



Przepływomierz tarczowy do ciągłego pomiaru strumieni płynów w urządzeniach przepływowych bloku energetycznego

AUTOR: Paweł Pliszka^{a,*}

REKOMENDOWANE PRZEZ: Artur Andruszkiewicz^a

^a Zakład Miernictwa i Ochrony Atmosfery, Instytut Techniki Ciepłej Mechniki Płynów, Politechnika Wroclawska

* Adres do korespondencji: pawel.pliszka@pwr.edu.pl, tel. 71 320 37 26

STRESZCZENIE

Tematyka artykułu dotyczy ciągłych pomiarów strumieni objętości płynu w rurociągu za pomocą przepływomierza tarczowego. Dla trzech różnych tarczek wyznaczono charakterystyki przepływomierza oraz współczynniki przepływu, również w przypadku umiejscowienia przepływomierza przed i za kolaniem. Dla tych dwóch miejsc zamontowania obliczono błędy pomiaru strumienia objętości w porównaniu do wzorcowego pomiaru strumienia za pomocą zwężki podwójnej

SŁOWA KLUCZOWE: *strumień objętości, przepływomierz tarczowy, pomiary*

1. WSTĘP

Pomiar strumienia objętości cieczy w rurociągach jest ważnym elementem w zakresie sterowania, kontroli oraz regulacji układów przemysłowych. Na rynku dostępna jest duża różnorodność przepływomierzy, które wykorzystują odmienne zjawiska fizyczne wewnątrz rurociągu do wyznaczenia strumienia poruszającego się w nim medium np. różnicę ciśnień (przepływomierze zwężkowe, kolanowe), opór (przepływomierze pływakowe, rotametry), prędkość fal w płynącym medium (przepływomierze ultradźwiękowe). Jednymi z takich urządzeń należącymi do grupy przepływomierzy oporowych są przepływomierze tarczowe. Wykorzystując je można w sposób ciągły mierzyć strumień objętości zarówno gazu jak i cieczy. Ich zaletą jest również to, że nadają się one do pomiaru strumieni płynów zanieczyszczonych cząstkami stałymi, lub przenoszącymi pęcherze gazu [1], jak również płynów o wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Mogą one również mierzyć przepływ w obu kierunkach.

Wydaje się, że ich dokładność jest rzędu dokładności przepływomierzy klasycznych np. zwężkowych. Przepływomierze takie mogą zatem być stosowane do pomiarów strumieni płynów w wielu urządzeniach pracujących w elektrowni zawodowej. Podstawowym problemem w pomiarach jest umiejscowienie przepływomierza. Ukła-

dy rurociągów często nie posiadają odpowiednio długich odcinków prostych w celu utrzymania przepływu niezaburzonego. Montaż przepływomierza w takim układzie powoduje powstanie dodatkowych błędów pomiarowych [2]. Celem artykułu jest wyznaczenie przykładowych charakterystyk przepływomierza tarczowego, również w przypadku pomiaru w miejscach zaburzających przepływ, a także dla tych przypadków wyznaczenie błędów pomiarowych.

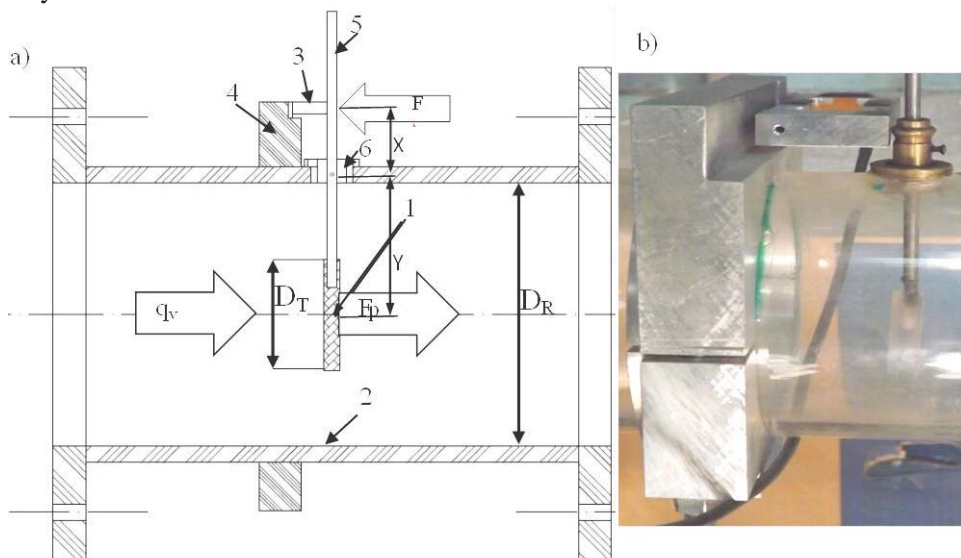
2. RÓWNANIE CHARAKTERYSTYKI PRZEPŁYWOMIERZA TARCZOWEGO

Rysunek 1 przedstawia schemat przepływomierza i zdjęcie jego prototypu. Przepływomierz składa się z zamocowanej wewnątrz rurociągu okrągłej tarczki (1) wykonanej z pleksi i umieszczonej największą powierzchnią prostopadle do kierunku przepływu. Tarczka połączona jest ze stalowym ramieniem (5) poruszającym się swobodnie w kierunku przepływu na zaczepie (6), Siła naporu hydrodynamicznego na tarczkę wyrażana jest zgodnie z równaniem dźwigni:

$$F_p \cdot Y = F \cdot X \quad (1)$$

w którym: F – siła odczytywana w trakcie pomiarów, X i Y długości ramion układu przenoszenia siły.

Siła F mierzona była przy zastosowaniu belki tensometrycznej zamocowanej do zewnętrznej ścianki rurociągu za pomocą obejmy (4) [3], a jej wartość odczytywana była (zarówno w gramach i w mV) z przetwornika stanowiącego podzespół wagowy firmy RADWAG.



Rys. 1. a) Schemat budowy modelu oporowego przepływomierza tarczowego: 1 – tarczka pomiarowa, 2 – kanał o przekroju kołowym, 3 – belka tensometryczna, 4 – obejma mocująca belkę nieruchomo na rurociągu, 5 – ramię przenoszące siłę nacisku z tarczki na belkę, 6 – zaczep do swobodnej pracy ramienia. b) Zdjęcie prototypu przepływomierza tarczowego

Strumień objętości q_v przepływającej cieczy w przestrzeni między ścianką rury, a tarczką wyraża równanie (2):

$$q_v = w \cdot \frac{\pi}{4} (D_R^2 - D_T^2) \quad (2)$$

w którym w – średnia prędkość płynu .

Siłę oporu tarczki można przedstawić w postaci równania (3):

$$F = c_T \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \quad (3)$$

w którym c_T – współczynnik oporu tarczki, ρ – gęstość płynu.

Rozwiązując te dwa równania otrzymamy równanie charakterystyki przepływomierza w postaci:

$$q_v = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot D_R \cdot \left(\frac{1 - \beta^2}{\beta} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{c_T}} \cdot \sqrt{\frac{F}{\rho}} \quad (4)$$

w którym $\beta = \frac{D_T}{D_R}$ – przewężenie.

Równanie (4) można zapisać również w postaci:

$$q_v = K \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{F}{\rho}} \quad (5)$$

$$K = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \left(\frac{1 - \beta^2}{\beta} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{c_T}} \quad (6)$$

Współczynnik K nazywa się często współczynnikiem przepływu i dla danej średnicy tarczki i średnicy rurociągu jest funkcją liczby Reynoldsa.

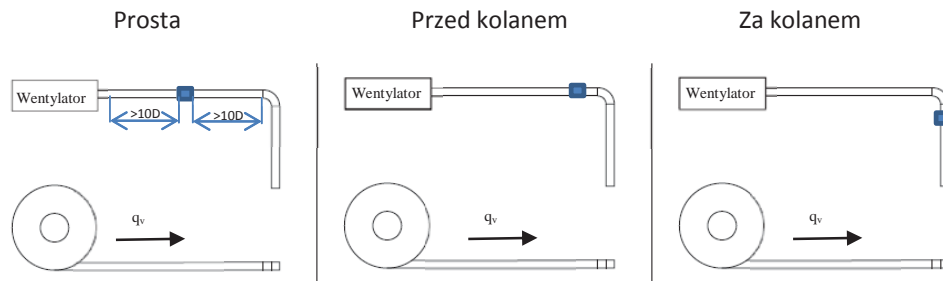
W stanie równowagi (kiedy $X = Y$) wartość siły oporu F równa się wartości siły F_p naporu hydrodynamicznego płynu na tarczkę i można ją wyznaczyć z równania 7:

$$F = F_p = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot (p_1 - p_2) \quad (7)$$

w którym p_1 i p_2 ciśnienia przed i za tarczką [4,5,6].

3. METODYKA BADAŃ

Pomiary wykonano w rurociągu o średnicy wewnętrznej $D_R = 80$ mm. W badaniach zastosowano tarczki o średnicach D_T równych odpowiednio 30, 40, 50 i 60 mm. Przepływomierz umieszczony był w trzech różnych miejscach instalacji – na długim odcinku prostym; przed i za kolaniem – jak pokazano na rysunku 2.

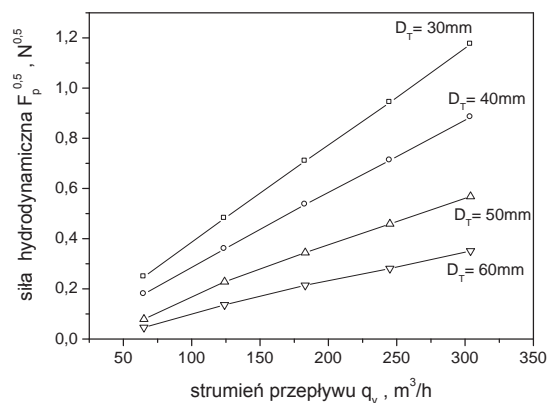


Rys. 2. Miejsca zainstalowania przepływomierza tarczowego w instalacji

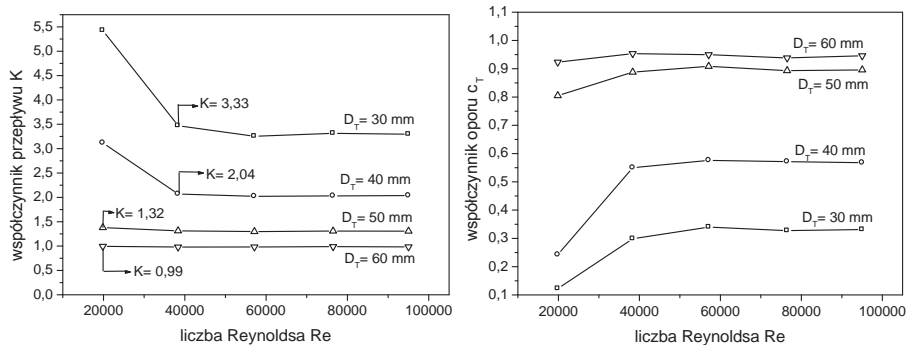
Strumień objętości q_v mierzono kontrolnie za pomocą kryzy podwójnej zamontowanej w rurociągu. Gęstość powietrza obliczano mierząc jego nadciśnienie i temperaturę wewnątrz rurociągu, natomiast wilgotność powietrza wyznaczano psychrometrem Asmanna na zewnątrz instalacji. Siłę naporu hydrodynamicznego liczone z równania (1), a wartość współczynnika K obliczano przekształcając równanie (5) do postaci:

$$K = \frac{q_v}{D_R \cdot \sqrt{\frac{F_p}{\rho}}} \quad (8)$$

Rysunki 3 i 4 przedstawiają otrzymane wyniki badań w przypadku gdy przepływomierz zamontowany został na odpowiednim długim odcinku prostym w instalacji pomiarowej. Można z nich wyznaczyć minimalną liczbę Reynoldsa począwszy od której wartości współczynnika przepływu są stałe, a więc dolny zakres pomiarowy przepływomierza. Dla liczb Reynoldsa mniejszych od minimalnej do równania charakterystyki należy wprowadzić dodatkowy współczynnik korekcyjny k_{kor} .



Rys. 3. Charakterystyki przepływomierza w przypadku pomiaru na długim odcinku prostym

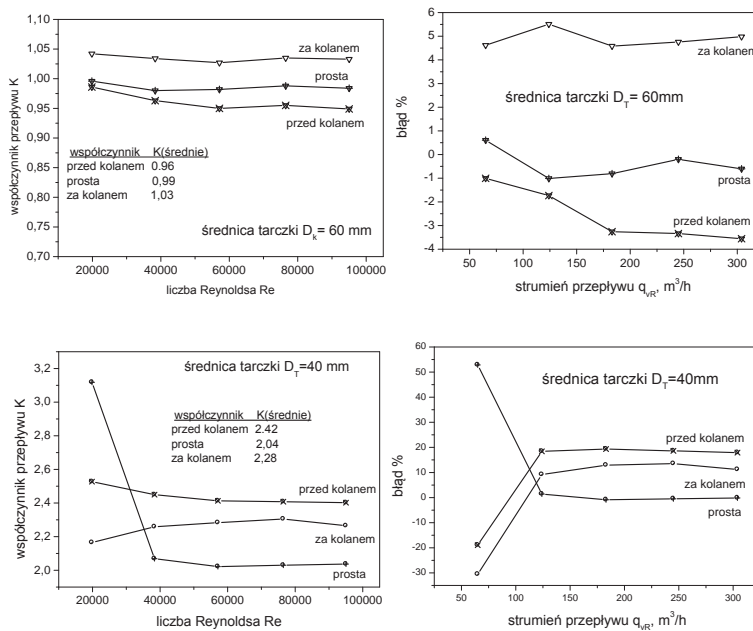


Rys. 4. Charakterystyki przepływomierza w przypadku pomiaru na długim odcinku prostym

Rysunek 5 przedstawia obliczone wartości współczynnika przepływu w zależności od liczby Reynoldsa oraz błędy pomiarów w przypadku zamontowania przepływomierza w miejscach pokazanych na rysunku 2. Błędy pomiarów liczone z równania:

$$X = \frac{q_v - q_{vR}}{q_{vR}} \cdot 100\% , \tag{9}$$

w którym q_{vR} – strumień przepływu mierzony kryzą podwójną w kanale pomiarowym.



Rys. 5. Wartości współczynnika przepływu K i błędów pomiaru dla wybranych tarczek w zależności od miejsca zamontowania przepływomierza, w funkcji liczby Reynoldsa i strumienia przepływu

4. UWAGI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono i opisano model przepływomierza tarczowego własnej koncepcji. Następnie wyznaczono jego charakterystyki w przypadku zamontowania go przed i za kolaniem rurociągu. Przeprowadzone pomiary pokazały, że dla tarczek o średnicach 50 i 60 mm w całym zakresie zmian strumienia objętości współczynnik K jest praktycznie stały (charakterystyka pierwiastka z siły naporu hydrodynamicznego od strumienia przepływu liniowa ze współczynnikiem korelacji $r = 0,99$), natomiast dla tarczek o średnicach 40 i 30 mm minimalne wartości liczby Reynoldsa wynoszą 38600. Pomiary pokazały również, że przepływomierz tarczowy wrażliwy jest na brak odpowiednio długich odcinków prostych w instalacji. Współczynnik przepływu K zmienia się znacząco w zależności od miejsca zamontowania przepływomierza. W takim przypadku nie uwzględnienie w równaniu charakterystyki nowej wartości tego współczynnika może doprowadzić do przekroczenia kilkudziesięciu procent błędów strumienia przepływu.

LITERATURA

- [1] **Mateusz Turkowski**, *Pomiary przepływów*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1987.
- [2] **Tajchman K., Pliszka P., Andruszkiewicz A., Niewczas J.**: *Badania przepływomierza ultradźwiękowego z nakładkami izolującymi od wysokiej temperatury przepływającego czynnika*, Elektronika, 12/2013, 54-58.
- [3] **Pliszka P., Andruszkiewicz A., Wróblewska E.** *Model przepływomierza tarczowego*, Elektronika.
- [4] **Taler D.**: *Pomiar ciśnienia, prędkości i strumienia przepływu płynu*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2006.
- [5] **Singh S. N., Seshadri V., Chandel Sunil, Kumar Sampath B., Verma Abhai K.**: *Cfd analysis of the performance characteristics of target flow meter*, The 37th International & 4th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power, December 16-18, 2010, IIT Madras, Chennai, India.
- [6] **Franciszek Strzelczyk, Andrzej Wawszczak**, *Miernictwo Energetyczne*, Politechnika Łódzka, Łódź, 2010.