

Artur ANDRUSZKIEWICZ<sup>1</sup>, Konrad TAJCHMAN<sup>2</sup>, Wiesław WĘDRYCHOWICZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> POLITECHNIKA WROCLAWSKA, INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ I MECHANIKI PŁYNÓW, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<sup>2</sup> POLITECHNIKA WROCLAWSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNO-ENERGETYCZNY, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

## Zastosowanie podkładek separujących od temperatury w bezinwazyjnych pomiarach strumienia przepływu metodą ultradźwiękową

Dr hab. inż. Artur ANDRUSZKIEWICZ

Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Zakładzie Miernictwa i Ochrony Atmosfery, w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej. Studia na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym ukończył w 1986 roku, w 1996 r. uzyskał tytuł doktora, a w roku 2008 stopień doktora habilitowanego. Interesuje się metrologią, miernictwem energetycznym i badaniem maszyn i urządzeń energetycznych.



e-mail: artur.andruszkiewicz@pwr.edu.pl

Dr inż. Wiesław WĘDRYCHOWICZ

Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Zakładzie Miernictwa i Ochrony Atmosfery w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej. Studia na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym ukończył w 1995 roku, a w 2001 roku uzyskał tytuł doktora. Interesuje się mechaniką płynów, pomiarami maszyn i urządzeń energetycznych oraz miernictwem termooenergetycznym.



e-mail: wieslaw.wedrychowicz@pwr.edu.pl

Mgr inż. Konrad TAJCHMAN

Jest absolwentem Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej. W 2012 obronił tytuł inżyniera, a w 2014 uzyskał tytuł magistra. W ramach pracy dyplomowej inżynierskiej i magisterskiej interesował się pomiarem przepływów metodą ultradźwiękową. Obecnie pracuje poza uczelnią.



e-mail: konrad.tajchman@gmail.com

### Streszczenie

W pracy opisano zagadnienie pomiarów strumienia objętości płynu przepływającym przez ultradźwiękowy miernik przepływu z zastosowaniem podkładek separujących od wysokiej temperatury. Przebadano wpływ podkładek na wynik pomiaru w zależności od wprowadzonych parametrów do jednostki centralnej przepływomierza ultradźwiękowego. Dla jednej, wybranej średnicy rurociągu pokazano, że dla odpowiednich wartości parametrów pomiarowych wprowadzanych do jednostki centralnej przepływomierza, mierzony przepływ można korygować jednym współczynnikiem wyznaczonym doświadczalnie.

**Słowa kluczowe:** przepływomierz ultradźwiękowy, strumień przepływu, dokładność pomiaru.

### Application of washers separating from temperature to non-invasive measurements of flow stream by the ultrasonic method

#### Abstract

This paper describes the issue of measuring the stream of fluid volume by an ultrasonic flow meter with application of washers separating from high temperature. On the position shown in Fig.1, there was experimentally investigated the influence of an additional insulating material located between the ultrasound head and a pipe on indication of the ultrasonic flow meter. Based on the measurements, there was developed a method of entering data to the central unit of the flow meter and there was tested the error of the flow meter indication according to the actual value measured by the vortex flow meter. It was found that according to the way of taking into account of the data entered to the central unit and the distance between the ultrasound heads, the measurement results were loaded with a different systematic error. The obtained measurement results are shown in Fig. 2. There was worked out a method of taking into account the presence of washers in the central unit so that instead of introducing washers material properties of washers there is changed the pipe diameter by increasing it by half the thickness of the washers. In this case the distance between the heads is set according to the central unit calculation. In Fig. 3, it is shown that in the proposed method the systematic error of flow measurement in the whole measuring range can be corrected by one coefficient determined experimentally.

**Keywords:** ultrasonic flow meter, stream flow, measurement accuracy.

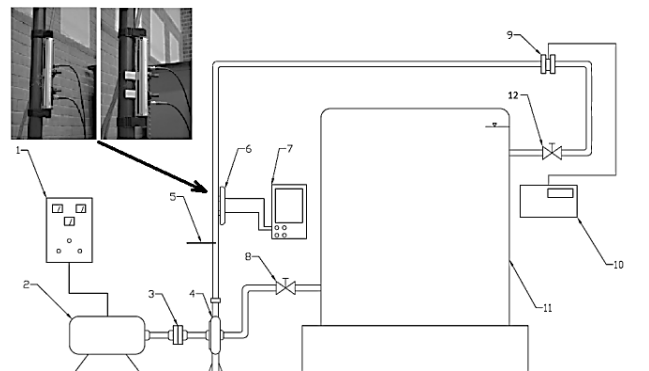
## 1. Wprowadzenie

W praktyce pomiarowej często spotyka się konieczność bezinwazyjnego pomiaru strumienia objętości w rurociągu, którego temperatura przekracza możliwości czujników ultradźwiękowych [1]. Dla przykładu, w pracach bilansowych układów odsalania i odmulania kotłów parowych, wymagane są pomiary strumieni przepływów wody o temperaturze dochodzącej do kilkuset stopni Celsjusza. Uniemożliwia to zastosowanie do pomiarów komercyjnych przepływomierzy ultradźwiękowych, gdyż maksymalna temperatura pracy ich czujników nie może przekraczać 180 - 210°C. Sposobem na wykonanie takich pomiarów może być zastosowanie podkładek izolujących czujniki od wysokiej temperatury czynnika, które montuje się między czujnikiem ultradźwiękowym, a ścianką rurociągu. Jednak wprowadzenie dodatkowych materiałów wpływa na zmianę czasu przejścia fali ultradźwiękowej między czujnikami ultradźwiękowymi, co powoduje powstanie błędów systematycznego pomiaru [2, 3]. W celu poprawienia wyniku pomiaru należy do jednostki centralnej przepływomierza, która oblicza odległość między czujnikami wprowadzić nową wartość grubości ścianki rurociągu z uwzględnieniem wymiarów podkładek lub zmienić wymiar wprowadzanej średnicy rurociągu. Celem opisanych w artykule badań było sprawdzenie, czy w ogóle istnieje możliwość pomiaru strumienia przepływu w układzie z podkładką, a także, w przypadku pozytywnej odpowiedzi, wybranie najlepszej konfiguracji parametrów wprowadzanych do jednostki centralnej przepływomierza, dla których błąd systematyczny pomiaru strumienia przepływu jest najmniejszy. Rozwiązanie tego zagadnienia umożliwi rozszerzenie zakresu temperaturowego dla standardowych czujników ultradźwiękowych znajdujących się w wyposażeniu każdego przepływomierza. Należy zaznaczyć, że prowadzone badania są początkowym etapem prac nad możliwością wykorzystania komercyjnych przepływomierzy ultradźwiękowych do pomiaru strumienia wody o wysokiej temperaturze. Podjęto je na wniosek jednej z elektrowni zawodowych, która chciała wykorzystać przepływomierz ultradźwiękowy Prosonic Flow 92 firmy Endress & Hauser do pomiarów strumienia przepływu wody o wysokich temperaturach. Ze względu na początkowy etap prac do tej pory badania zostały wykonane tylko na jednym rurociągu o średnicy 50 mm, dla stałej temperatury wody.

## 2. Stanowisko badawcze

Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys. 1. W skład stanowiska wchodziły następujące elementy: zbiornik wody obiegowej (11), pompa wirowa (4) sprzężona za pomocą sprzęgła (3) z silnikiem elektrycznym (2) sterowanym układem tyristorowym (1), termometr (5), przepływomierz wirowy (9) z przetwornikiem (10), przepływomierz ultradźwiękowy firmy Endress+Hauser typ Prosonic Flow 92 (7) z końcówkami ultradźwiękowymi przeznaczonymi do

małych średnic (6), zawór regulacyjny (12) i zawór ocinający (8). Rurociąg stanowiący odcinek pomiarowy wykonany jest ze stali węglowej o średnicy zewnętrznej  $D = 60,25$  mm i grubości  $g = 3,30$  mm. Pomiar grubości rurociągu wykonano grubościomierzem Metrison Sono M 610. W pomiarach zastosowano podkładki izolujące wykonane z politetrafluoroetylenu (teflonu) o grubości 4,8 mm [4].



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego. Opis elementów w tekście  
Fig. 1. Experimental setup. The details described in the text

### 3. Przebieg pomiarów

Pomiary strumienia przepływu metodą ultradźwiękową przeprowadzono na pionowym, prostym odcinku rurociągu w odległości ponad 10 średnic za pompą [5]. Pomiary wykonano przy czterech sposobach zamontowania czujników ultradźwiękowych. W pierwszym sposobie czujniki zamontowano bez podkładek, a do jednostki centralnej wprowadzono rzeczywistą średnicę rurociągu i grubość ścianki. Pomiar ten miał na celu porównanie wartości strumieni zmierzonych metodą ultradźwiękową ze wskazaniami przepływomierza wirowego, który był przepływomierzem wzorcowym również w pomiarach, w których zastosowano podkładki.

Drugi sposób pomiaru polegał na założeniu podkładek izolujących pomiędzy czujniki ultradźwiękowe a rurociąg, przy odległości między czujnikami jak w pomiarze pierwszym. Dla dobrego kontaktu podkładek z rurociągiem i czujnikami ultradźwiękowymi, oraz w celu wyparcia powietrza, między czujniki a podkładki oraz podkładki i ściankę rurociągu wprowadzono warstwę sprzęgającą – wazelinę.

W trzecim przypadku wprowadzono do jednostki rzeczywiste wartości materiału rurociągu i materiału podkładek oraz ich grubości. Grubość i materiał podkładek wprowadzono do przepływomierza jako materiał wykładziny wewnętrznej rurociągu. Rozstaw czujników zastosowano zgodny z wylczeniem jednostki centralnej dla wprowadzonych danych.

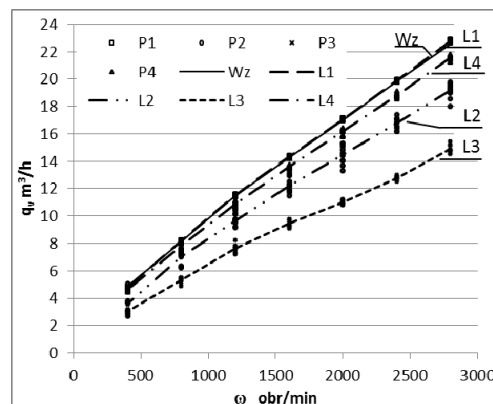
W czwartym sposobie pomiaru w jednostce centralnej wprowadzono rzeczywistą grubość rurociągu bez uwzględnienia podkładek, natomiast zwiększono średnicę rurociągu o połowę grubości podkładki. Czujniki zamontowano w odległościach wynikających ze wskazań jednostki centralnej [6].

Dla danego strumienia przepływu, wykonano po dziesięć pomiarów przepływomierzem ultradźwiękowym w stałych odstępach czasu jak również odczytywano wskazania przepływomierza wirowego. Pomiary wykonano przy siedmiu strumieniach wody, które były ustawiane przez zmianę prędkości obrotowej silnika pompy.

### 4. Wyniki pomiarów

Pomiary przeprowadzone dla pierwszego przypadku pozwoliły na porównanie wskazań wzorcowego przepływomierza wirowego, ze wskazaniami przepływomierza ultradźwiękowego bez podkład-

dek. Z porównania danych uzyskanych z pomiaru obu przepływomierzami, stwierdzono dużą zgodność wskazań. Potwierdzono w ten sposób przydatność przepływomierza wirowego jako wzorca dla przepływomierza ultradźwiękowego z zastosowanymi podkładkami. Zestawienie wyników wszystkich pomiarów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wyniki pomiarów wzorcowych i z zastosowaniem podkładek separujących od temperatury

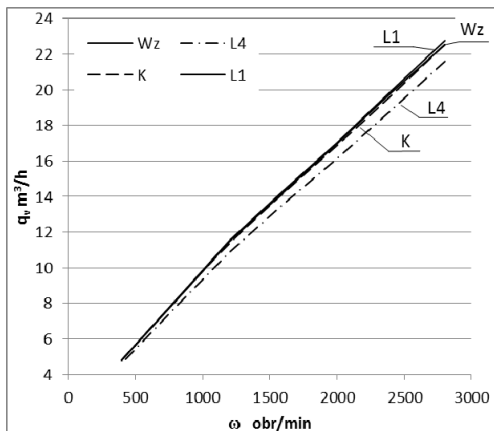
Fig. 2. Measurement results obtained for reference conditions and with the use of washers separating from temperature

Na osi odciętych naniesiono prędkość obrotową wału pompy, na osi rzędnych mierzony strumień objętości. Wartości pomiarowe przedstawiono na wykresie punktami, a wartości uśrednione połączone liniami. Linia ciągła (Wz) jest pomiarem uzyskanym przepływomierzem wirowym, który został uznany jako wzorcowy strumień objętości. Wyniki pomiarów w pierwszym przypadku oznaczono jako P1, a linię dla wartości średnich L1. Linia ta pokrywa się z linią wzorcową (Wz). Można zauważyć, że wyniki pomiarów P1 mają bardzo mały rozrzut.

Wyniki pomiarów uzyskane po wprowadzeniu podkładek separujących bez uwzględnienia zmian w jednostce centralnej oraz bez zmiany odległości czujników oznaczone są na wykresie P2, a linia z wartości średnich linią L2. Można zauważyć duży rozrzut wartości mierzonych (duże błędy przypadkowe) i dużą odchyłkę wartości średniej od wartości wzorcowej. Ten sposób pomiaru nie nadaje się do zastosowania, gdyż jest obarczony dużymi błędami.

W przypadku wprowadzenia rzeczywistych wartości grubości i własności fizycznych podkładek do jednostki centralnej przepływomierza (sposób trzeci) uzyskano punkty oznaczone P3 i linią L3. Można zauważyć, że uzyskane wyniki pomiarów znacząco odbiegają od wartości wzorcowych, ale cechuje je znacznie mniejszy rozrzut punktów niż w przypadku poprzednim. Stwierdzono, że jednostka centralna przepływomierza ultradźwiękowego, pomimo zaimplementowanego algorytmu dla ścianki składającej się z dwóch warstw, nie mierzy poprawnie gdy warstwa dodatkowa znajduje się na zewnątrz rurociągu.

Wyniki pomiarów dla przypadku czwartego na wykresie oznaczone są jako P4, a linia L4. Można zauważyć, że rozrzut punktów pomiarowych jest mniejszy niż w przypadku P2, a porównywalny z rozrzutem w serii P3, ale jednak większy niż w przypadku pomiaru bez podkładek. Wartość średnia pomiarów jest najbliższej wartości wzorcowej ze wszystkich pomiarów z podkładkami. Dla wyników uzyskanych w czwartym przypadku wyznaczono współczynnik korekcyjny pozwalający dopasować wyniki pomiarów z podkładkami do wyników pomiarów wzorcowych rys. 3. Stwierdzono, że dla całego zakresu pomiarowego można zastosować jeden współczynnik korekcyjny, którego wartość w tym przypadku wynosiła  $K=1,044$ . Na rys. 3 przedstawiono wykres z liniami: wzorcową (Wz), z pomiarów sposobem czwartym (L4) i linią (K) po korekcie wyników L4 współczynnikiem  $K=1,044$ .



Rys. 3. Porównanie pomiarów strumienia metodą wzorcową, z podkładkami bez korekty i z podkładkami po korekcie

Fig. 3. Comparison of flow measurements using the standard method with washers without correction and with washers after correction

## 5. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych, wstępnych pomiarów pokazały, że jest możliwy pomiar strumieni przepływów z podkładkami zamontowanymi pod czujniki ultradźwiękowe, które przypadku wysokich temperatur płynu mogą rozszerzyć zakres temperaturowy czujników i zarazem chronią je przed uszkodzeniem. W celu minimalizacji błędów pomiaru do jednostki centralnej należy wprowadzić rzeczywistą grubość ścianki rurociągu (grubość ścianki rurociągu bez uwzględniania podkładki) a średnicę rurociągu zwiększyć o połowę grubości podkładki. Należy zaznaczyć, że wyniki te uzyskano tylko dla jednej średnicy rurociągu, i na

tym etapie prac badawczych nie można stwierdzić czy jest to zasada ogólna. W dalszym ciągu prowadzone będą badania na podstawie których zostanie podjęta próba wyznaczenia ogólnego wzoru pozwalającego na pomiary standardowym przepływomierzem ultradźwiękowym z zastosowaniem podkładek. Będą one wykonywane w warunkach przemysłowych dla kilku średnic rurociągów, dla różnego materiału podkładek oraz dla temperatur przepływającej wody przekraczającej dopuszczalny zakres temperaturowy czujników ultradźwiękowych. Równocześnie mierzony będzie przebieg zmian temperatury podkładki w czasie w celu kontroli czasu wykonywania pomiarów.

## 6. Literatura

- [1] Instrukcja obsługi przenośnego przepływomierza ultradźwiękowego prosonic flow 92.
- [2] Śliwiński A.: Ultradźwięki i ich zastosowania, WNT, Warszawa 2001.
- [3] Waluś S.: Przepływomierze ultradźwiękowe. Metodyka stosowania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
- [4] K. Tajchman: Pomiary strumieni przepływów rurociągach o średnicach do 100 mm przepływomierzami ultradźwiękowymi, Praca dyplomowa stopnia inżynierskiego, Wrocław 2012.
- [5] Piotrowski J.: Pomiary-czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, WNT, Warszawa 2009.
- [6] Tajchman K.: Badanie przepływomierza ultradźwiękowego z nakładkami izolującymi od wysokiej temperatury czynnika i w niestandardowych warunkach pracy, Praca dyplomowa stopnia magisterskiego, Wrocław 2014.

otrzymano / received: 14.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

### Wersja elektroniczna miesięcznika PAK

Artykuły opublikowane w PAK po roku 1989 są dostępne w wersji elektronicznej m.in. w bazie artykułów PAK ([www.pak.info.pl](http://www.pak.info.pl)), w folderze „Archiwum numerów miesięcznika PAK”:

- pełne teksty artykułów z poprzednich lat i streszczenia artykułów najnowszych można pobrać bezpłatnie,
- pełne teksty artykułów z bieżącego roku można otrzymać za opłatą (5 PLN +1,15 PLN VAT).

### Informacja redakcji dotycząca artykułów współautorskich

W miesięczniku PAK od numeru 06/2010 w nagłówkach artykułów współautorskich wskazywany jest autor korespondujący (Corresponding Author), tj. ten z którym redakcja prowadzi wszelkie uzgodnienia na etapie przygotowania artykułu do publikacji. Jego nazwisko jest wyróżnione drukiem pogrubionym. Takie oznaczenie nie odnosi się do faktycznego udziału współautora w opracowaniu artykułu. Ponadto w nagłówku artykułu podawane są adresy korespondencyjne wszystkich współautorów.

Wprowadzona procedura wynika z międzynarodowych standardów wydawniczych.