

Ryszard DINDORF

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, WYDZIAŁ MECHATRONIKI I BUDOWY MASZYN, ZAKŁAD MECHATRONIKI
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI,
KATEDRA MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

Pomiar parametrów przepływowych elementów pneumatycznych

Dr hab. inż. Ryszard DINDORF

Jest profesorem nadzwyczajnym i kierownikiem Zakładu Mechatroniki na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach oraz profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Specjalizuje się w napędach i sterowaniach hydraulicznych i pneumatycznych stosowanych w automatyzacji i robotyzacji produkcji.



e-mail: dindorf@tu.kielce.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono budowę i zasadę działania stanowiska pomiarowego do badania parametrów przepływowych elementów pneumatycznych. Na stanowisku pomiarowym zastosowano przepływomierz termiczny Setaram U70, zwężkę Venturiego i znormalizowaną kryzę pomiarową. Przedstawiono metodę wyznaczania charakterystyk przepływowych elementów pneumatycznych na przykładzie zespołu przygotowania powietrza typu FR (filtr, regulator ciśnienia).

Słowa kluczowe: pomiar strumienia przepływu, charakterystyki przepływowe, termiczny przepływomierz masowy.

Measurements of flow parameters of pneumatic elements

Abstract

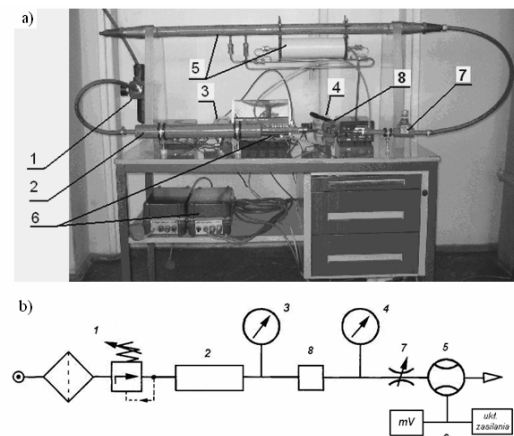
In the paper an arrangement and principle of work of a measurement stand for investigations of flow parameters of pneumatic elements are described. The thermal flow-meter Setaram U70, Venturi tube and calibrated orifice is applied in this stand. A method of measurements of flow characteristics for pneumatic elements, air preparation unit FR (filter, pressure regulator), are presented.

Keywords: flow measurement, flow characteristics, thermal mass flow-meter.

1. Wprowadzenie

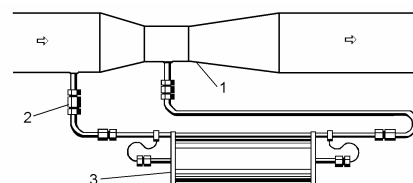
W laboratorium pneumatyki Zakładu Mechatroniki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach zbudowano stanowisko do pomiarów parametrów i charakterystyk przepływowych elementów pneumatycznych, którego widok i schemat przedstawiono na rys. 1. Stanowisko to składa się z układu pomiarowego przepływu (przepływomierza termicznego Setaram U70, zwężki Venturiego i kryzy znormalizowanej), układu pomiarowego ciśnienia, układu zasilania i miernika napięcia. Metoda pomiaru strumienia przepływu jest zgodna z wytycznych zawartych w normie PN-92/M-73763 [2], odpowiednik normy ISO 6358-1989 [3]. Przepływomierze Setaram stanowią rodzinę przyrządów do pomiaru masowego i objętościowego przepływu gazów metodą termiczną [4]. Przepływomierze Setaram mogą być stosowane do pomiaru strumienia gazu w szerokim zakresie, od bardzo małych strumieni objętości (kilku cm^3/h) do bardzo dużych strumieni objętości ($1000 \text{ m}^3/\text{h}$) przy ciśnieniu do 1 MPa. Układ pomiarowy przepływu składa się z dwóch części: przepływomierza termicznego z czujnikiem U70 oraz adapterów przepływowych przystosowanych do mierzonego strumienia przepływu. Zastosowane adaptery dzielą się na dwa typy: upustowe lub ze zwężkami Venturiego. Wybór układu pomiarowego i adapterów zależy od wartości ciśnienia pomiarowego oraz strumienia przepływu. Przepływomierz Setaram U70 jest przepływomierzem masowym termicznym, w którym gaz przepływa wewnątrz cienkościennej prostoliniowej poziomej rurki meta-

lowej, połączonej równoległe ze zwężką Venturiego. Zespół pomiarowy przepływomierza Setaram składa się z oporników elektrycznych umieszczonych na dopływie i odpływie rury pomiarowej, która jest umieszczona wewnątrz izolowanego termicznie, szczelnego pojemnika cylindrycznego o średnicy 80 mm i długości 300 mm. Przez symetrycznie rozmieszczone oporniki elektryczne o dużym współczynniku przewodności cieplnej przepływa stabilizowany prąd powodujący ich nagrzewanie, które z kolei nagrzewają rurę pomiarową. Oporniki włączone są w mostek Wheastone'a, którego nie zrównoważenie zależy od różnicy temperatur oporników na dopływie i odpływie. Przy braku przepływu układ jest symetryczny, a mostek jest zrównoważony, wtedy sygnał wyjściowy ma wartość zerową. Równoległe do przepływomierza U70 włączono zwężkę Venturiego o wymiarach dostosowanych do mierzonego przepływu. W zwężce wykonane zostały dwa otwory: jeden w przekroju przed zwężką służy do odbioru ciśnienia przez znormalizowaną kryzę, drugi w przewężeniu dyszy doprowadzony jest do przepływomierza U70 (patrz rys. 2). W takim układzie pomiarowym występują małe straty ciśnienia. W zastosowanym obwodzie elektrycznym bezpośrednim sygnałem pomiarowym przepływu jest napięcie elektryczne mierzone w mV.



Rys. 1. Widok (a) i schemat (b) stanowiska pomiarowego: 1 – zespół przygotowania powietrza, 2 – rura pomiarowa ciśnienia, 3, 4 – manometry, 5 – przepływomierz termiczny, 6 – układ zasilania z miernikiem napięcia, 7 – zawór dławiący, 8 – badany element pneumatyczny [5]

Fig. 1. View (a) and block diagram (b) of a measurement stand: 1 – air preparation unit, 2 – pressure measurement pipe, 3, 4 – pressure gauge, 5 – thermal flow-meter, 6 – power supply with measure of voltage, 7 – throttle valve, 8 – testing pneumatic element [5]



Rys. 2. Układ pomiarowy przepływu na stanowisku badawczym: 1 – zwężka Venturiego, 2 – znormalizowana kryza pomiarowa, 3 – przepływomierz termiczny Setaram U70

Fig. 2. Flow measurement system for test stand: 1 – Venturi tube, 2 – calibrated orifice, 3 – thermal flow-meter Setaram U70

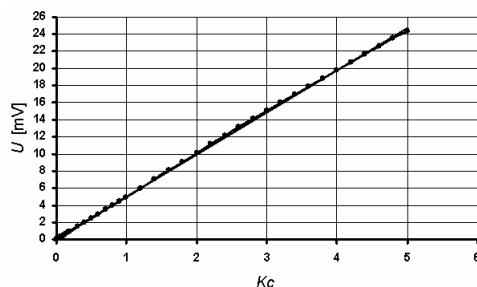
Na stanowisku pomiarowym (rys. 1) można przeprowadzić pomiary parametrów strumienia objętościowego q_v i strumienia masowego q_m , przewodności dźwiękowej C i krytycznego stosun-

ku ciśnień b [1]. Parametry te służą do wyznaczania charakterystyk przepływowych elementów pneumatycznych: zaworów rozdzielających, dławiących i redukcyjnych, zespołów przygotowania powietrza, filtrów.

2. Procedura pomiarowa parametrów przepływowych

Opracowana została procedura pomiarowa parametrów przepływowych elementów pneumatycznych na stanowisku badawczym z rys. 1:

- Badany element pneumatyczny należy włączyć do układu pomiarowego według schematu na rys. 1b.
- Włączyć zasilanie elektryczne przepływomierza i odczekać od 120 do 180 min, aż do termicznego ustabilizowania się układu pomiarowego (ta czynność jest stosowana przy pierwszym włączeniu „zimnego” przepływomierza).
- Ustawić stałe ciśnienie p_1 na dopływie badanego zaworu za pomocą zaworu redukcyjnego 1.
- Za pomocą zaworu dławiącego 7 zmniejszać ciśnienie p_2 na odpływie badanego elementu aż do chwili, gdy nie wzrasta natężenia przepływu, co oznacza osiągnięcie przepływu krytycznego.
- Dla tak określonego przepływu krytycznego odczytać wartości temperatury T_1^* i ciśnienia p_1^* przed badanym zaworem oraz ciśnienia p_2^* za badanym zaworem, a także napięcie U^* na miliwoltomierzu 6.
Uwaga wskaźnik * oznacza wartości parametrów dla przepływu krytycznego.
- Dla napięcia U^* odczytać wartość współczynnika kalibracji Kc czujnika (fr. Captuer) z krzywej kalibracyjnej $U = f(Kc)$ (rys. 3) przepływomierza termicznego Setaram U70.



Rys. 3. Krzywa kalibracyjna $U=f(Kc)$ przepływomierza termicznego Setaram U70 [4]

Fig. 3. Calibration curve $U=f(Kc)$ of thermal flow-meter Setaram U70 [4]

- Dla tej samej wartości współczynnika kalibracji Kc odczytać wartość strumienia objętościowego q_v z krzywej kalibracyjnej $q_v = f(Kc)$ (rys. 4) dla zwężki Venturiego z krzywą na jej odgałęzieniu.
- Dla odczytanej wartości strumienia objętościowego q_v obliczyć wartość krytyczną masowego strumienia przepływu q_m^* według zależności (1) po uwzględnieniu gęstość ρ powietrza dla temperatury T_1^* i ciśnienia p_1^* :

$$q_m^* = \frac{p_1^*}{R T_1^*} q_v, \quad (1)$$

gdzie: R – stała gazowa.

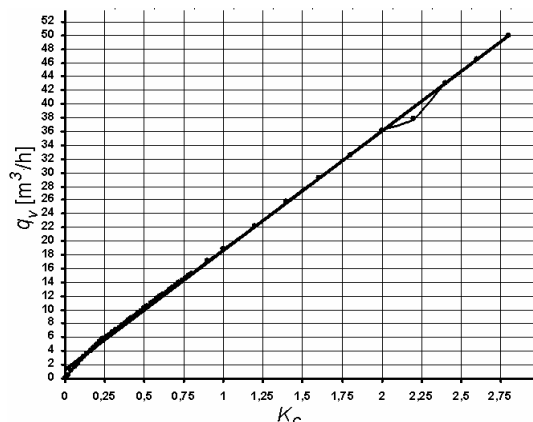
- Parametry przepływowe badanego zaworu oblicza się według wzorów [3]:
– przewodność dźwiękowa C

$$C = \frac{q_m^*}{\rho_0 p_1} \sqrt{\frac{T_1^*}{T_0}}, \quad (2)$$

– krytyczny stosunek ciśnień b

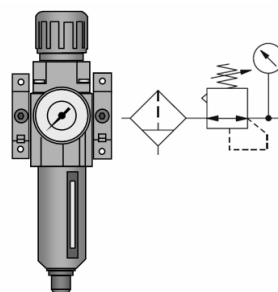
$$b = 1 - \frac{\Delta p}{P_1} \sqrt{1 - \left(\frac{q_m}{q_m^*}\right)^2}, \quad (3)$$

gdzie: Δp – różnica ciśnień, $\Delta p = p_1 - p_2$, P_0, T_0 – ciśnienie i temperatura w normalnym stanie odniesienia (temperatura 293 K, ciśnienie atmosferyczne 1013 kPa).



Rys. 4. Krzywa kalibracyjna $q_v=f(Kc)$ dla zwężki Venturiego z krzywą pomiarową [4]

Fig. 4. Calibration curve $q_v=f(Kc)$ for the Venturi tube with calibrated orifice [4]

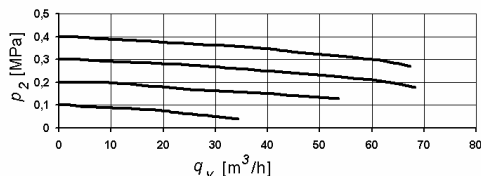


Rys. 5. Widok i symbol graficzny zespołu przygotowania powietrza typu FR
Fig. 5. Front view and graphic symbol of air preparation unit FR

W oparciu o powyższą procedurę pomiarową opracowano metodę wyznaczania charakterystyk przepływowych elementów pneumatycznych:

1. Przeprowadzić pomiary natężenia przepływu q_m równego np. 80% przepływu krytycznego q_m^* ($q_m = 0,80 q_m^*$). W tym celu należy za pomocą zaworu dławiącego 7 ustawić taki strumień przepływu przez badany element pneumatyczny, aby woltomierz wskazywał napięcie U_{80} równe 80% wartości napięcia U^* odczytanego dla przepływu krytycznego.
2. Dla tego napięcia odczytać wartości temperatury T_1 i ciśnienia p_1 przed badanym zaworem oraz ciśnienie p_2 za badanym zaworem, a następnie obliczyć strumień masowy q_m według wzoru (1).
3. Powyższe czynności powtórzyć dla kilku innych wartości strumienia masowego q_m , odpowiadających np. 60%, 40% i 20% wartości q_m^* .
4. Każdy pomiar powinien trwać co najmniej 2–3 min, aby w układzie pomiarowym ustabilizowała się temperatura powietrza.
5. Należy obserwować wskazania manometru zaworu redukcyjnego 1, ponieważ podczas pomiarów musi być utrzymywane stałe ciśnienie p_1 przed badanym elementem.

Według powyższej metody wyznaczone zostały charakterystyki przepływowe różnych elementów pneumatycznych: zawory, filtry. Przykładowe charakterystyki przepływowe $p_2 = f(q_v)$ zespołu przygotowania powietrza typu FR-C4i (F – filtr z oddzielnikiem, R – regulator ciśnienia) firmy Bosch Rexroth Pneumatic (patrz rys. 5), o parametrach: maksymalne ciśnienie robocze 1,2 MPa, przepływ nominalny $q_{vn} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz dokładność filtracji $5 \mu\text{m}$, przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Charakterystyki przepływowe zespołu przygotowania powietrza typu FR-C4i [5]

Fig. 6. Flow characteristics of air preparation unit FR-C4i [5]

3. Podsumowanie

Stanowisko badawcze zostało przystosowane do wyznaczania charakterystyk i parametrów przepływowych elementów pneumatycznych (zaworów, filtrów) w szerokim zakresie przepływów. Opracowana procedura pomiarowa parametrów przepływowych elementów pneumatycznych jest zgodna z wytycznymi zawartymi w normie ISO 6358–1989. Głównym układem pomiarowym jest

zespół składający się z przepływomierza masowego termicznego Setaram U70, zwężki Venturiego i kryzy znormalizowanej. W układzie pomiarowym zastosowano także rurę pomiarową ciśnienia oraz miernik elektryczny. Przeprowadzono kalibrację przepływomierza Setaram U70 i zwężki Venturiego, gruntownie odnowiono elementy przepływowe oraz zmodernizowano układ elektryczny. Ponadto stanowisko pomiarowe zostało wyposażone w dwa cyfrowe przetworniki ciśnienia, zespół przygotowania powietrza, zawór dławiący oraz rurę pomiarową ciśnienia. Na stanowisku badawczym przeprowadzono pomiary parametrów przepływowych różnych elementów pneumatycznych na potrzeby naukowo-badawcze oraz przemysłowe, np. dla określenia parametrów nominalnych zaworów pneumatycznych.

4. Literatura

- [1] Dindorf R.: Modelowanie i symulacja nieliniowych elementów i układów regulacji napędów płynowych. Monografia 44. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [2] Norma PN-92/M-73763: Napędy i sterowanie pneumatyczne, Elementy pneumatyczne, Wyznaczanie parametrów przepływowych.
- [3] Norma ISO 6358–1989: Pneumatic fluid power - Components using compressible fluids - Determination of flow-rate characteristics.
- [4] Budowa i zasada działania przepływomierza SETARAM U-70. SETARAM Instrumentation, Lyon, France 1984.
- [5] Sygut M.: Opracowanie metodyki pomiaru przepływu masowego na stanowisku SETARAM U-70. Praca dyplomowa. Zakład Mechatroniki, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2006.

Artykuł recenzowany

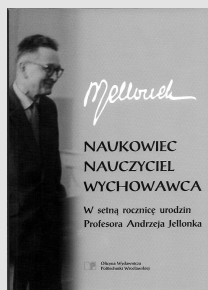
RECENZJE

NAUKOWIEC NAUCZYCIEL WYCHOWAWCA

W setną rocznicę urodzin Profesora Andrzeja Jellonka

Praca zbiorowa pod redakcją Krzysztofa Klukiewicza

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007, ISBN 978-83-7493-365-0



Ukazała się praca zbiorowa dokumentująca życie i działalność profesora Andrzeja Jellonka, wybitnego metrologa, który wytyczał drogi rozwoju metrologii w Polsce. Nie jest to tylko publikacja okolicznościowa, ale także dokument czasów i środowiska, w których Profesor żył i które tworzył. Praca zawiera reprodukcje wielu dokumentów związanych z życiem i działalnością i twórczością profesora Andrzeja Jellonka oraz materia-

ły przygotowane przez Jego uczniów i współpracowników.

Książka oddaje atmosferę czasów lwowskich i wojennych, które Go kształtowały, oraz czasów powojennego Wrocławia, w których Jego działalność naukowa, dydaktyczna i organizacyjna zostawiła trwałe ślady w Politechnice Wrocławskiej i w metrologii krajowej.

Kolejne życia profesora Andrzeja Jellonka przedstawiają dokumenty i wspomnienia Jego współpracowników. Wyłania się z nich postać wybitnego uczonego o szerokich zainteresowaniach, doskonałego organizatora nauki i dydaktyki. Profesor doskonale prognozował trendy rozwojowe metrologii w długiej perspektywie czasowej, trafnie wytyczał kierunki badań, umiał trafnie ukierunkować rozwój młodych pracowników. Dzisiaj ich świadectwo znajdujące odbicie na kartach książki jest wyrazem wdzięczności, bardzo silnie udokumentowanym. Profesor A. Jellonek był osobowością wybitną. Wiele jego pomysłów o pionierskim charakterze zostało zrealizowanych i jest dzisiaj częścią naszej rzeczywi-

stości, zarówno w badaniach naukowych jak i w dydaktyce. Książka pomaga zrozumieć Jego wpływ na dzisiejszy stan metrologii w kraju. Czytając tę pracę Czytelnik uzyskuje przekonanie, jak wiele Mu zawdzięczają nie tylko ci, z którymi współpracował bezpośrednio, ale także całe środowisko metrologów polskich i środowisko naukowe Wrocławia.

W książce zawarta jest także bibliografia dorobku naukowego profesora, przedruki niektórych Jego prac, oraz prace niepublikowane, odsłaniające Jego sylwetkę i szerokie horyzonty zainteresowań. Bardzo dobrze udokumentowana jest działalność Profesora w obszarze doskonalenia dydaktyki i wyszkolenia kadr naukowych. Myśli zawarte w Jego pracach z tego obszaru są stale aktualne, a wiele z nich jest ponadczasowych.

Ostatnia część książki zawiera wspomnienia najbliższych współpracowników Profesora. Napisane są z ogromną wdzięcznością dla Niego. Zawierają wiele szczegółów ilustrujących cechy Profesora A. Jellonka, takie jak wysoki poziom etyczny, obowiązkowość, solidność, doskonała organizacja pracy, a także eksponujących priorytety Jego działalności: związek prowadzonych badań naukowych z potrzebami przemysłu, organizacja dydaktyki metrologii, wyodrębnienie metrologii jako nauki podstawowej. Oceniam tę książkę jako ważną dla kształtowania świadomości metrologów, zwłaszcza pracujących na uczelniach.

Książka zawiera liczne fotografie, także o ogólnym znaczeniu dla historii. Jest wydana bardzo starannie na 304 stronach formatu B4.

Opracowanie: redaktor naczelny, prof. Tadeusz SKUBIS