

Stanisław WALUŚPOLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI,
ZAKŁAD SYSTEMÓW POMIAROWYCH**Pomiar strumienia płynu w rurociągu za pomocą przepływomierza próbkującego z punktowym pomiarem prędkości**

Dr hab. inż. Stanisław WALUŚ

Absolwent Wydziału Automatyki Politechniki Śląskiej, dyplom (1970) w zakresie automatyki przemysłowej. Doktorat w 1980 r. Habilitacja na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki w 2004 r. w zakresie dyscypliny KBN: automatyka i robotyka (specjalność: metrologia, miernictwo przemysłowe). Autor ponad 110 publikacji naukowych, w tym podręcznika akademickiego: „Przepływomierze ultradźwiękowe. Metodyka stosowania”. Sekretarz Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach.



e-mail: stanislaw.walus@polsl.pl

Streszczenie

W pracy zdefiniowano przepływomierz próbkujący i porównano go z przepływomierzem całoprzewodowym. Do modelowania rozkładu prędkości w rurociągu użyto wzoru Prandtla i uniwersalnego. Przedstawiono pięć sposobów umiejscowienia czujnika prędkości punktowej w powierzchni rurociągu: w osi, w miejscu przelomowym, w miejscu równopowierzchniowym, w miejscu równostrumieniowym i w miejscu optymalnym. Dla położenia optymalnego sformułowano dwie funkcje celu i dla konkretnego przypadku wyznaczono położenia czujnika. Przedstawiono metodę obliczania wielkości mierzonej, to jest strumienia objętości.

Słowa kluczowe: pomiar strumienia płynu, przepływomierz próbkujący, optymalizacja przepływomierza próbkującego, pomiar prędkości płynu.

Flow-rate measurement in the pipeline with help of sampling flowmeter with point velocity measurement**Abstract**

In the paper sampling flowmeters are defined and compared with full-bore flowmeters. For modeling of velocity distribution in the pipeline Prandtl and universal formulae are introduced. Five arts of velocity sensor positions are introduced: centerline position - in the pipe axis, critical position - point velocity is equal to average velocity, equal surface position, equal flow-rate position and optimal position. For optimal position are proposed two objective functions. One concrete example of optimization is introduced - minimizing relative and absolute error. Calculations shows, that the sensor positions for these two objective functions are different. The method of reproducing measurand (volumetric flow-rate) in sampling flowmeter is given.

Keywords: flow-rate measurement, sampling flowmeter, optimization of sampling flowmeter, fluid velocity measurement.

1. Wprowadzenie

W przepływomierzach próbkujących sygnał wyjściowy z urządzenia pierwotnego przepływomierza nie jest zależny bezpośrednio od strumienia płynu (strumienia masy lub strumienia objętości) w przewodzie zamkniętym lub otwartym, ale od prędkości płynu w miejscu określonym położeniem czujnika lub czujników prędkości [1, 2]. Spośród wielu podziałów przepływomierzy [3 s.191] z metrologicznego punktu widzenia istotny jest podział na przepływomierze całoprzewodowe i przepływomierze próbkujące [4]. W zależności od konfiguracji urządzenia pierwotnego czujniki do pomiaru prędkości miejscowej mogą być wykonane jako punktowe [5], powierzchniowe [6], odcinkowe [7, 8], a urządzenie pierwotne przepływomierza próbkującego może być jednopunktowe lub wielopunktowe [3]. Strumień objętości w przepływomierzu próbkującym z jednym czujnikiem jest odtwarzany na podstawie wartości zmierzonej prędkości, pola powierzchni przekroju przepływowego i współczynnika wzorcowania, który

jest stosunkiem prędkości średniej płynu w przekroju przepływowym do prędkości zmierzonej czujnikiem. Współczynnik ten może być wyznaczony analitycznie w przypadku znajomości modelu matematycznego rozkładu prędkości w przewodzie. Ze względu na zmienność kształtu rozkładu prędkości wraz ze zmianą liczby Reynoldsa oraz chropowatości ścianki przewodu zawsze będzie istniała niepewność wyznaczenia współczynnika wzorcowania. Znacząc (choćby w przybliżeniu) dla konkretnych warunków możliwe zmiany kształtu rozkładu prędkości i posługując się modelami granicznymi rozkładów prędkości [9] można oszacować niepewność systematyczną [10 s.89] i o ile jest ona za duża w stosunku do naszych wymagań – podjąć decyzję zastosowania przepływomierza o bardziej złożonym urządzeniu pierwotnym, np. zamiast rurki spiętrzającej zastosować uśredniającą rurkę spiętrzającą [11] lub zamiast przepływomierza ultradźwiękowego jednodrogowego – przepływomierz wielodrogowy [8, 12]. Niniejszy artykuł dotyczy jednego z aspektów szerszego zagadnienia: doboru przepływomierza do konkretnych warunków pomiaru [13]. Dalsze analizy będą się odnosiły tylko do pomiaru strumienia objętości w przewodach zamkniętych o przekroju kołowym z zastosowaniem jednego czujnika prędkości punktowej.

Modelowanie urządzenia pierwotnego przepływomierza próbkującego składa się z trzech etapów: 1) przyjęcie modelu matematycznego rozkładu prędkości, 2) wybór konfiguracji urządzenia pierwotnego, 3) ustalenie położenia czujników, co pozwala przy znajomości modelu rozkładu prędkości na ustalenie wartości wielkości wyjściowej z każdego z nich.

W przypadku płynu idealnego, tzn. bez lepkości, dla przepływu ustalonego rozkład prędkości jest równomierny (tłokowy) [2 s.349], o ile przed i za urządzeniem pierwotnym przepływomierza istnieją odpowiednio długie proste odcinki rurociągu i o tej samej średnicy, jaką ma urządzenie pierwotne. O ile czujnik prędkości nie wpływa znacząco na kształt rozkładu prędkości to może być umieszczony w dowolnym miejscu przekroju przepływowego [1 s.466]. Mierzona prędkość jest równa prędkości średniej w całym przekroju przepływowym, a strumień objętości jest iloczynem tej prędkości i pola powierzchni przekroju przepływowego. W literaturze przedmiotu podawane są dwa położenia czujnika: osiowe i przelomowe [1 s.467, 2 s.349], w normie [14]: równopowierzchniowe i równostrumieniowe, natomiast autor wprowadził [15] piąty sposób umiejscowienia czujnika: optymalny. Położenia te można podzielić na dwie grupy: 1) położenia jednoznaczne (osiowe, równopowierzchniowe), które nie zależą od kształtu rozkładu prędkości i 2) położenia niejednoznaczne (przelomowe, równostrumieniowe, optymalne), które zależą od kształtu rozkładu prędkości.

2. Modele rozkładu prędkości

Zagadnieniu modelowania rozkładu prędkości dla potrzeb pomiaru strumienia objętości przepływomierzami ultradźwiękowymi poświęcona jest w części publikacja [16]. Najczęściej rozkład prędkości w rurociągu dla przepływu burzliwego (turbulentnego) modeluje się wzorem Prandtla:

$$v = v_0 \left(1 - r/R\right)^{1/n}, \quad (1)$$

gdzie: v_0 – prędkość w osi rurociągu, R – promień wewnętrzny rurociągu, r – promień bieżący, $1/n$ – wykładnik potęgowy zależny od liczby Reynoldsa i od chropowatości równoważnej ścianki rurociągu określonej w [17].

Istnieje wiele zależności matematycznych n od Re , przykładowo dla rury hydraulicznie gładkiej [18 s.5-5]:

$$n = 1,66 \log Re. \quad (2)$$

Rozkład prędkości dla przepływu od uwarstwionego (laminarnego), poprzez przejściowy (krytyczny) do burzliwego (turbulentnego) opisuje parabola zaproponowana przez R. Krzyżanowskiego i zastosowana w [19]:

$$v = v_0 \left[1 - \left(r/R \right)^m \right] \quad (3)$$

gdzie: $m = 2$ dla przepływu uwarstwionego, m wynoszące kilka – kilkanaście dla burzliwego i m dążące do nieskończoności dla przepływu tłokowego.

3. Czujnik prędkości w osi przewodu zamkniętego

Takie położenie wymaga zastosowania w przypadku prędkościomierza ingerencyjnego sondy o długości co najmniej równej promieniowi. Dla przepływu w warunkach normalnych i osiowo-symetrycznego rozkładu prędkości prędkość w osi rurociągu jest maksymalna, a rozkład prędkości jest najbardziej płaski. Dla takiego położenia niewielkie błędy montażu sondy nie będą miały praktycznie wpływu na błąd pomiaru prędkości [2 s.353].

4. Czujnik prędkości w położeniu przelomowym

Położenie przelomowe to takie, w którym mierzona prędkość jest równa prędkości średniej [2 s.352]. W literaturze są podawane różne wartości tego położenia: 0,238 R [20], 0,247 R [21], jako funkcja liczby Re [2 s.352]. Dla rozkładu prędkości opisanego wzorem Prandtla (1) prędkość średnia po przekroju wynosi:

$$v_A = \frac{v_0 \cdot 2 \cdot n^2}{(n+1)(2n+1)}. \quad (4)$$

Porównując prędkość średnią wyrażoną wzorem (4) z prędkością miejscową opisaną wzorem (1) otrzymuje się wzór na położenie przelomowe:

$$\frac{r_p}{R} = 1 - \left[\frac{2 \cdot n^2}{(n+1)(2n+1)} \right]^n. \quad (5)$$

Dla modelu uniwersalnego (3) prędkość średnia wyraża się wzorem:

$$v_A = v_0 \cdot m / (m+2). \quad (6)$$

Porównując wzór (3) ze wzorem (6) otrzymuje się:

$$r_p / R = \sqrt[m]{2 / (m+2)}. \quad (7)$$

Z analizy wzorów (5) i (7) wynika, że dla modelu Prandtla zmiany położenia przelomowego są mniejsze niż dla modelu uniwersalnego, natomiast zmiana chropowatości względnej od 0 do 100 powoduje podobną zmianę wartości położenia przelomowego, jak tysiącrotna zmiana liczby Reynoldsa [3 s.77].

5. Czujnik prędkości w położeniu równopowierzchniowym

Takie położenie czujnika jest uzasadnione dla rozkładu prędkości zbliżonego do równomiernego (tłokowego), który może być zniekształcony i nie wiele można powiedzieć o jego kształcie.

W takiej sytuacji szukanie położenia przelomowego jest niecelowe. Czujnik umieszcza się na okręgu dzielącym pole powierzchni rurociągu o przekroju kołowym na połowy i promień tego okręgu wynosi:

$$r_p / R = 1 / \sqrt{2}. \quad (8)$$

6. Czujnik prędkości w położeniu równostrumieniowym

Czujnik umieszcza się na okręgu ze środkiem w osi rurociągu, który dzieli pole przepływu na połowy. Sposób ten jest zalecany w [14] dla graficznej metody całkowania bryły prędkości w celu nadania takiego samego znaczenia wszystkim punktom pomiarowym. Dla wzoru Prandtla położenie przelomowe wyznacza się ze wzoru:

$$\left[1 - \frac{r_{rs}}{R} \right]^{\frac{1+2n}{n}} + \frac{1+2n}{n} \frac{r_{rs}}{R} \left[1 - \frac{r_{rs}}{R} \right]^{\frac{1+n}{n}} = \frac{1}{2}. \quad (9)$$

Dla wzoru uniwersalnego położenie przelomowe wyznacza się ze wzoru:

$$\frac{m+2}{m} \left[\frac{r_{rs}}{R} \right]^2 - \frac{2}{m} \left[\frac{r_{rs}}{R} \right]^{m+2} = \frac{1}{2}. \quad (10)$$

W tabeli 1 podano wartości położenia równostrumieniowego dla kilku liczb Reynoldsa dla rozkładu prędkości modelowanego wzorem Prandtla, a w tabeli 2 – dla wzoru uniwersalnego.

Tab. 1. Wartości położenia równostrumieniowego dla modelu Prandtla (1)
Tab. 1. Values of equal flow-rate position for Prandtl model (1)

Re	10^4	10^5	10^6
r_{rs}/R	0,666	0,674	0,679

Tab. 2. Wartości położenia równostrumieniowego dla modelu uniwersalnego (3)
Tab. 2. Values of equal flow-rate position for universal model (3)

Re	0-2320	10^4	10^5	10^6
r_{rs}/R	0,541	0,645	0,654	0,661

7. Czujnik prędkości w położeniu optymalnym

Optymalne położenie czujnika [15] to takie, aby dla spodziewanych warunków pomiaru uzyskać minimalną wartość wskaźnika (minimalną wartość funkcji celu) charakteryzującego niepewność pomiaru. Zagadnienie optymalizacji metrologicznej przedstawił autor w [3 s.211-222]. Optymalizacja może dotyczyć np. konstrukcji konkretnego czujnika [22, 23, 24], doboru określonej aparatury [25] lub całego systemu pomiarowego [26]. W tym artykule optymalizacja polega na minimalizacji funkcji celu, jaką jest błąd pomiaru, a zmienną decyzyjną jest położenie czujnika. W [12 s.99-100] przedstawiono 5 funkcji celu powiązanych z błędami pomiaru, jakie mogą być minimalizowane. Druga z nich (minimalizacja maksymalnego błędu) ma zastosowanie przy różnych sposobach linearyzacji charakterystyki [10 s.63].

Najprościej można sformułować funkcję celu, jako maksymalny błąd, jaki może wystąpić dla spodziewanego zakresu zmian strumienia objętości. Przy zmianach położenia czujnika maksymalny błąd dodatni będzie np. rósł i maksymalny błąd ujemny malał. Optymalnym położeniem będzie takie, że błędy dodatni i ujemny

będą równe co do modułu – wtedy maksymalny błąd jest minimalny. Ponieważ modele rozkładów prędkości są funkcjami ściśle monotonicznymi, to maksymalne błędy będą występowały na granicach zakresu pomiarowego.

Wybór położenia optymalnego będzie się odbywał w następujący sposób. Dla przyjętego modelu rozkładu prędkości i zakresu zmian charakterystycznego parametru (np. n we wzorze Prandtla (1), co odpowiada pewnemu zakresowi zmian liczby Reynoldsa i co jest z tym związane – pewnemu zakresowi zmian strumienia objętości, to znaczy wielkości mierzonej) dobiera się tak położenie czujnika, aby błędy dla minimalnej i maksymalnej wartości n były równe co do modułu i miały różne znaki. Porównywane mogą być błędy względne lub bezwzględne. Procedura optymalizacyjna zostanie zilustrowana na dwóch przykładach.

W pierwszym będzie minimalizowany błąd względny, w drugim bezwzględny. Zakłada się, że model rozkładu prędkości opisany jest wzorem (3), minimalna wartość m wynosi m_1 , a maksymalna wartość m_2 . Położenie optymalne r_0/R będzie położeniem przelomowym dla jakiejś wartości m pośredniej między m_1 i m_2 . Błąd bezwzględny pomiaru strumienia objętości dla rozkładu charakteryzującego się parametrem m_2 jest dodatni i będzie wynosił:

$$\Delta_{m_2} = Av_{om_2} \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_2} \right] - Av_{om_2} \frac{m_2}{m_2 + 2}, \quad (11)$$

gdzie: A – pole powierzchni przekroju poprzecznego rurociągu.

Błąd bezwzględny pomiaru strumienia objętości dla rozkładu charakteryzującego się parametrem m_1 jest ujemny i będzie wynosił:

$$\Delta_{m_1} = Av_{om_1} \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_1} \right] - Av_{om_1} \frac{m_1}{m_1 + 2}, \quad (12)$$

Porównując błędy względne otrzymuje się równanie na położenie optymalne czujnika:

$$\frac{2(m_1 + m_2)}{m_1 m_2} = \frac{m_1 + 2}{m_1} \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_1} + \frac{m_2 + 2}{m_2} \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_2}. \quad (13)$$

Przykładowo dla $m_1 = 2$ i $m_2 = 4$ otrzymuje się: $r_0/R = 0,731$. Położenia przelomowe dla $m_1 = 2$ i $m_2 = 4$ wynoszą odpowiednio: $r_0/R = 0,707$ $r_0/R = 0,760$.

Porównując błędy bezwzględne wyrażone wzorami (11) i (12) otrzymuje się równanie:

$$1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_2} - \frac{m_2}{m_2 + 2} = \frac{v_{om_1}}{v_{om_2}} \left[\frac{m_1}{m_1 + 2} - \left(\frac{r_0}{R} \right)^{m_1} \right]. \quad (14)$$

Aby rozwiązać to równanie trzeba stosunek prędkości maksymalnych wyrazić przez wartości m_1 i m_2 . Korzystając ze wzoru (6) oraz wzoru na liczbę Reynoldsa otrzymuje się:

$$\frac{v_{om_1}}{v_{om_2}} = \frac{Re_1}{Re_2} \frac{(m_1 + 2)m_2}{(m_2 + 2)m_1}. \quad (15)$$

Liczbę Reynoldsa można powiązać z parametrem n według wzoru (2), natomiast jest pytanie jak powiązać parametr n występujący w modelu Prandtla z parametrem m występującym we wzorze uniwersalnym. W [27] aproksymowano poziome profile prędkości w kanale otwartym wzorem Prandtla i wzorem uniwersalnym. Na podstawie uzyskanych wyników założono tu liniową zależność między tymi wielkościami i uzyskano prosty wzór:

$$m = 1,3n + 1. \quad (16)$$

Korzystając ze wzoru (6), (15) i (16) otrzymuje się:

$$\frac{v_{om_1}}{v_{om_2}} = 10^{\frac{m_1 - m_2}{2,16}} \frac{(m_1 + 2)m_2}{(m_2 + 2)m_1}. \quad (17)$$

Podstawiając do wzoru (17) $m_1 = 2$ i $m_2 = 4$ otrzymuje się wartość stosunku prędkości równą 0,158. Podstawiając tą wartość do równania (14) i rozwiązując go otrzymujemy położenie optymalne $r_0/R = 0,754$. Jak widać jest to inna wartość, jaką otrzymuje się z porównania błędów względnych (0,731).

8. Odtwarzanie wielkości mierzonej

W przepływomierzu wielkością mierzoną (mezurandem) jest strumień płynu, i w przypadku pomiaru strumienia objętości wyznaczany on jest ze wzoru:

$$q_v = v_c K_w A, \quad (18)$$

gdzie: v_c – prędkość zmierzona czujnikiem danym sposobem, A – pole powierzchni przepływowej w rurociągu, K_w – współczynnik wzorcowania dla danego sposobu umieszczenia czujnika prędkości wyznaczany ze wzoru:

$$K_w = v_A / v_c, \quad (19)$$

gdzie: v_A – prędkość średnia płynu w przekroju przepływowym wyznaczona dla modelu Prandtla ze wzoru (4), a dla modelu uniwersalnego ze wzoru (6).

W przypadku teoretycznego wyznaczania współczynnika wzorcowania prędkość mierzona czujnikiem to jest prędkość dla danego położenia wyznaczonego z jednego ze wzorów: (5), (7), (8), (9), (10), (12) i (13) oraz modelu rozkładu prędkości (1) lub (3).

9. Podsumowanie

Jak wynika z opisu poszczególnych sposobów umiejscawiania czujnika prędkości lokalnej w przepływomierzu próbkującym każdy z nich ma pewne zalety i wady. Zaproponowany przez autora sposób optymalny pozwala na wyznaczenie położenia optymalnego ze względu na przyjętą funkcję celu. Z przeprowadzonych obliczeń dla konkretnego przypadku wynika, że wyznaczone położenie optymalne jest inne w przypadku minimalizacji błędu względnego, a inne przy minimalizacji błędu bezwzględnego. Wyznaczenie modelu matematycznego urządzenia pierwotnego pozwala na odtworzenie wartości wielkości mierzonej przepływomierzem, to znaczy np. strumienia objętości.

10. Literatura

- [1] Kegel T.M.: Insertion (Sampling) Flow Measurement, w: Flow Measurement, Editor: Spitzer D.W.: Instrument Society of America, Research Triangle Park, 1991.
- [2] Spitzer D.W.: Industrial Flow Measurement, ISA, Research Triangle Park, 1993.
- [3] Waluś S.: Optymalizacja metrologiczna pomiaru strumienia płynu za pomocą przepływomierzy próbkujących, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia 43, Gliwice 2003.
- [4] Waluś S.: Pomiar pośredni strumienia płynu metodą próbkującą, Metrologia i Probiernictwo, 3 (14) 1999, s. 6-11.
- [5] Waluś S.: Mathematical Modelling of Sampling Flowmeters, XVI IMEKO World Congress, Sept. 25-29, 2000, Vienna, Austria, Proceedings, Volume VI, pp. 115-120. Editors: M.N. Durkbas, P.H. Osana, A. Afjehi-Sadat, Austrian Society of Measurement and Automation, 2000.
- [6] Waluś S., Żelezik J.: Volume Flow-rate Measurement with Help of Sampling Flowmeter with Surface Sensor, Molecular & Quantum Acoustics, vol. 20, Oddział Górnośląski PTA, Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej, Sekcja Akustyki Molekularnej i Kwantowej

- PTA, Sekcja Akustyki Fizycznej Komitetu Akustyki PAN, Gliwice 1999, s. 291-300.
- [7] Waluś S.: Mathematical modelling of an ultrasonic flowmeter primary device, Archives of Acoustics, vol. 23, 1998, 3, s. 429-442.
- [8] Waluś S.: Zmniejszenie błędu metody związanego ze zniekształconym rozkładem prędkości w dwudrogowym przepływomierzu ultradźwiękowym, Pomiary Automatyka Kontrola 12/1999, s. 34-38.
- [9] Waluś S.: The Mathematical Modelling of the Velocity Distribution in Closed Conduits, Proceedings of FLOMEKO'96, 1996, Beijing, China, Edited by Zhang Bayou, Han Lide, Zhao Xiaona, Beijing 1996, s. 474-479.
- [10] Instrument Engineers' Handbook, Process Measurement and Analysis, Vol. I, Lipták B. G. Editor-in-chief, ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, CRC Press, Boca Raton London New York Washington, D.C. 2003.
- [11] Waluś S.: Decreasing of volume flow-rate measurement error in modified averaging impact tubes, FLOMEKO 2000 International Conference on Flow Measurement, Salvador, Brazil, June 4th - 8th 2000, FLOMEKO 2000 CD-ROM, paper No. B2.
- [12] Waluś S.: Przepływomierze ultradźwiękowe. Metodyka stosowania, Podręcznik akademicki, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
- [13] Jezierska A., Krieser W., Waluś S.: Dobór przepływomierza – zasady ruchu, Control Engineering Polska, maj 2007, str. 54-61.
- [14] PN-M-42366. Pomiary przepływu płynu. Pomiary strumienia objętości metodami całkowania bryły prędkości, WN, Warszawa 1981.
- [15] Waluś S.: Błędy metody przepływomierzy próbkujących, Podstawowe Problemy Metrologii, Ustroń 6-8 maja 1998, Polska Akademia Nauk, Oddział w Katowicach, Prace Komisji Metrologii PAN, Seria: Konferencje Nr 1, Gliwice-Ustroń 1998, s. 129-138.
- [16] Waluś S.: Ultradźwiękowe pomiary strumienia objętości wody w rurociągach i w kanałach otwartych, Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe Nr 1075, Automatyka z. 99, Gliwice 1990.
- [17] PN-EN 24006: Pomiar strumienia płynu i objętości przepływającego płynu w przewodach. Terminologia i symbole.
- [18] Miller R.W.: Flow measurements engineering handbook. Mc Graw-Hill, Inc. Second Edition, New York - St.Louis... 1989.
- [19] Waluś S.: Pomiar strumienia objętości w rurociągu niepełnym przepływomierzem ultradźwiękowym z równoczesnym pomiarem poziomem. VII Krajowa Konferencja Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej, Wrocław, 9-11 X 1986, Prace Naukowe Instytutu Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, seria: Konferencje 12, s. 92-95.
- [20] Strohmarmann G.: atp-Marketanalyse Durchfluss-und Mengenmesstechnik (Teil 2), Automatisierungstechnische Praxis 36, 8/1994, s. 38-55.
- [21] ISO 7145-1982 (E) Determination of flowrate of fluids in closed conduits of circular cross-section. Method of velocity measurement at one point of the cross-section.
- [22] Andruszkiewicz A., Górecki J., Kubas K.: Nowy model przepływomierza pulsacyjnego z magnetycznym pomiarem częstotliwości pulsacji, XXIX MKM, Nałęczów 10-12 IX 1997 r., Politechnika Lubelska, Materiały Konferencyjne, Tom 1, Lublin 1997, s. 1-5.
- [23] Pankanin G.L.: Attempt of Comprehensive Evaluation of Vortex Meter Design, Proceedings of the 8th International Conference on Flow Measurement FLOMEKO'96, Beijing, China, Edited by Zhang Bayou, Han Lide, Zhao Xiaona, Standard Press of China, Beijing 1996, s. 132-137.
- [24] Turkowski M.: Problemy budowy i wzorcowania przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym, XXIII MKM, Politechnika Warszawska, Prace Naukowe, Konferencje, z. 1, Warszawa 1991, s. 13-18.
- [25] Juroszek B.: Analiza wielokryteriowa jako narzędzie oceny jakości sprzętu medycznego, Podstawowe problemy Metrologii, Ustroń 5-8 maja 1998, Prace Komisji Metrologii PAN, Seria: Konferencje nr 1, Gliwice-Ustroń 1998, s. 81-88.
- [26] Pociąg U.: Procedury doboru aparatury pomiarowej do kontroli obiektów o strukturze sieciowej, Metrologia i Systemy Pomiarowe, Monografia 2, PAN Komitet Metrologii i Aparatury Naukowej, Warszawa 1990.
- [27] Janczur S.: Weryfikacja doświadczalna modeli matematycznych obiektu pomiaru dla potrzeb pomiaru strumienia objętości w kanale otwartym, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 2007.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Cennik publikacji reklam w miesięczniku naukowo-technicznym PAK

Reklama	Czarno-biała	Kolorowa
I okładka	-	1 800,00 PLN netto
II okładka	-	1 600,00 PLN netto
III okładka	-	1 500,00 PLN netto
IV okładka	-	1 700,00 PLN netto
1 strona (175x250 mm)	900,00 PLN netto	1 100,00 PLN netto
½ strony (175x125mm) - pozioma	500,00 PLN netto	700,00 PLN netto
½ strony (85x250 mm)- pionowa	500,00 PLN netto	700,00 PLN netto
⅓ strony (175x85 mm)	400,00 PLN netto	-
¼ strony (85x125 mm)	300,00 PLN netto	-

Do podanych cen należy doliczyć podatek VAT w wysokości 22%.