



Politechnika Wroclawska

Podstawy Metrologii i Techniki Eksperymentu

Laboratorium

SYSTEM DO POMIARU STRUMIENIA OBJĘTOŚCI WODY ZA POMOCĄ ZWĘŻKI

Instrukcja do ćwiczenia nr 6

Zakład Miernictwa i Ochrony Atmosfery

Wrocław, listopad 2010 r.

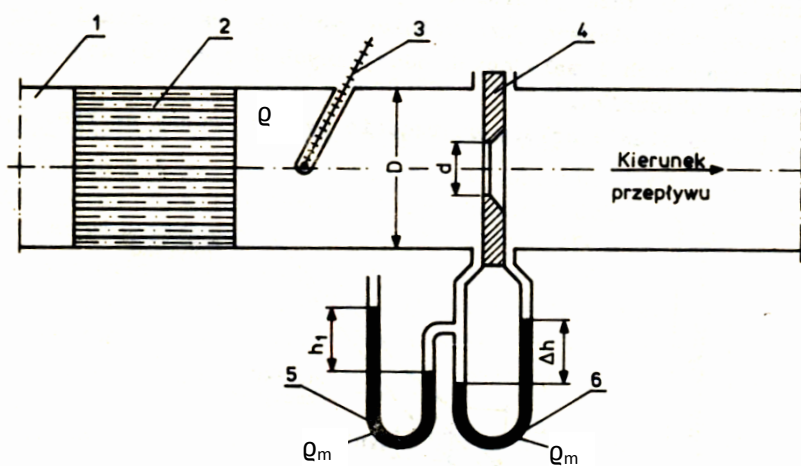
SYSTEM DO POMIARU STRUMIENIA OBJĘTOŚCI WODY ZA POMOCĄ ZWĘŻKI

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest sporządzenie charakterystyki przepływowej zwężki tj. zależności strumienia przepływu wody od ciśnienia różnicowego na kryzie oraz obliczenie niepewności pomiaru strumienia przepływu.

2. POMIARY STRUMIENIA OBJĘTOŚCI ZA POMOCĄ ZWĘŻKI [1,2]

Rysunek 1 przedstawia schemat układu pomiarowego do wyznaczenia strumienia przepływu za pomocą zwężki.



Rys.1. Układ do pomiaru strumienia przepływu[1]: 1- rurociąg, 2- prostownica strumienia, 3 - termometr, 4 – zwężka, 5- manometr cieczowy, 6- manometr cieczowy różnicowy

Strumień objętości przepływającego płynu wyznacza się z równania :

$$Q_v = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

w którym:

C- współczynnik przepływu

β – przewężenie , $\beta = \frac{d}{D}$

ε - liczba ekspansji

d- średnica otworu kryzy

Δp - ciśnienie różnicowe na kryzie

ρ – gęstość przepływającego czynnika

W przypadku gdy ciśnienie różnicowe mierzone jest manometrem „U- rurką” to **różnica ciśnień Δp** wyraża się równaniem:

$$\Delta p = (\rho_m - \rho)g\Delta h \quad (2)$$

ρ_m – gęstość cieczy manometrycznej

ρ – gęstość przepływającego płynu

Gęstość przepływającego gazu ρ - płynu ściśliwego, jest funkcją jego temperatury t , wilgotności względnej ϕ oraz ciśnienia gazu przed kryzą $p_1 = p_b + \rho g h_1$. Dla wody, która jest nieściśliwa gęstość jest funkcją tylko jej temperatury t i można ją wyznaczyć z tabeli 1.

Tabela 1 Gęstość wody w funkcji temperatury

t (°C)	0	5	10	15	20	25	30	40	50
ρ ($\frac{kg}{m^3}$)	999,84	999,96	999,70	999,10	998,20	997,04	995,64	992,21	988,04

Wartość liczba ekspansji ϵ dla gazu jest mniejsza od jednego i można ją wyliczyć z równania:

$$\epsilon = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \left(\frac{\Delta p}{\kappa p_1} \right) \quad (3)$$

w którym κ - wykładnik izentropy

Dla płynów nieściśliwych $\epsilon = 1$.

Współczynnik przepływu C określa empiryczne równanie Readera- Harrisa/Gallaghery, którego dość skomplikowaną postać przedstawiono i opisano dokładnie w PN- EN ISO 5167-2, lipiec 2005 „Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym. część 2: kryzy”. Należy zaznaczyć, że wartość współczynnika C wyznacza się iteracyjnie.

3. Niepewność pomiaru strumienia przepływu za pomocą kryzy [2,3]

Zakładają, że poszczególne wielkości wchodzące w skład równania (1) są niezależne, ogólny wzór na niepewność standardową złożoną strumienia objętości wyraża się następująco:

$$u_c(q_v) = \sqrt{\left(\frac{\partial q_v}{\partial C}\right)^2 u^2(C) + \left(\frac{\partial q_v}{\partial d}\right)^2 u^2(d) + \left(\frac{\partial q_v}{\partial D}\right)^2 u^2(D) + \left(\frac{\partial q_v}{\partial \epsilon}\right)^2 u^2(\epsilon) + \left(\frac{\partial q_v}{\partial \Delta p}\right)^2 u^2(\Delta p) + \left(\frac{\partial q_v}{\partial \rho}\right)^2 u^2(\rho)} \quad (4)$$

gdzie: $u(C)$, $u(d)$, $u(D)$, $u(\epsilon)$, $u(\Delta p)$, $u(\rho)$ - niepewności standardowe wielkości składowych. Po przekształceniach otrzymamy:

$$\frac{u_c(q_v)}{q_v} = \sqrt{\left[\frac{u(C)}{C}\right]^2 + \left[\frac{u(\epsilon)}{\epsilon}\right]^2 + \left[\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right]^2 \left[\frac{u(D)}{D}\right]^2 + \left[\frac{2}{1-\beta^4}\right]^2 \left[\frac{u(d)}{d}\right]^2 + \frac{1}{4} \left[\frac{u(\Delta p)}{\Delta p}\right]^2 + \frac{1}{4} \left[\frac{u(\rho)}{\rho}\right]^2} \quad (5)$$

Poszczególne składowe niepewności oblicza się w następujący sposób [3]:

$\frac{u(C)}{C}$ - względna niepewność standardowa współczynnika przepływu

$$\frac{u(C)}{C} = 0,5\% \text{ dla } \beta \leq 0,60 \quad (6)$$

$$\frac{u(C)}{C} = (1,667\beta - 0,5)\% \quad 0,60 = \beta \leq 0,75 \quad (7)$$

$\frac{u(\epsilon)}{\epsilon}$ - względna niepewność standardowa liczby ekspansji

$$\frac{u(\epsilon)}{\epsilon} = 4 \frac{\Delta p}{p_1} \% \quad (8)$$

Dla wody, która jest nieściśliwa przyjmujemy $\epsilon = 1$ oraz $\frac{u(\epsilon)}{\epsilon} = 0$

$\frac{u(D)}{D}$ - względna niepewność standardowa średnicy rurociągu

Do obliczeń można przyjąć wg PN- EN ISO 5167 błąd graniczny $\frac{\Delta g^{(D)}}{D} = 0,4\%$ stąd $\frac{u(D)}{D} = \left[\frac{\Delta g^{(D)}}{D} \right] / \sqrt{3}$, przy założeniu, że błędy mają rozkład prostokątny (metoda obliczeń typu B)

$\frac{u(d)}{d}$ - **względna niepewność standardowa średnicy otworu zwężki**

Do obliczeń można przyjąć wg PN- EN ISO 5167 błąd graniczny $\frac{\Delta g^{(d)}}{d} = 0,07\%$ stąd $\frac{u(d)}{d} = \left[\frac{\Delta g^{(d)}}{d} \right] / \sqrt{3}$, przy założeniu, że błędy mają rozkład prostokątny (metoda obliczeń typu B)

Pozostałe dwie niepewności względne: różnicy ciśnień i gęstości czynnika wg PN- EN ISO 5167 należy oszacować samemu. I tak:

$\frac{u(\rho)}{\rho}$ - **względna niepewność standardowa gęstości wody**

Można przyjąć, że $\frac{u(\rho)}{\rho} = 0,1\%$

$\frac{u(\Delta p)}{\Delta p}$ - **względna niepewność standardowa ciśnienia różnicowego na zwężce**

Ponieważ $\Delta p = (\rho_m - \rho)g\Delta h = \Delta \rho g\Delta h$ to:

$$\frac{u(\Delta p)}{\Delta p} = \sqrt{\left[\frac{u(\Delta \rho)}{\Delta \rho} \right]^2 + \left[\frac{u(g)}{g} \right]^2 + \left[\frac{u(\Delta h)}{\Delta h} \right]^2} \quad (9)$$

Poszczególne składowe można przyjąć lub obliczyć następująco:

$\frac{u(\Delta \rho)}{\Delta \rho}$ - **względna niepewność gęstości**

$$\frac{u(\Delta \rho)}{\Delta \rho} = 0,1\%$$

$\frac{u(g)}{g}$ - **względna niepewność przyspieszenia ziemskiego**

$$\frac{u(g)}{g} = 0,1\%$$

$\frac{u(\Delta h)}{\Delta h}$ - **względna niepewność różnicy wysokości ciśnień na kryzie**

$$\Delta h = h_1 + h_2 \quad (10)$$

gdzie: h_1 i h_2 wysokości słupów cieczy manometrycznej w lewym i prawym ramieniu manometru w mm

$$u(\Delta h) = \sqrt{[u(\Delta h_1)]^2 + [u(\Delta h_2)]^2} \quad (11)$$

Można przyjąć iż obie składowe niepewności są sobie równe i obliczyć je metodą typu B. Zakładając, że błąd graniczny $\Delta g(h_1)$ i $\Delta g(h_2)$ wynosi ± 1 mm oraz błędy mają rozkład prostokątny, otrzymujemy:

$$u(\Delta h_1) = u(\Delta h_2) = \frac{\Delta g(\Delta h)}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Równanie przybiera zatem postać:

$$u(\Delta h) = \sqrt{[u(\Delta h_1)]^2 + [u(\Delta h_2)]^2} = \sqrt{2 \left[\frac{1}{\sqrt{3}} \right]^2} = 0,816 \text{ mm} \quad (13)$$

Stąd równanie (9) przybiera postać:

$$\frac{u(\Delta p)}{\Delta p} = \sqrt{\left[\frac{0,1}{100} \right]^2 + \left[\frac{0,1}{100} \right]^2 + \left[\frac{0,816}{\Delta h} \right]^2}; \Delta h \text{ w mm} \quad (14)$$

Niepewność całkowita wyraża się równaniem : $U(q_v) = k u(q_v)$, gdzie k – współczynnik rozszerzenia

4. SPOSÓB REALIZACJI ĆWICZENIA

4.1. SCHEMAT STANOWISKA POMIAROWEGO

Pomiary zostaną przeprowadzone na stanowisku pomiarowym do badania pompy wirowej przedstawionym na rysunku 2. Kryza z przytarczowym odbiorem ciśnienia została zamontowana na rurociągu tłocznym układu pompowego przy wymaganych odpowiednio długich prostych odcinkach za i przed zwężką.

Dane pomiarowe:

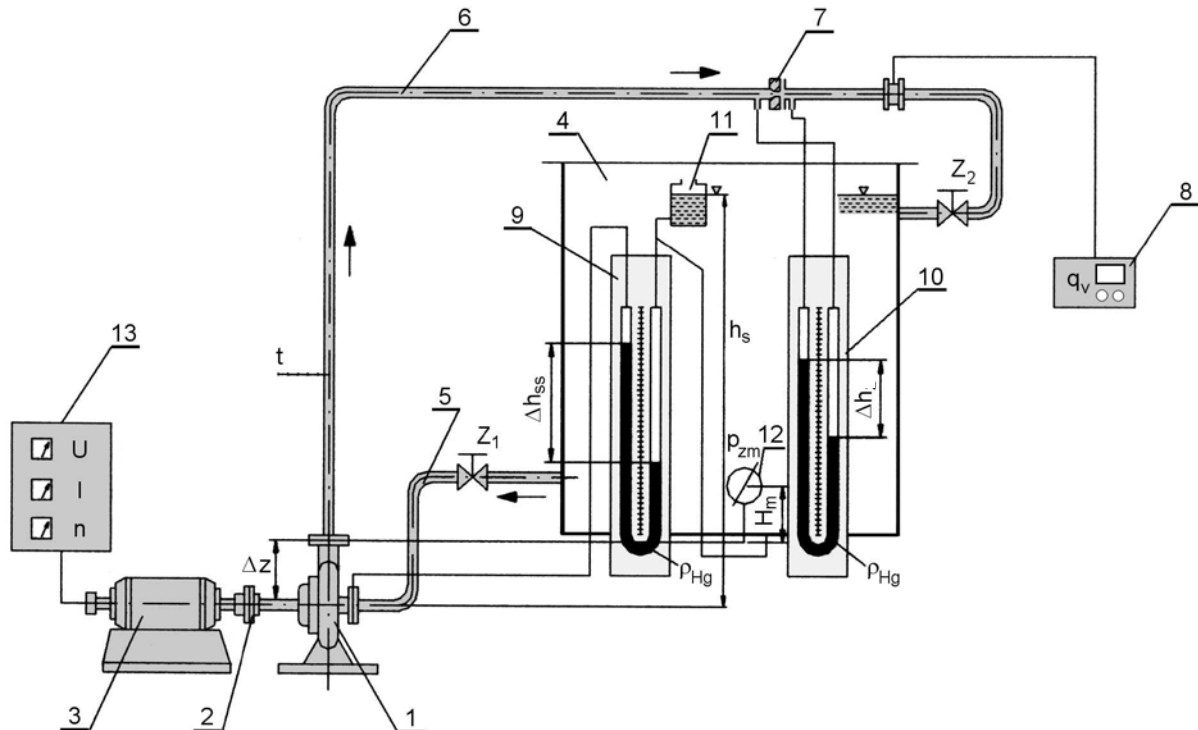
współczynnik przepływu kryzy $C=0,608$

średnica rurociągu $D= 50 \text{ mm}$

średnica otworu kryzy $d= 31,4 \text{ mm}$

liczba ekspansji $\xi=1$

ciecz manometryczna: rtęć



1 – pompa, 2 – sprzęgło, 3 – silnik elektryczny, 4 – zbiornik wodny, 5 – rurociąg ssawny, 6 – rurociąg tłocznym, 7 – zwężka pomiarowa, 8 – przepływomierz „Ursaflux” ze ścieżką wirową, 9 – hydrostatyczny manometr rtęciowy do pomiarów ciśnienia na wlocie do pompy, 10 – hydrostatyczny manometr rtęciowy do pomiaru różnicy ciśnień na zwężce, 11 – naczynie poziome, 12 – manometr sprężynowy do pomiaru ciśnienia na wylocie z pompy, 13 – sterownik tyrystorowy

Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego

4.2. SPOSÓB WYKONANIA POMIARÓW I OBLICZEŃ

Pomiary należy wykonać dla $n=10$ strumieni przepływającej w rurociągu wody w następujący sposób:

- ustawić obroty pompy regulatorem znajdującym się w obudowie sterownika tyrystorowego na $n= 3000$ obr/min
- odczytać wg schematu z rysunku 2 $\Delta h_z = \Delta h_{MAX} = \Delta h_{10}$
- odczytać strumień objętości $q_{v10}(w)$ z przepływomierza wirowego nr 8
- zmniejszając obroty pompy ustawić na kryzie różnicę wysokości ciśnień $\Delta h_9 = \left(\frac{9}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$
- dla tej różnicy wysokości ciśnień odczytać strumień objętości z przepływomierza wirowego nr 8 $q_{v9}(w)$
- zmniejszając obroty pompy ustawić na kryzie różnicę wysokości ciśnień $\Delta h_8 = \left(\frac{8}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$
- dla tej różnicy wysokości ciśnień odczytać strumień objętości z przepływomierza wirowego nr 8 $q_{v8}(w)$
itd.....

Różnice wysokości ciśnień na manometrze są tak dobrane aby przyrosty/spadki strumieni objętości wody były stałe tzn: $q_{v10} - q_{v9} = q_{v9} - q_{v8} = q_{v8} - q_{v7} = q_{v7} - q_{v6} = \dots = \Delta q$.

Stąd :

- $\Delta h_9 = \left(\frac{9}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$, $\Delta h_8 = \left(\frac{8}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$, $\Delta h_7 = \left(\frac{7}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$, $\Delta h_6 = \left(\frac{6}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$,
 $\Delta h_5 = \left(\frac{5}{10}\right)^2 \Delta h_{10}$ itd...
- na początku i na końcu pomiarów odczytać temperaturę wody t

Wyniki pomiarów opracować należy następująco:

- obliczyć względną niepewność całkowitą strumieni objętości przepływającej wody z równań (5 – 15) ;przyjąc $\alpha=0,95$ i $k= 2$.
- dla przeprowadzonych 10 serii narysować charakterystykę $q_v = \sqrt{\Delta h}$ i nanieść na nią obliczone niepewności
- na wykres nanieść również wartości strumieni objętości odczytane z przepływomierza wirowego i sprawdzić czy leżą one wewnątrz przedziału niepewności obliczonego dla kryzy.

5. PYTANIA KONTROLNE

1. Definicja metody pośredniej pomiaru
2. Podać równanie na strumień objętości płynu mierzonego kryzą, opisać wielkości wchodzące w skład tego równania
3. Schemat układu do pomiaru strumieni objętości płynu za pomocą kryzy i zaznaczyć mierzone wielkości niezbędne do jego wyznaczenia
4. Ogólna zasada wyznaczania niepewności dla pomiarów pośrednich

6. LITERATURA

1. *Miernictwo energetyczne: Pomiar podstawowych wielkości*. Z zakładu Techniki Ciepłej, wydanie III nie zmienione, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 1977
2. PN-EN ISO 5167-2, lipiec 2005
3. J. Arendarski: *Niepewność pomiarów*, Oficyna wydawnicza Politechnika Warszawskiej, Warszawa 2006

Data wykonania instrukcji:
20.10.2010