calculated. In the research, water was used as the medium; the next stage of the research will involve the realization of the proposed solution with the use of hydraulic oil.

Keywords: segmental orifice, Reynolds number, flow factor.

