

Stanisław WALUŚ, Bartosz PACHELSKI, Wojciech SZOTA

POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH,
INSTYTUT AUTOMATYKI,
ZAKŁAD SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Analiza metrologiczna stanowisk do wzorcowania przepływomierzy metodą objętościową

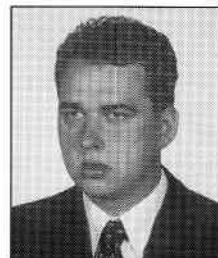
Dr inż. Stanisław WALUŚ

– absolwent Wydziału Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, dyplom (1970) w zakresie automatyki przemysłowej, doktorat (1980). Adiunkt w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach (Zakład Systemów Pomiarowych), Specjalność naukowa - metrologia wielkości nieelektrycznych, szczególnie pomiary strumienia płynu. Autor lub współautor ponad 70 publikacji. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Techniki Sensorowej i sekretarzem Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach.



Mgr inż. Wojciech SZOTA

– absolwent Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 1999 roku uzyskał dyplom na kierunku Automatyka i Robotyka - w zakresie specjalności systemy pomiarowe.



Mgr inż. Bartosz PACHELSKI

– absolwent Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 1998 roku uzyskał dyplom na kierunku Automatyka i Robotyka - w zakresie specjalności automatyka.



skach wzorcowych przewodnych stosowane są testery tłokowe [15, 17], natomiast w stanowiskach wzorcowych do gazu stosowane są testery dzwonowe [7, 9] oraz biurety z warstwą mydlaną [10, 13, 16]. Problematyka budowy, eksploatacji i wyznaczania błędów stanowisk objętościowych jest zawarta również np. w [2, 3, 4, 6, 8].

W Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej prowadzone są prace dyplomowe dotyczące pomiarów strumienia płynu [20] i ostatnio podjęto budowę stanowiska do wzorcowania przepływomierzy gazu na małe zakresy dla firmy produkującej rotametry [14] oraz pracę, której celem było zweryfikowanie parametrów metrologicznych istniejącego stanowiska w laboratorium studenckim [18]. W trakcie realizacji pracy okazało się, że podany w normie ISO [6] wzór na wyznaczenie błędu systematycznego czasu napełniania zbiornika daje błędny wynik obliczeń, więc wyprowadzono wzór poprawny.

Streszczenie

Przedstawiono analizę wstępną rozwiązań konstrukcyjnych stanowiska do wzorcowania rotametrów do pomiaru małych strumieni objętości gazów. Opisano budowę oraz podstawowe właściwości wykonanego stanowiska. Przedstawiono weryfikację stanowiska do badania przepływomierzy wody na zgodność z normą ISO 8316, podano wyniki wzorcowania stanowiska oraz oszacowano jego niepewność. Okazało się, że podany w normie wzór na wyznaczenie błędu systematycznego przerzutnika jest nieprawidłowy. Wyprowadzono wzór dający poprawny wynik.

Abstract

The preliminary analysis of constructional solutions of the installation for calibration of rotameters (to measurement of small volume flow-rate of gases) is introduced. The structure and basic properties are described. The verification of the installation for water flowmeters testing in relation to ISO 8316 standard and the results of calibration are introduced. The uncertainty of the measuring installation are given. It became to real that the equation for systematic error calculation given in the standard is not correct. The equation giving the correct results is drawn.

Wstęp

Metoda objętościowa jest najbardziej rozpowszechnioną metodą wzorcowania przepływomierzy [17, 19] i stosowana jest powszechnie w stacjach wzorcowania wodomierzy, jak i w laboratoriach uczelnianych. Jest ona bardziej dokładna niż metoda bezpośredniego porównania wskazań przepływomierza badanego ze wskazaniami przepływomierza wzorcowego, ale mniej dokładna niż bardziej kosztowna metoda wagowa [1, 5, 11]. Metodę bezpośredniego porównania zastosowano w stacji firmy Kent [13], gdzie jako wzorzec został użyty przepływomierz zwężkowy z kryzą mającą certyfikat laboratorium narodowego (National Engineering Laboratory) oraz przepływomierze turbinowe firmy Kent. W stanowi-

Stanowisko do wzorcowania rotametrów z zastosowaniem przepływomierza błonkowego

Firma ROTAMETR z Gliwic, produkująca rotametry służące między innymi do pomiaru strumienia objętości gazów (powietrze, dwutlenek węgla, wodór, azot, argon, ...) w zakresie od 4 do 40 m³/h [14] dotychczas stosowała jako wzorzec rotametr o klasie dokładności 0,3 zalegalizowany w Głównym Urzędzie Miar. Ze względu na niemożność wykonania dokładnych zwęzek o małych średnicach oraz uzyskania dużej zakresowości i wystarczającej powtarzalności zrezygnowano z zastosowania zwężki. Ze względu na rezygnację z używania rtęci jako uszczelnienia nie zastosowano testera dzwonowego. W PTB [9] dla testera tłokowego dla strumienia objętości mniejszego niż 1 dm³/h osiągnięto niepewność 0,3% (ze współczynnikiem pokrycia 2). Przeanalizowano również zastosowanie testera tłokowego (pompy tłokowej). Po wstępnych badaniach przepływomierza błonkowego zdecydowano się na wybór tego rozwiązania.

Do detekcji błonki zastosowano modulowaną wiązkę świetlną (aby wyeliminować wpływ zmian oświetlenia, np. przez słońce) i monolityczny odbiornik podczerwieni SFH 506 umieszczony w wydłużonym otworze w celu wyeliminowania wpływu promieni padających nieprostopadle na detektor. Mikroprocesorowy układ sterujący zbudowano w oparciu o jednoukładowy mikrokomputer

80C535 taktowany zegarem 12 MHz. Zadaniem systemu mikrokomputerowego jest: wykrywanie przejścia błonki przez bariery świetlne czujników i uruchomienie lub zatrzymanie pomiaru czasu, pomiar czasu, wyliczenie i wyświetlenie wartości strumienia objętości (na podstawie zmierzonego czasu i wprowadzonej do pamięci objętości zbiornika pomiarowego), automatyczne dostrajanie czujników oraz wykrywanie ewentualnych nieprawidłowości w ich działaniu, sygnalizacja sygnałem dźwiękowym o rozpoczęciu i zakończeniu pomiaru strumienia objętości oraz o ewentualnych nieprawidłowościach w działaniu urządzenia. Wstępnie oszacowana klasa dokładności przepływomierza wynosi 0,2.

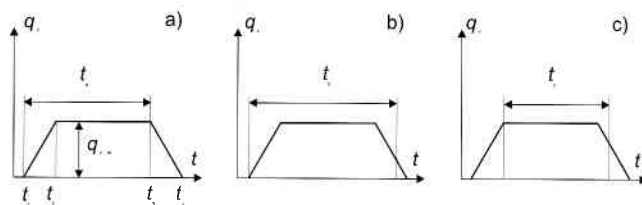
Stanowisko laboratoryjne do badań przepływomierzy wody

Stanowisko to jest stanowiskiem laboratoryjnym, w którym zainstalowane są przepływomierze o średnicy 50 mm. Wyposażone jest ono w zbiornik pomiarowy i pomocniczy, przerzutnik kierunku strugi i system komputerowy do zbierania i wstępnego opracowywania danych. Zostało ono sprawdzone w ramach pracy [18] z normą [6] i mieści się ono w granicach rozwiązań dopuszczonych tą normą. Przerzutnik zastosowany na stanowisku działa na zasadzie równoczesnego zamykania jednego i otwierania drugiego z zaworów kulowych sprzężonych z sobą. Taka konstrukcja jest dopuszczalna pod warunkiem wprowadzenia korekcji czasu przetrzucania. Czas napełniania zbiornika pomiarowego jest mierzony za pomocą komputera z niepewnością 0,001s, natomiast ze względu na konstrukcję przerzutnika może on znacząco odbiegać od rzeczywistego czasu napełniania. Wysokość czynna zbiornika pomiarowego wynosi 1900 mm, natomiast poziom wody może być odczytywany z niepewnością graniczną (przez przeciętnego obserwatora) $\pm 0,5$ mm. Dokonano dwukrotnego wzorcowania: kolbą miarową o pojemności 2 litry i naczyniem o pojemności 5,38 litra. Temperatura powietrza podczas wzorcowań wynosiła odpowiednio: 21,5 °C i 19,0 °C, natomiast wody w zbiorniku 19,1 °C i 18,6 °C. Charakterystykę zbiornika aproksymowano prostą i obliczony współczynnik korelacji wynosił $R=0,9999$, co świadczy o liniowości charakterystyki. Współczynnik nachylenia charakterystyki wynosił dla pierwszego wzorcowania 0,2072 dm³/mm, natomiast dla drugiego wzorcowania 0,2068 dm³/mm. Dla porównania, w 1991 roku po wykonaniu stanowiska pomiarowego [12] dokonano trzykrotnego wzorcowania kolbą miarową 2 litrową i uzyskano nachylenie 0,2069 dm³/mm. W pracy [18] zgodnie z zaleceniami normy [6] wyznaczono graniczną niepewność stanowiska i dla strumienia objętości 10 m³/h jest ona nie większa niż 0,2%, przy czym dla mniejszych strumieni objętości może być zmniejszona do 0,1% przez wydłużenie czasu napełniania zbiornika pomiarowego.

Wyznaczenie błędu systematycznego związanego z działaniem przerzutnika

Każdy, nawet najlepiej zaprojektowany przerzutnik nie zapewnia idealnie skokowej zmiany strumienia objętości z wartości zerowej na ustaloną i z wartości ustalonej na zerową. Jest to przyczyną błędów zawierających składową systematyczną o ile pomiar czasu nie jest tak zrealizowany, aby skompensować tę składową. W normie ISO [6] podano doświadczalny sposób wyznaczenia tego błędu i w ramach realizacji pracy dyplomowej [18] wyznaczano ten błąd. Okazało się, że wyniki obliczeń wartości tego błędu na podstawie wzoru podanego w normie [6] odbiegają od oczekiwań. W tej sytuacji pierwszy autor niniejszej pracy postanowił wyprowadzić wzór podany w normie i uzyskał wynik różniący się od podanego w tej normie. W czasie pomiaru strumień objętości zmienia się (w przybliżeniu) tak, jak to pokazano na rys. 1.

Styki zainstalowane na przerzutniku pozwalają na pomiar czasu napełniania zbiornika pomiarowego i dla sytuacji, jak na rys. 1a) (o ile czas narastania strumienia objętości jest równy czasowi opa-



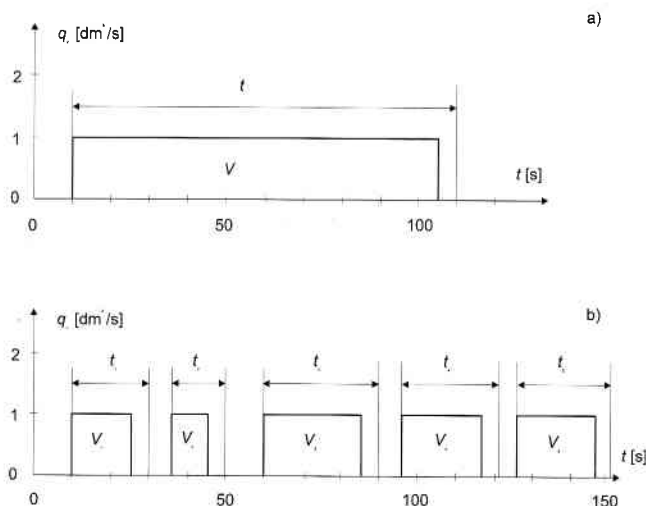
Rys. 1. Napełnianie zbiornika pomiarowego i pomiar czasu napełniania

dania i gdy zarówno wzrost, jak i opadanie strumienia objętości jest liniowe) wynik pomiaru czasu t_a będzie dokładny. Pozwoli to na obliczenie poprawnej (bardzo bliskiej wartości prawdziwej) wartości strumienia objętości. Powyższe warunki nie muszą być spełnione, wystarczy aby zachodziła równość:

$$\int_{t_1}^{t_2} q_v(t) dt + \int_{t_3}^{t_4} q_v(t) dt = (t_1 - t_2) q_{vm} \quad (1)$$

gdzie: q_{vm} jest ustaloną wartością strumienia objętości.

W przypadku jak na rys. 1b) wyznaczony strumień objętości będzie mniejszy od prawdziwego, natomiast w przypadku, jak na rys. 1c) wyznaczony strumień objętości będzie większy od prawdziwego. Podana w normie ISO [6] metoda wyznaczania błędów systematycznych pomiaru czasu napełniania zbiornika pomiarowego (przedstawiona krótko i niezbyt jasno w [1]) polega na napełnianiu zbiornika pomiarowego dwoma sposobami, co pokazano na rys. 2. Wpierw napełnia się zbiornik stałym strumieniem objętości (rys. 2a). Za drugim razem napełnia się go w krótkich odstępach czasu załączając ten sam strumień objętości kilka - kilkanaście razy aż do wypełnienia zbiornika, co pokazano na rys. 2b.



Rys. 2. Napełnianie zbiornika pomiarowego w celu wyznaczenia błędu systematycznego pomiaru czasu napełniania

W normie ISO [6] jest podany następujący wzór:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{n-1} \left[\frac{q_v}{q_v'} \frac{\sum_{i=1}^n V_i / \sum_{i=1}^n t_i}{V/t} - 1 \right] \quad (2)$$

gdzie: V - objętość zebrana w zbiorniku pomiarowym podczas pierwszego napełniania, t - czas pierwszego napełniania, V_i - obję-

tość zebrana w zbiorniku w i -tej fazie drugiego napełniania, t_i - czas i -tej fazy podczas drugiego napełniania, q_v - strumień objętości podczas pierwszego napełniania, q_v' - strumień objętości podczas drugiego napełniania

Suma objętości podczas drugiego napełniania wynosi (na podstawie rys. 2a):

$$\sum_1^n V_i = (15 + 10 + 25 + 20 + 20) \text{ dm}^3 = 90 \text{ dm}^3 \quad (3)$$

Suma czasów faz podczas drugiego napełniania wynosi (na podstawie rys. 2b):

$$\sum_1^n t_i = (20 + 15 + 30 + 25 + 25) \text{ s} = 115 \text{ s} \quad (4)$$

Wstawiając (3) i (4) do (2) i zakładając, że $q_v/q_v' = 1$ otrzymuje się $\Delta t = 12,58 \text{ s}$ i jak widać z rys. 2 wartość obliczona odbiega od wartości prawdziwej. W przykładzie na rys. 2 przyjęto wartość błędu czasu napełniania $\Delta t = +5 \text{ s}$, co oznacza, że zmierzony czas jest za duży w stosunku do czasu napełniania zbiornika pomiarowego. Strumień objętości podczas pierwszego napełniania należy obliczać ze wzoru:

$$q_v = V/(t - \Delta t) \quad (5)$$

gdzie: Δt - systematyczny błąd pomiaru czasu napełniania.
Strumień objętości podczas n napełnień wynosi:

$$q_v' = \frac{\sum_1^n V_i}{\left[\sum_1^n t_i - n \Delta t \right]} \quad (6)$$

Dzieląc stronami (5) i (6) i porządkując otrzymuje się:

$$\Delta t = \frac{V \sum_1^n t_i - (q_v/q_v') t \sum_1^n V_i}{V n - (q_v/q_v') \sum_1^n V_i} \quad (7)$$

Podstawiając wartości obliczone zgodnie ze wzorem (3) i (4) oraz wartości czasu napełniania zbiornika za pierwszym razem $t = 95 \text{ s}$, i objętości $V = 90 \text{ dm}^3$ (co wynika z rysunku 2) do wzoru (7) otrzymuje się $\Delta t = 5 \text{ s}$. Wartość ta odpowiada rzeczywistej wartości błędu systematycznego, co widać z rys. 2.

Literatura

- [1] F. ALASIA, G. CIGNOLO, R. GORIA, A. RIVETTI: The IMGC installation for water flow measurement; metrological characteristics, Proceedings of FLOMEKO 1978, Edited by H. H. Dijkstra and E. A. Spencer, North-Holland Publishing Company, Amsterdam - New York - Oxford 1978.
- [2] H. BELLINGA: Facility for calibration, under operating conditions, of gas flow metering equipment, Proceedings of FLOMEKO 1978, Edited by H. H. Dijkstra and E. A. Spencer, North-Holland Publishing Company, Amsterdam - New York - Oxford 1978.
- [3] Z. BERCSI: About the accuracy of flow meter calibrating devices, Proceedings of FLOMEKO 1978, Edited by H. H. Dijkstra and E. A. Spencer, North-Holland Publishing Company, Amsterdam - New York - Oxford 1978.
- [4] B. W. BIRJUKOW, M. JA. GAMMERMAN, N. A. DANILOW, S. S. KI-WILIS: Ustanowka dlia graduirówki i powierki raschodomierow, Izmeritel'naja Technika, 1973 nr 9.
- [5] ISO 4185; 1980, Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method.
- [6] ISO 8316; 1987, Measurement of liquid flow in closed conduits - Method by collection of the liquid in a volumetric tank.
- [7] Z. KABZA: Pomiary strumieni płynów (przewodnik), Politechnika Opolska, Studia i monografie z. 90, Opole 1996.

- [8] H. KLENTAK, K. MICHALSKI: Analiza dokładności pomiaru natężenia przepływu cieczy, PAK 1970, nr 11.
- [9] Measuring Low Gas-Flow Rates, PTB news, 1999, nr 3.
- [10] R. S. MEDLOCK: The techniques of flow measurement (Part 1), Measurement and Control, vol. 15, Dec. 1982.
- [11] S. NAKAO, Y. YOKOI †, M. TAKAMOTO: Development of a calibration facility for small mass flow rates of gas and the uncertainty of a sonic venturi transfer standard, Flow measurement and Instrumentation, 1996, Vol. 7, No 2.
- [12] I. NIEZGODA: Zaprojektować, uruchomić i zbadać stanowisko laboratoryjne „Pomiar strumienia objętości wody”, Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice 1991.
- [13] One of the world's largest flowmeter test facilities becomes operational, Kent Review, March 1982, Number 8.
- [14] B. PACHELSKI: Analiza metrologiczna i koncepcja automatyzacji stanowiska do wzorcowania przepływomierzy gazu, Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice 1998.
- [15] PN-EN 24006; 1997, Pomiar strumienia płynu i objętości przepływającego płynu w przewodach. Terminologia i symbole.
- [16] J. RAKOWIECKI: Pomiary przepływu płynów, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa 1986.
- [17] E. ROMER: Miernictwo przemysłowe, PWN, Warszawa 1978.
- [18] W. SZOTA: Zbadać zgodność stanowiska do wzorcowania przepływomierzy wody w rurociągach z wymaganiami normy RPrPN-EN ISO 8316, Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice 1998.
- [19] M. TURKOWSKI: Pomiary przepływów, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1987.
- [20] S. WALUŚ: Prace dyplomowe z zakresu miernictwa przemysłowego związane z pomiarem przepływu płynów, XXIX Międzynarodowa Konferencja Metrologów MKM'97, Tom 2, Lublin 1997.

Artykuł recenzowany



**ZAKŁAD MECHANIKI
PRECYZYJNEJ**

„ROTAMETR”

produkujemy:

- rotametry szklane,
- rotametry metalowe,
- przepływomierze elektromagnetyczne,
- sygnalizatory poziomu,
- sygnalizatory przepływu,
- szafy sterownicze,
- manometry różnicowe,
- mierniki laboratoryjne.

oferujemy:

- wzorcowanie przepływomierzy

Zakład produkcyjny:

ul. Orzeska 3, 43-178 Ornontowice
tel./fax (0-32) 235 50 93

Biurowisko:

ul. Chorzowska 44b, 44-100 Gliwice
tel./fax (0-32) 270 22 67, 231 76 63

www.rotametr.com.pl

e-mail: biuro@rotametr.com.pl