

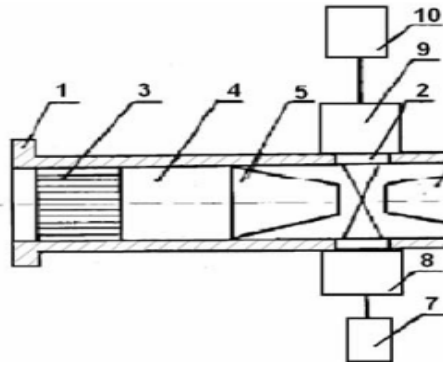
Bolesław Dobrowolski, prof.
Zdzisław Kabza, prof.
Grzegorz Nowosielski, ass.prof.
Sławomir Zator, prof.
Politechnika Opolska

PROFIL PRĘDKOŚCI STRUGI BURZLIWEJ DLA PRZEPLYWOMIERZA DOPPLEROWSKIEGO

Przedstawiono badania przepływomierza do pomiaru strumienia objętości cieczy wykorzystującego metodę stosowaną w anemometrii laserowej. Wyniki badań symulacyjnych posłużyły do zaplanowania pomiarów w taki sposób, aby przy minimalnej liczbie pomiarów obliczyć prędkość średnią cieczy. Wykonano zaprojektowany prototyp przepływomierza oraz przeprowadzono serię pomiarów sprawdzających. Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych i pomiarów wynika, że bez wzorcowania można uzyskać niepewność pomiaru strumienia na poziomie (0,5...3)% wartości zmierzonej dla zakresu pomiarowego 100:1. Dla przepływomierza, w którym wykorzystano opracowany przetwornik o najlepszych właściwościach (dysza o dużym promieniu), uzyskano błąd pomiaru strumienia na poziomie 0,5 % po wzorcowaniu.

Słowa kluczowe: przepływomierz, strumień objętości, anemometr laserowy

Sformułowanie problemu. Laserowy przepływomierz dopplerowski składa się z dwóch elementów: przetwornika kształtującego strugę i anemometru laserowego. Zadaniem przetwornika jest utrzymanie stałej zależności pomiędzy wartością średniego strumienia płynu a wartością prędkości mierzonej w wybranym punkcie kanału wewnętrznego przetwornika. Schemat pierwszej opatentowanej konstrukcji przepływomierza LDR-S-0-80 przedstawia rys. 1. W konstrukcjach przetworników hydraulicznych występują dwa rozwiązania dotyczące sposobu kształtowania profilu prędkości. Pierwsze rozwiązanie wymaga stosowania odpowiednio długiego odcinka prostego (40...80 średnic wewnętrznych kanału D) przed strefą pomiaru oraz odcinka (10...20)D za nią. W strefie pomiaru pomiar prędkości płynu jest wykonywany w osi kanału lub w tzw. punkcie przelomowym.



Rys. 1. Schemat konstrukcji laserowego przepływomierza dopplerowskiego [1]:

1-kołnierz; 2- okno optyczne; 3- stabilizator strugi; 4- kanał cylindryczny; 5,6- dysza wlotowa; 7- zasilacz lasera; 8- laser He-Ne; 9- układ odbiornika; 10- procesor sygnałowy

Wyniki badań. Poszukiwano układu w którym trwale występowałby przepływ turbulentny w wybranym obszarze. Przebadano przetwornik kształtujący strugę składający się z rurociągu o przekroju kołowym o długości $5D$, za którym następuje nagle rozszerzenie, a następnie kaskada dwóch dysz oraz kolejny odcinek rurociągu o przekroju kołowym i średnicy D . Aby określić właściwości zaproponowanego przetwornika wykonano obliczenia numeryczne. Ruch płynu opisano układem równań składającym się z równania ciągłości strugi $\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_i} = 0$ i równania Reynoldsa

uwzględniającego hipotezę Boussinesqa $\rho \bar{v}_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{P} \delta_{i,j} + 2\mu_{eff} \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{i,j} \right]$

Występująca w równaniach lepkość efektywna jest obliczana na podstawie modelu $k-\varepsilon$ Laundera-Spaldinga opisanych równaniami $k = \frac{1}{2} \bar{q}^2$ i $v_i = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$,

prowadząc do równań $\rho \bar{v}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} \left[c_1 \mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - c_2 \rho \varepsilon \right]$ i

$$\rho \bar{v}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon,$$

gdzie: $\sigma_k = 1,0$; $\sigma_\varepsilon = 1,0$; $c_1 = 1,44$; $c_2 = 1,92$; $c_\mu = 0,09$.

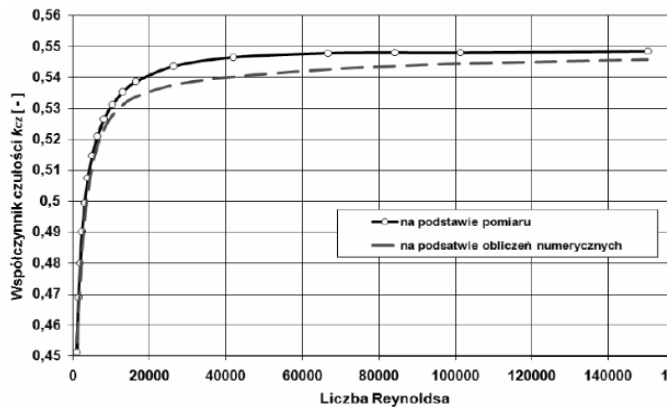
W obliczeniach założono zerowe warunki brzegowe dla pola prędkości na ściankach kanału $v_i=0$ oraz wartości prędkości na wlocie $v_x=0$, $v_y=0$. Profil na wlocie

opisany równaniem $v_z = v_{sr} \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \left(1 - \frac{\sqrt{(x^2+y^2)}}{R} \right)^{\frac{1}{n}} = U_m \left(1 - \frac{\sqrt{(x^2+y^2)}}{R} \right)^{\frac{1}{n}}$ dla przepływu

turbulentnego. Kinetyczną energię turbulencji $k = \frac{3}{2} \left(0,16 \cdot U_m \cdot Re^{-1/8} \right)^2$ oraz prędkość

dyssypacji energii $\varepsilon = 0,164 \frac{k^{3/2}}{0,07D}$. Na końcu obszaru obliczeniowego założono zerowe

poходne prędkości $\frac{\partial v_i}{\partial z} = 0$. Na podstawie dokonanych pomiarów (profile prędkości) obliczono współrzędne punktu pomiaru o minimalnej wariacji prędkości dla badanego zakresu strumienia (punkt przelomowy występuje w odległości 0,798R od osi). Obliczony stosunek prędkości - będącej medianą z uzyskanych wyników w tym punkcie do prędkości średniej 1,606.



Rys. 2. Współczynnik czułości

Wyznaczono także współczynnik czułości przepływomierza i jego zmiany dla punktu w osi wylotu dyszy. Zmiany współczynnika czułości w zależności od Re wyznaczony na podstawie obliczeń oraz uzyskany z obliczeń (Rys.2).

Wnioski. Przed anemometrią laserową wykorzystywaną do bezpośredniego pomiaru strumienia objętości płynów rysuje się nowe zastosowanie. Duże nadzieje należy wiązać z możliwościami, jakie daje mała niepewność pomiaru prędkości anemometrii laserowej. Już od kilku lat pojawiają się przepływomierze, które są w stanie osiągnąć niepewności pomiaru strumienia na poziomie 0,2 % strumienia mierzonego dla zakresu pomiarowego rzędu 100:1. Uzyskanie serii przepływomierzy o dużej powtarzalności umożliwiłoby wykorzystanie ich jako przyrządy kontrolne, co mogłoby w bardzo znacznym stopniu zredukować koszty stanowisk kontrolnych dla wszelkiego typu przepływomierzy, zwłaszcza dla dużych przekrojów i przepływów. Obecnie budowane przepływomierze mogą być z powodzeniem wykorzystywane w instalacjach tak technologicznych jak i doświadczalnych.

Literatura

1. B. Dobrowolski, Z. Kabza, G. Nowosielski, S. Zator. Kształtowanie profilu prędkości strugi burzliwej dla potrzeb przepływomierza laserowego. Proceedings of the 13th National & 4th International Conference „Metrology in Production Engineering”, Zeszyty Naukowe Pol. Poznanskiej University of Technology 2009, pp.89-96