



Politechnika Wroclawska

Katedra Techniki Ciepłej W9/K51

**Miernictwo i systemy pomiarowe – Lab**

# Przepływomierze zwężkowe

**Instrukcja do ćwiczenia nr 8**

*Opracował: dr inż. Wiesław Wędrychowicz*

Wrocław, 2021

## WSTĘP

Przepływomierze zwężkowe opierają się na pomiarze strumienia objętości lub masy przez pomiar różnicy ciśnienia przed i za zwężeniem. Elementami powodującymi zwężenie strugi są kryzy, zwężki lub dysze. Zwężki, wywołują zwiększenie prędkości strugi płynu, a zgodnie z całą Bernoulliego, zwiększenie prędkości powoduje spadek ciśnienia. Ten spadek ciśnienia nazywany jest mierniczym spadkiem ciśnienia i jest miarą strumienia objętości. Wadą tej metody pomiaru jest to, że gdy prędkość cieczy wraca do pierwotnej prędkości za przewężeniem ciśnienie już nie powraca do wartości początkowej. Jest to trwała strata ciśnienia. Pomiar przepływomierzami zwężkowymi jest więc obarczony wprowadzaniem do instalacji stałej straty ciśnienia. Najmniejszą trwałą stratę ciśnienia spośród zwężek daje zwężka Venturiego, a największą kryza.

Stopień zmniejszenia przekroju nazywane jest przewężeniem. Im większe przewężenie tym większy mierniczy spadek ciśnienia co oznacza że dokładniej można go zmierzyć. Jednocześnie powoduje to większą trwałą stratę ciśnienia. Z tego powodu należy rozważnie dobierać wartość przewężenia aby zapewnić wystarczającą dokładność pomiaru przy możliwie małych trwałych stratach ciśnienia.

W metodzie zwężkowej strumień objętości wyznaczamy z równania

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

gdzie:

C – stała zwężki,

$\beta$  – przewężenie zwężki

d - średnica otworu zwężki

$\varepsilon$  – współczynnik ekspansji

$\Delta p$  – mierniczy spadek ciśnienia

$\rho$  – gęstość płynu

Strumień masy możemy wyznaczyć po wymnożeniu obu stron równania przez gęstość płynu

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

Współczynnik ekspansji jest związany ze ściśliwością płynu. Dla cieczy nieściśliwych  $\varepsilon = 1$  dla gazów ściśliwych  $\varepsilon < 1$ .

Współczynnik ekspansji możemy wyznaczyć z zależności

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

gdzie:

$\beta$  – przewężenie zwężki

$\varepsilon$  – współczynnik ekspansji

$\Delta p$  – mierniczy spadek ciśnienia

$p_1$  – ciśnienie abs. przed zwężką,

$\kappa$  – wykładnik izentropy (dla powietrza  $\kappa = 1,4$ )



Gęstość powietrza wyznaczmy z zależności:

$$\rho = \frac{1}{R_s} \frac{1 + \frac{0.622 \cdot \varphi \cdot p_s}{p - p_s}}{1 + \frac{\varphi \cdot p_s}{p - p_s}} \frac{p}{T} \quad (4)$$

gdzie

$R_s = 287.1 \frac{J}{kg \cdot K}$  – stała gazowa powietrza suchego

$\varphi$  – wilgotność względna

$p_s$  – ciśnienia nasycenia pary wodnej

$p$  – ciśnienie otoczenia

$T$  – temperatura otoczenia K

Ciśnienie nasycenia pary wodnej:

$$p_s = 9.8065 \cdot 10^5 \frac{e^{\frac{0.01028 \cdot T - 7821.541}{T} + 82.86568}}{T^{11.48776}} \quad (5)$$

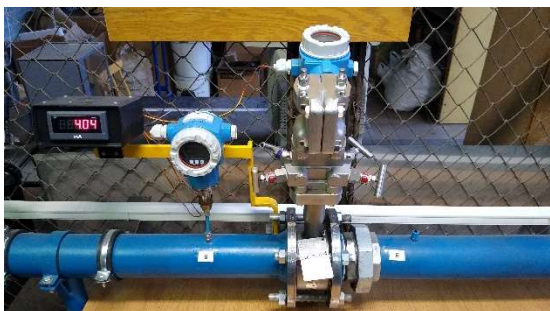
gdzie:

$T$  – temperatura,  $|T| = K$

### Część doświadczalna

Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe składa się z wentylatora sterowanego falownikiem, rurociągu z zamontowaną kryzą, czujnika ciśnienia absolutnego, termometru, higrometru, licznika gazu i stopera.



### Przebieg ćwiczenia

1. Odczytać parametry kryzy i wzorcowania umieszczone na stanowisku ( $\beta$ ,  $p_1$ ,  $\Delta p$ ,  $q_V$ ,  $D$ ,  $d$ ).
2. Na podstawie wzoru (3) obliczyć współczynnik ekspansji dla powietrza  $\varepsilon$  w warunkach wzorcowania.



3. Przekształcić wzór (1) do postaci  $C = \dots$  i obliczyć stałą C kryzy.
4. Przekształcić wzór (1) do postaci  $q_V = K \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$ , gdzie K jest liczbą zawierającą wszystkie stałe niezmiennie w czasie pomiarów.
5. Obliczyć gęstość powietrza dla każdego pomiaru na podstawie  $p_1, t, \varphi$
6. Obliczyć współczynnik ekspansji  $\varepsilon$  dla każdego pomiaru na podstawie  $\Delta p, p_1$
7. Obliczyć strumień objętości na podstawie  $K, \Delta p, \varepsilon, \rho$ .
8. Wzorcowy strumień objętości należy wyznaczyć z objętości (zmierzonej licznikiem gazu) i czasu pomiaru.
9. Na wykresie przedstawić zależność  $q_V$  ( $q_{Vwz}$ ).



# Przepływomierz zwężkowy

Protokół pomiarowy z dnia .....

<b>n</b>	<b><math>\Delta p</math></b>	<b><math>p_1</math></b>	<b>t</b>	<b><math>\varphi</math></b>	<b><math>\tau_p</math></b>	<b><math>V_p</math></b>	<b><math>\tau_k</math></b>	<b><math>V_k</math></b>
<b>Hz</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b>°C</b>	<b>%</b>	<b>m,s,SS</b>	<b><math>m^3</math></b>	<b>m,s,SS</b>	<b><math>m^3</math></b>



<b>n</b>	<b><math>\Delta p</math></b>	<b><math>p_1</math></b>	<b>t</b>	<b><math>\varphi</math></b>	<b><math>\tau_p</math></b>	<b><math>V_p</math></b>	<b><math>\tau_k</math></b>	<b><math>V_k</math></b>
<b>Hz</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b><math>^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>%</b>	<b>m,s,ss</b>	<b><math>\text{m}^3</math></b>	<b>m,s,ss</b>	<b><math>\text{m}^3</math></b>

$\beta = \dots\dots$

$p_1 = \dots\dots\dots$

$\Delta p = \dots\dots\dots$

$q_v = \dots\dots\dots$

$D = \dots\dots\dots$

$d = \dots\dots\dots$

Uwagi:

