

Analiza możliwości zastosowania przesłony w rurociągu jako zwężki do ciągłego pomiaru strumienia masy gazu

Streszczenie. W artykule przeanalizowano możliwość zastosowania przesłony w rurociągu do pomiaru strumienia masy gazu. Dla różnych ustawień przesłony wyznaczono wartości współczynników przepływu w zależności od liczby Reynoldsa. Dla przykładowych średnich wartości współczynników przepływu wyznaczono odchyłki strumienia masy powietrza przepływającego w rurociągu

Abstract. The article analyses the possibility of using an aperture in a pipeline to measure gas mass stream. The values of flow coefficients depending on the Reynolds number were determined for different aperture settings. For exemplary mean values of flow coefficients, deviations of the mass stream of air flowing in the pipeline were determined. (Analysis of the possibility of using an aperture in the pipeline as an orifice for continuous measurement of gas mass streams)

Słowa kluczowe: strumień przepływu, zwężka, system pomiarowy, odchyłka strumienia masy

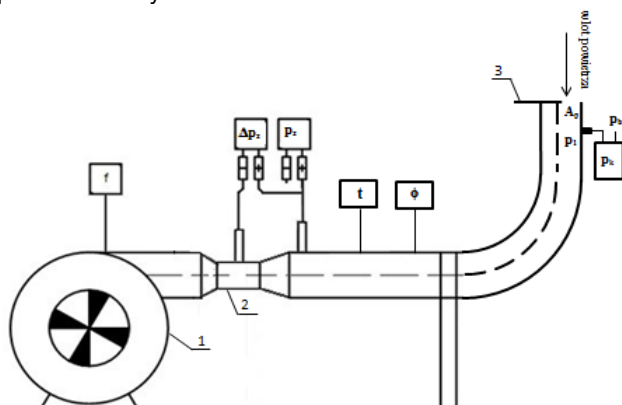
Keywords: diphas flow, orifice, measuring system, method accuracy

Wstęp

W praktyce przemysłowej najczęściej do pomiaru strumienia przepływów wykorzystuje się przepływomierze oparte na pomiarze różnicy ciśnień na elemencie spiętrzającym. Należą do nich m.in. kryzy i zwężki [1,2,3,4], a w przypadku pomiarów chwilowych różnego typu rurki spiętrzające. Jak pisze w swojej pracy Kabza [5]: "ocenia się, że około 50% wszystkich instalowanych w przemyśle przepływomierzy stanowią przepływomierze hydrodynamiczne, w których dominują przepływomierze zwężkowe". W wielu przemysłowych instalacjach przepływowych zamontowane są przesłony wykorzystywane głównie do regulacji strumienia przepływającego gazu. Ponieważ zwężają one przepływ czynnika to wydaje się, że można je z powodzeniem wykorzystać do ciągłego pomiaru strumienia przepływu. Celem pracy jest sprawdzenie możliwości wykorzystania przesłony zamontowanej w rurociągu o przekroju kołowym do ciągłego pomiaru strumienia przepływającego w instalacji powietrza. Wyznaczono wartości współczynników przepływu C_p dla różnego położenia przesłony w rurociągu, w zależności od liczby Reynoldsa. Dla wyznaczonych wartości współczynnika przepływu obliczono następnie strumienie masy gazu i wyznaczono odchyłki pomiaru w porównaniu do rzeczywistego strumienia masy powietrza w instalacji mierzonego zwężką Venturiego [6].

Realizacja Pomiaru

Badania przeprowadzono na instalacji, której schemat pokazano na rysunku 1.



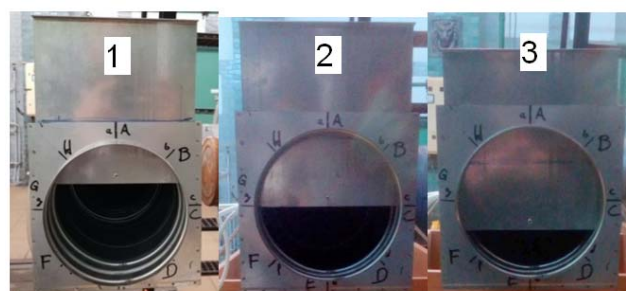
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 - wentylator promieniowy, 2 - zwężka Venturiego, 3 – przesłona w rurociągu

Pomiary przeprowadzono dla wybranych ustawień przesłony w rurociągu o średnicy $D=0,2$ m, na odpowiednio długim odcinku prostym oraz przy kilku strumieniach przepływu powietrza dla każdego ustawienia. Przykładowe położenie przesłony (kąt obrotu) przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 . Pozyce przesłony – kąt obrotu: a) 0°, b) 90°, c) 180°, d) 270°

Dla każdego kąta obrotu przesłonę ustawiano w trzech położeniach (rys.3).



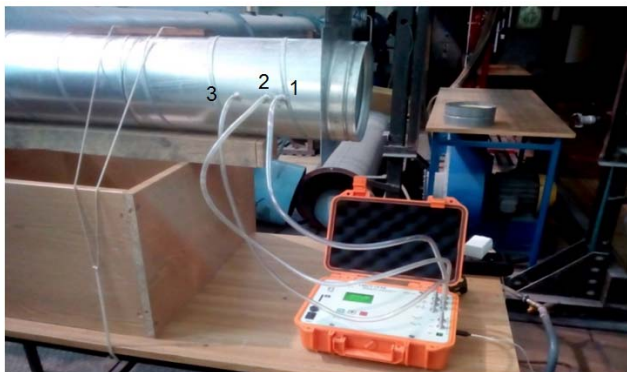
Rys. 3 . Położenia przesłony dla danego kąta obrotu

Podciśnienie p_k za przesłoną rejestrowano dla każdego jej położenia co 5 sekund za pomocą manometru cyfrowego z rozdzielczością 1 Pa. Czas rejestracji wynosił 360 s. W tym samym czasie i z tym samym krokiem pomiarowym mierzono rzeczywisty strumień masy powietrza q_{mv} zwężką Venturiego o współczynniku przepływu $C_v=0,925$. Temperaturę powietrza w instalacji

mierzone termometrem rezystancyjnym metalowym Pt100, zaś wilgotność względna ϕ termohigrobarometrem. Strumień przepływu powietrza ustawiano poprzez zmianę częstotliwości od 45 Hz do 20 Hz z krokiem co 5 Hz za pomocą falownika typu i55A.

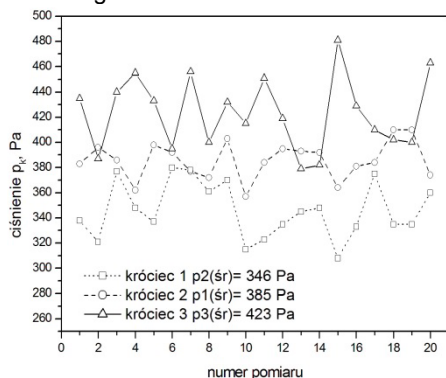
Wyniki przeprowadzonych badań

W pierwszym korku pomiarów sprawdzono, dla którego z króćców zamontowanych bezpośrednio za przesłoną mierzone podciśnienie p_k jest największe. Zdjęcia króćców zamontowanych na rurociągu przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Króćce do pomiaru podciśnienia za przesłoną

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki 20 pomiarów podciśnienia p_k dla każdego z króćców pomiarowych. Wynika z nich jednoznacznie, że największy sygnał pomiarowy rejestrowany jest przez króciec nr 3. Zatem dalsze pomiary podciśnienia p_k wykonywane były w miejscu zamontowania tego króćca.



Rys. 5. Wartości ciśnień mierzonych w poszczególnych króćcach pomiarowych

Wartości współczynników przepływu dla każdego położenia przesłony liczone z równania (1), zakładając niezmiennosc strumienia masy powietrza w instalacji pomiarowej.

$$(1) \quad q_{mV} = C_p \cdot A_p \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_p \cdot p_k}$$

gdzie: q_{mV} – strumień masy obliczany ze zwężki Venturiego, A_p - pole przekroju przepływowego przesłony, ε – współczynnik ściśliwości powietrza, ρ_p - gęstość powietrza przed przesłoną, p_k – podciśnienie za przesłoną mierzone przez króciec nr 3

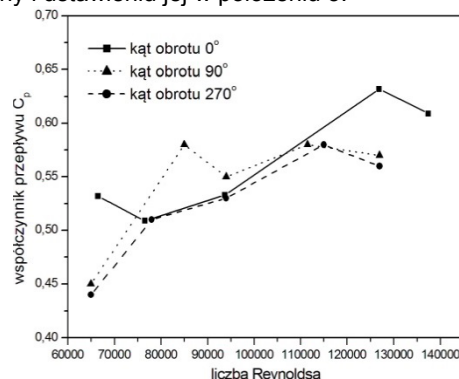
Współczynnik C_p w przypadku przesłony wyraża się ogólnym równaniem (2), analogicznie jak w przypadku kryzy pomiarowej :

$$(2) \quad C_p = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}},$$

w którym β jest przewężeniem.

Obliczony współczynnik ściśliwości bardzo niewiele różnił się od 1 dla wszystkich mierzonych przypadków, więc do dalszych obliczeń przyjęto jego wartość równą 1. Gęstość powietrza przed przesłoną była gęstością powietrza atmosferycznego.

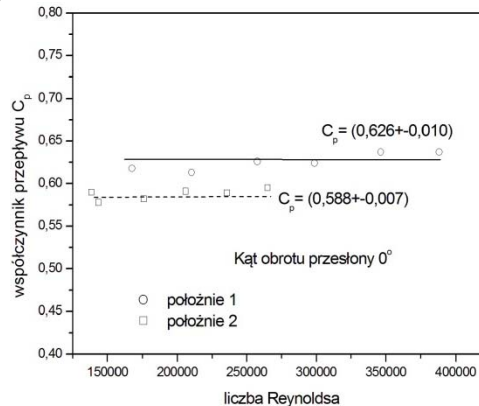
Rysunek 6 przedstawia obliczone wartości C_p w zależności od liczby Reynoldsa dla wybranych kątów obrotu przesłony i ustawieniu jej w położeniu 3.



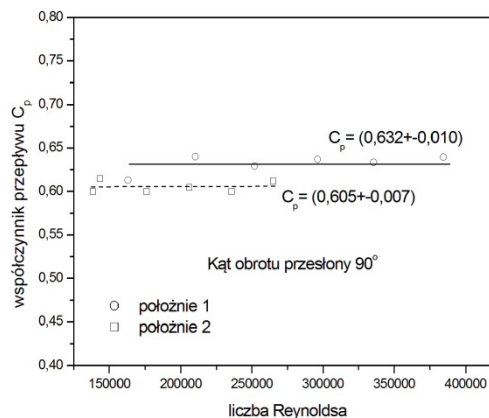
Rys. 6. Wartości współczynników przepływu od liczby Reynoldsa dla 3 położenia przesłony

Widać z niego jednoznacznie, że wartości współczynnika C_p zmieniają się w zakresie od 0,44 do 0,63 i nie są stałe w zakresie liczb Reynoldsa do ok 140000. Dla tego położenia przesłony liczba Reynoldsa była największą, jaką udało się uzyskać w tej instalacji. Zatem w tym położeniu przesłony niezależnie od jej kąta obrotu nie da się jej zastosować do pomiaru strumienia przepływającego powietrza.

Rysunki 7 i 8 przedstawiają przykładowe, obliczone wartości współczynników C_p dla położenia przesłony w pozycjach 1 i 2.



Rys. 7. Wartości współczynników przepływu od liczby Reynoldsa dla 1 i 2 położenia przesłony oraz kąta obrotu 0°

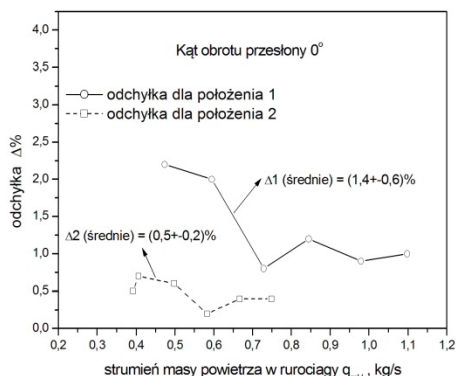


Rys. 8. Wartości współczynników przepływu od liczby Reynoldsa dla 1 i 2 położenia przesłony oraz kąta obrotu 90°

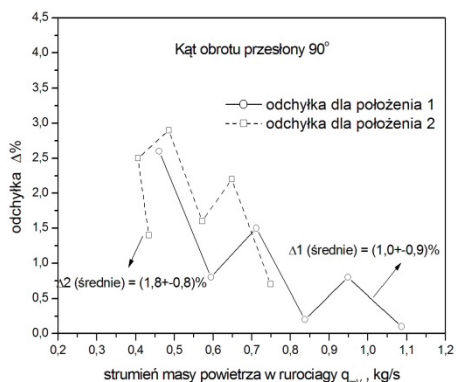
Dla średnich wartości współczynnika przepływu C_p z równania (3) obliczono odchyłkę pomiarową w odniesieniu do strumienia masy powietrza obliczonego za pomocą zwężki Venturiego:

$$(3) \quad \Delta = \left(\frac{q_{mp} - q_{mv}}{q_{mv}} \right) \cdot 100\%$$

Rysunki 9 i 10 przedstawiają przykładowe, obliczone wartości tych odchyłek.



Rys. 9. Odchyłki strumienia masy dla kąta obrotu przesłony 0°



Rys. 10. Odchyłki strumienia masy dla kąta obrotu przesłony 90°

Podsumowanie

Tematyka artykułu dotyczyła możliwości wykorzystania przesłony w rurociągu jako zwężki do ciągłego pomiaru strumienia masy przepływającego powietrza. Pomiar wykonywano w zakresie liczb Reynoldsa od 65000 do 380000. Były to wartości możliwe do uzyskania w instalacji badawczej. W artykule przedstawiono tylko wybrane, przykładowe wyniki badań. Obliczono wartości współczynnika przepływu C_p dla przesłony w zależności od liczby Reynoldsa i różnych jej położań. Z przeprowadzonych badań wynika, że dla trzeciego położenia

przesłony w rurociągu niezależnie od jej kąta obrotu wartości współczynnika przepływu dość wyraźnie zmieniały się w zależności od liczby Reynoldsa w całym zakresie możliwych do uzyskania strumieni masy powietrza (liczby Reynoldsa do 140000). Natomiast w pozostałych położeniach tj. pierwszym i drugim wartości tego współczynnika były już stałe, a odchylenie standardowe nie przekraczały 1,6% dla każdego z kątów obrotu przesłony (w artykule przedstawiono tylko wyniki dla 2 kątów obrotu przesłony). Dla obliczonych, średnich wartości współczynników przepływu C_p porównano strumienie masy w stosunku do wartości obliczonych ze zwężki Venturiego. Odchyłki pomiarowe, w każdym z analizowanych ustawień przesłony, nie przekraczały wartości równej 2%. Można zatem przyjąć, że przesłonę w rurociągu można z powodzeniem wykorzystać do ciągłych pomiarów strumienia masy powietrza przy zastosowaniu do pomiarów przetworników różnicy ciśnień, temperatury i wilgotności względnej powietrza.

Autorzy: dr hab. inż. Artur Andruszkiewicz, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: artur.andruszkiewicz@pwr.edu.pl; dr inż. Wiesław Wędrychowicz, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: wieslaw.wedrychowicz@pwr.edu.pl; mgr inż. Piotr Synowiec, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: piotr.synowiec@pwr.edu.pl; mgr inż. Piotr Piechota, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: piotr.piechota@pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Golijanek-Jędrzejczyk A., Świsulski D., Hanus R., Zych M., Petryka L., Uncertainty of the liquid mass flow measurement using the orifice plate, *Flow Measurement and Instrumentation* 62, (2018), 84-92
- [2] Mrowiec A., Kasprzak D., Pomiar kryzą segmentową strumienia medium dla małych liczb Reynoldsa, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG*, Nr 49/2016, 75-77
- [3] Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Hanus R., Zych M., Świsulski D., Determination of the uncertainty of mass flow measurement using the orifice for different values of the Reynolds number, *EPJ Web of Conferences*, 213, (2019), 02022
- [4] Pistun E., Stańda J., Pomiary ilości oraz strumienia masy i objętości przepływających płynów, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2006.
- [5] Kabza Z., Pomiary strumieni płynów (przewodnik), *Wydawnictwo Politechniki Opolskiej*, Studia i monografie, z. 90, Opole 1996
- [6] PN-EN ISO 5167:2005, Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym - Część 1: Zasady i wymagania ogólne