

ANALIZA MOŻLIWOŚCI POMIARU STRUMIENIA OBJĘTOŚCI PRZEPŁYWOMIERZEM ULTRADŹWIĘKOWYM BEZ ZACHOWANIA ODCINKÓW WSTĘPNYCH

Wiesław WĘDRYCHOWICZ¹, Piotr SYNOWIEC², Artur ANDRUSZKIEWICZ³

1. Politechnika Wrocławska
tel.: 71 320 35 49 e-mail: wieslaw.wedrychowicz@pwr.edu.pl
2. Politechnika Wrocławska
tel.: 71 320 41 68 e-mail: piotr.synowiec@pwr.edu.pl
3. Politechnika Wrocławska
tel.: 71 320 23 70 e-mail: artur.andruszkiewicz@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań nad pomiarami przepływomierzem ultradźwiękowym z głowicami „Clamp-on” w niestandardowych warunkach przepływu. Badania przeprowadzono dla zaburzonego profilu prędkości przez trzy kolana i rozszerzenie przekroju rurociągu. Obejmowały one pomiary strumienia objętości w kilku odległościach od ostatniego zaburzenia, odmierzanych krotnością średnic, oraz dla dwunastu kątów ustawienia głowic na obwodzie rurociągu. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że jest możliwy pomiar w odległości mniejszej niż standardowa z dobrą dokładnością.

Słowa kluczowe: przepływomierz ultradźwiękowy, pomiar niestandardowy, dokładność pomiaru.

1. WPROWADZENIE

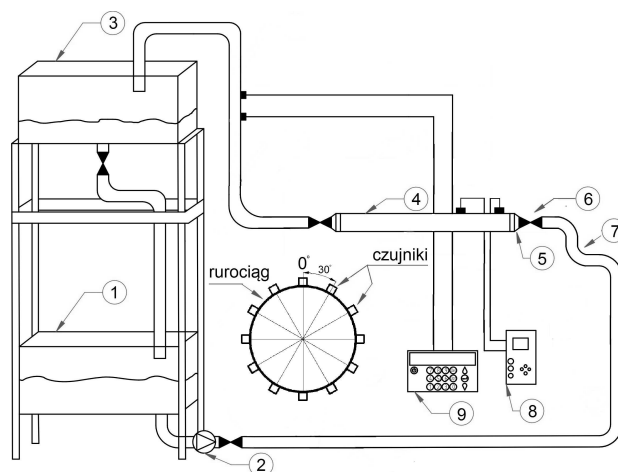
Pomiary przepływów w rurociągach o przekroju kołowym przepływomierzami ultradźwiękowymi są obecnie powszechnie stosowane. Ze względu na brak ingerencji w przepływ, jak również łatwość doraźnego montażu (czujniki „clamp on”), są one szczególnie przydatne do doraźnych pomiarów kontrolnych. Standardowy pomiar przepływomierzem ultradźwiękowym wymaga zachowania odcinków prostych rurociągów przed i za przepływomierzem, zapewniających uformowanie prawidłowego profilu prędkości w miejscu pomiaru. Odległości te zależą od średnicy rurociągu D i są wyrażone w krotności tej średnicy. Odległość ta, w zależności od zaburzenia, wynosi np. $15 D$ dla kolan w różnych płaszczyznach, a dla zaworu grzybkowego $20 D$ [1, 2, 3]. W przemyśle często występują rurociągi o dużych średnicach (powyżej 600 mm) i zachowanie dla nich odcinków wstępnych wymaga występowania długich odcinków prostych. Ze względu na ograniczenie przestrzeni zajmowanej przez instalacje, bardzo trudno znaleźć w instalacji wystarczająco długie odcinki prostego rurociągu aby można było wykonać pomiar z zachowaniem standardowych warunków [4, 5]. Zachodzi zatem potrzeba wykonania pomiarów w niestandardowych warunkach, czyli bez zachowania wymaganych odcinków prostych, co jest źródłem dodatkowego błędu pomiaru [3, 6].

W pracy przedstawiono wyniki badań nad pomiarami wykonanymi w niestandardowych warunkach, czyli

w przekrojach znajdujących się w bliskich odległościach od zaburzenia, wywołanego przez trzy kolana leżące w jednej płaszczyźnie i gwałtowne rozszerzenie rurociągu.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Pomiary wykonano na stanowisku badawczym przedstawionym na rysunku 1. Stanowisko wyposażone jest w zbiornik wody (1), pompę obiegową (2), zbiornik pośredni (3), odcinek pomiarowy wykonany ze szkła organicznego o średnicy 80 mm (4), rozszerzenie średnicy przewodu $50/80$ (5), zaworu odcinającego kulowego (6), trzech kolan zaburzających profil prędkości (7), przepływomierza ultradźwiękowego badawczego Prosonic Flow 93 (8) oraz przepływomierza referencyjnego Prosonic Flow 92 (9).



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego (objaśnienia w tekście)

3. WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

W ramach przeprowadzonych badań wykonano pomiary strumienia objętości przepływomierzem ultradźwiękowym w ustalonych odległościach od rozszerzenia ($0 D$, $1 D$, $2 D$, $3 D$, $4 D$, $5 D$, $6 D$, $7 D$, $8 D$, $9 D$ i $15 D$), zmieniając kąt zamocowania czujników ultradźwiękowych na obwodzie rury o kąt 30° (dla kątów 0° ,

30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°).

W czasie pomiarów czujniki montowano po jednej stronie rurociągu metodą typu V uzyskując dwukrotne przejście fali ultradźwiękowej z jednokrotnym odbiciem po przeciwnej stronie rurociągu. Do określenia odległości pomiaru przyjęto odległość czujnika ultradźwiękowego znajdującego się bliżej zaburzenia.

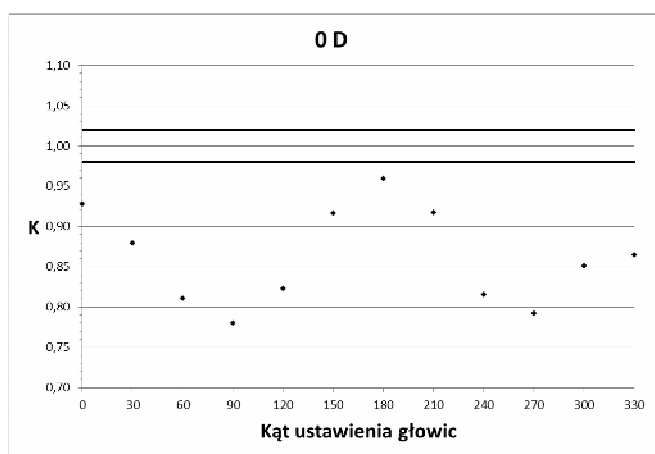
Uzyskane wyniki porównywano ze wzorcowym wynikiem pomiaru strumienia objętości wykonanym równolegle drugim przepływomierzem ultradźwiękowym (referencyjnym), zainstalowanym z zachowaniem wymaganych odcinków prostych, na dalszym odcinku instalacji. Porównanie wykonano poprzez wyznaczenie współczynnika poprawkowego K , zdefiniowanego jako iloraz strumienia z przepływomierza referencyjnego przez strumień z przepływomierza badawczego wzór (1).

$$K = \frac{q_{V_{ref}}}{q_{V_{pom}}} \quad (1)$$

gdzie: K – współczynnik poprawkowy, $q_{V_{ref}}$ – strumień objętości zmierzony przepływomierzem referencyjnym, $q_{V_{pom}}$ – strumień objętości zmierzony przepływomierzem badawczym.

Tak zdefiniowany współczynnik przybiera wartość 1, gdy wyniki obu przepływomierzy są zgodne, oraz wartości mniejsze od jedynki, gdy wynik pomiaru badawczego jest wyższy niż wynik przepływomierza referencyjnego. Wyniki porównania przedstawiono w postaci rozkładów współczynnika K w funkcji kąta, jak również w funkcji odległości od zaburzenia. Uzyskane wyniki pozwoliły na przeprowadzenie analizy czy istnieje przekrój znajdujący się w mniejszej odległości niż wymagany standardowy, w którym współczynnik K osiągnie wartość 1, lub przynajmniej wartość znajdującą się w zakresie określonym błędem granicznym (0,98 – 1,02).

Ze względu na spodziewaną deformację profilu prędkości w postaci jego asymetrii szczegółowo przebadano rozkłady współczynnika K w funkcji kąta. Na rysunku 2. przedstawiono ten rozkład w przekroju bezpośrednio za rozszerzeniem.

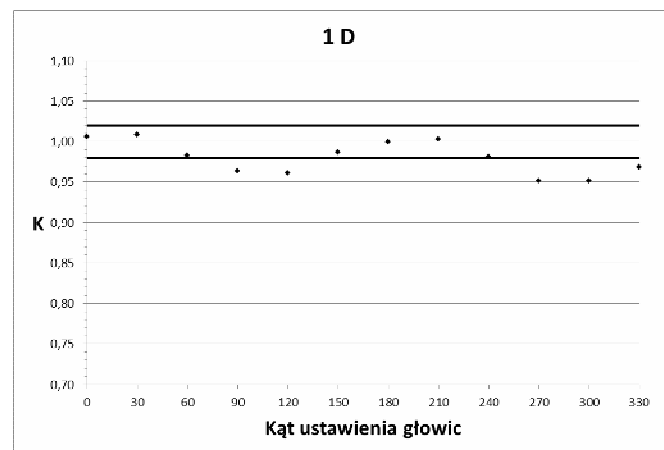


Rys. 2. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji kąta, dla pomiarów w bezpośrednim sąsiedztwie zaburzenia

Na osi odciętych przedstawiono kąt ustawienia głowic ultradźwiękowych, a na osi rzędnych wartość współczynnika K . Można zauważyć, że wskazywana wartość przepływu dla

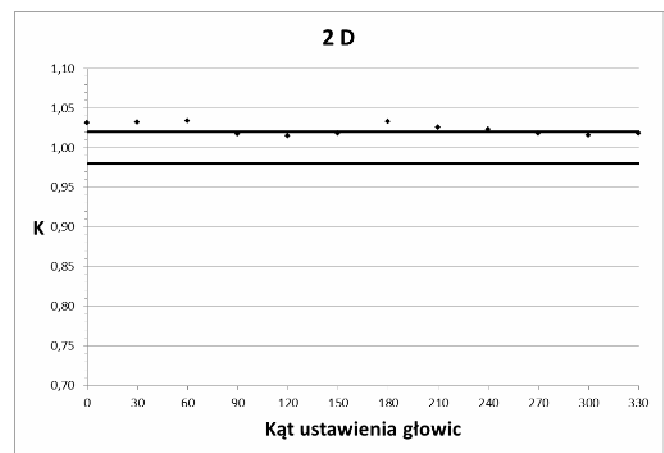
każdego kąta jest zawyżona, a szczególnie widoczna jest zmiana zmierzonego strumienia w zależności od kąta pomiaru. Obserwowana jest symetria tej zmienności względem płaszczyzny 0°-180°, w której współczynnik K ma wartość najbliższą jedności. W tej płaszczyźnie leżą kolana znajdujące się przed rozszerzeniem. Najmniejsza dokładność wystąpiła w płaszczyźnie prostopadłej, gdzie obserwuje się mocno zawyżone wskazanie.

Na rys. 3. przedstawiono wyniki pomiarów uzyskane w odległości 1 średnicy za rozszerzeniem. Można zauważyć, że w dalszym ciągu występuje zależność współczynnika K od kąta ale zależność jest mniej znacząca niż w poprzednim przypadku. Na rysunku widać, że w płaszczyźnie kolan wyniki dobrze zgadzają się z pomiarami wzorcowymi (K bliskie jedności), a dla większości kątów są w granicy błędu granicznego.



Rys. 3. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji kąta, dla pomiarów w odległości 1 D za zaburzeniem

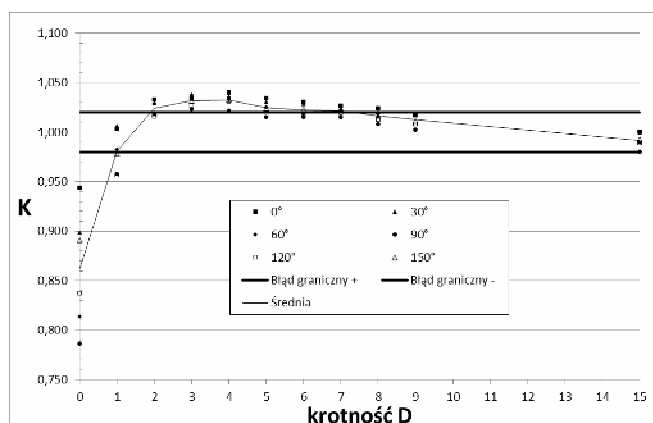
Wyniki pomiarów w odległości 2 średnic od zaburzenia (rys. 4.) pokazują wzrost wartości współczynnika K powyżej jedności, przy czym w tym przypadku w płaszczyźnie kolan, współczynnik K ma wartość najbardziej odbiegającą od jedności, przekraczającą wartość błędu granicznego. Można zauważyć, że zmiana współczynnika K w funkcji kąta wraz z oddalaniem od zaburzenia jest coraz mniejsza.



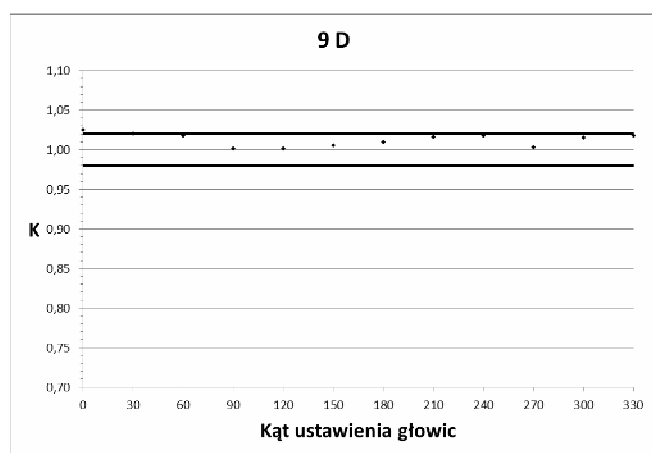
Rys. 4. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji kąta, dla pomiarów w odległości 2 D za zaburzeniem

Zestawienie wyników pomiarów w postaci współczynnika K w funkcji odległości od zaburzenia przedstawiono na rysunku 5. Można zauważyć, że wraz ze

zwiększaniem odległości od zaburzenia wpływ kąta zamontowania czujników ultradźwiękowych jest coraz mniejszy (rys. 6. i rys. 7.) i w odległości 9 średnic dla każdego kąta wartości mieszczą się w granicach błędu granicznego.



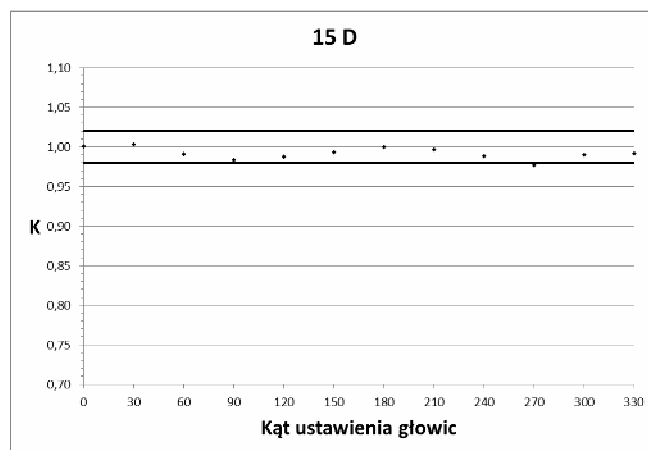
Rys. 5. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji odległości od zaburzenia



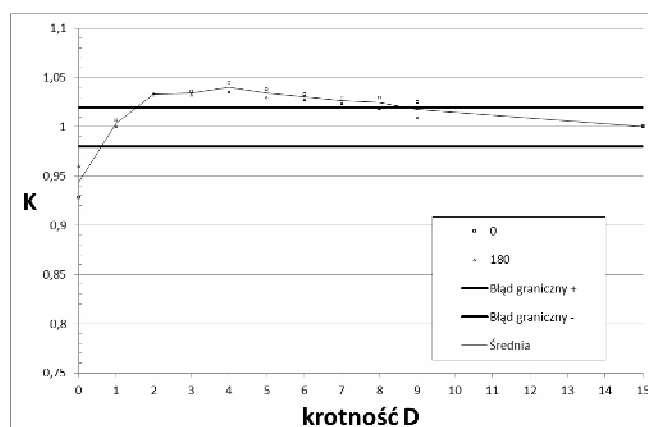
Rys. 6. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji kąta, dla pomiarów w odległości 9 D za zaburzeniem

Na rysunku 5. wyniki pomiarów dla poszczególnych kątów przedstawiono znacznikami, a wartość średnią dla danego przekroju linią. Analizując zmianę współczynnika K w funkcji odległości od zaburzenia obserwuje się wzrost od minimum w bezpośrednim sąsiedztwie zaburzenia do maksimum w odległości 3 średnic, a następnie powolny spadek do jedności w odległości 15 średnic, gdzie już można mówić o wyniku zgodnym z przepływomierzem wzorcowym. Jednocześnie w odległości jednej średnicy za zaburzeniem wartość współczynnika K równa jest 1, dla pomiarów wykonanych dla kąta 0° i 180° , czyli w płaszczyźnie kolan.

Rozkład wartości współczynnika K w funkcji odległości od zaburzenia dla kątów 0° i 180° przedstawiono na rysunku 8. Można zatem stwierdzić, że jest możliwość dokładnego pomiaru strumienia objętości bez zachowania standardowych odcinków prostych. W badanym przypadku zaburzenia w postaci kilku kolan znajdujących się w jednej płaszczyźnie i gwałtownego rozszerzenia miejscem prawidłowego pomiaru będzie odległość jednej średnicy od ostatniego elementu zaburzenia i przy założeniu czujników ultradźwiękowych w płaszczyźnie kolan.



Rys. 7. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji kąta, dla pomiarów w odległości 15 D za zaburzeniem



Rys. 8. Wartości współczynnika poprawkowego K w funkcji odległości od zaburzenia dla pomiarów w płaszczyźnie 0°

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku pomiarów strumienia objętości przepływomierzem ultradźwiękowym istnieje możliwość wykonania poprawnych pomiarów bez zachowania standardowych długości odcinków prostych. Warunkiem poprawnego pomiaru jest umieszczenie głowic ultradźwiękowych w odpowiedniej odległości i we właściwej płaszczyźnie pomiarowej. Odległość i kąt mogą być różne dla różnego rodzaju zaburzenia strugi i wymagają wyznaczenia doświadczonego.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Flow handbook, Endress+Hauser, 2004.
2. Salami L., Errors in the velocity area method of measuring asymmetric flows in circular pipes. Modern developments in Flow measurement. 21 September 1971, strony 381-399.
3. Waluś S.: Przepływomierze ultradźwiękowe: metodyka stosowania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
4. Andruszkiewicz A., Kubas K., Pliszka P., Wędrychowicz W.: Pomiary strumieni masy w rurociągach wody chłodzącej skraplacze w elektrowni zawodowej, Pomiary Automatyka Robotyka, Nr 9, 2014, s. 91-95.

5. Synowiec P., Wędrychowicz W., Andruszkiewicz A., Pomiar strumienia przepływów metodami ultradźwiękowymi za rozszerzeniem rurociągu. *Elektronika: technologie, konstrukcje, zastosowania*. 2016, 09/2016, strony 98-100.
6. Synowiec P., Andruszkiewicz A., Wędrychowicz W., Regucki P., Badania możliwości pomiaru strumienia objętości czynnika dwufazowego przepływomierzem ultradźwiękowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 10/2015 Str. 179-182.

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF VOLUME FLOW MEASUREMENT BY ULTRASONIC FLOW METER WITHOUT PRELIMINARY SECTIONS IN PIPELINE

The paper presents the results of experimental studies on the ability to measure ultrasonic flowmeters with "Clamp-on" pipelines in conditions where it is not possible to apply the required straight sections before and after the measurement site. The study was carried out at a test rig where the speed profile disorder was characterized by a three-knee system and a rapid expansion of the pipeline cross section. Experimental studies consisted of measuring the volume flow with a reference flow meter placed in the pipeline with the required straight sections before and after the flow meter, and parallel measurements carried out with a second ultrasonic flowmeter assumed successively in cross-sections within the pipeline diameters (0 D, 1 D, 2 D, 3 D, 4 D, 5 D, 6 D, 7 D, 8 D, 9 D and 15 D). In each of these sections, 12 measurements were taken at the changing angle of the heads in a surface perpendicular to the axis of the pipeline. Measurements were made at angles 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° and 330°, taking an angle of 0° on the upper surface of the pipeline. The flow disturbances were in one surface corresponding to 0° and 180°. For ease of comparison the flow meters have a correction factor K which is the ratio of the reference flow meter to the flowmeter. As a result of the tests, it was found that with the distance the factor changes in a way that, just behind the disturbance, the flow is bigger than the standard for each angle, while the smallest deviation occurs for the angles 0 degrees and 180 degrees and the largest for 90 degrees and 270 degrees. With the distance from the disturbances the angle influence was smaller and the measured flow decreased to a minimum at a 2D distance where it was lower than the reference flow. By further increasing the distance, the measurement result would increase to, within the distance of 15D, be the same as the reference flow. It has been found that the accurate measurement is possible at a distance of 1D and for angles 0 degrees and 180 degrees.

Keywords: Ultrasonic flowmeter, non-standard measurement, measurement accuracy.