

**Pomiar strumienia masy za pomocą kryz na stanowisku
badawczym**

1. Cel ćwiczenia:

- zrozumienie i pogłębienie wiadomości z zakresu mechaniki płynów
- nabycie umiejętności obliczenia metodą iteracyjną strumienia masy za pomocą kryz
- pomiar określonej wartości strumienia masy za pomocą dwóch kryz, na których panują różne warunki przepływowe i termodynamiczne

2. Podstawowe wiadomości z mechaniki płynów i termodynamiki

- strumień: masy, objętości
- linia prądu, tor cząsteczki
- ciśnienie: statyczne, dynamiczne, całkowite
- entalpia: statyczna, całkowita
- termiczne równanie stanu
- równanie: ciągłości przepływu, energii, Bernoulliego
- liczba: Reynoldsa
- przepływ: laminarny, burzliwy

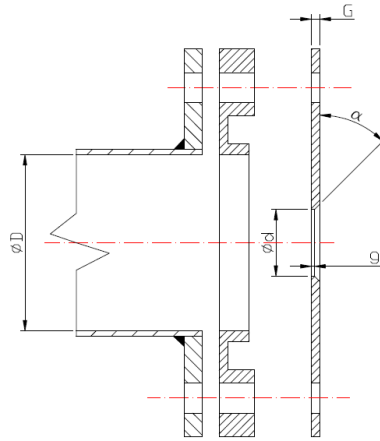
3. Układ pomiarowy

Pomiar strumienia masy realizowany jest za pomocą kryz z przytarczowym odbiorem ciśnienia (rys. 3.1.). Kryzy wykonane są zgodnie z zaleceniami Polskich Norm. Podczas pomiarów, w celu zbilansowania strumienia masy, zastosowano podobieństwo geometryczne kryz 0 i 2. Do kryz zastosowano zalecane odcinki rozbiegowe.



Rys. 1. Kryzy stosowane w testach stanowiska oraz pomiarach, elementy do pomiaru ciśnienia przytarczowego

Na rysunku 2 przedstawiono geometrię kanału, tarczy odbioru ciśnienia oraz kryzy, które są zamontowane na stanowisku badawczym. Zwymiarowano je symbolowo. Wartości poszczególnych wymiarów podane są w tabeli 2.1.



Rys. 2. Geometria kanałów, tarcz odbioru ciśnienia oraz kryz, zastosowanych na stanowisku

Tabela 1 zawiera wymiary kryz oraz kanałów w poszczególnych miejscach pomiaru strumienia masy.

Tabela 1

Zestawienie geometrii kanałów oraz kryz w miejscach pomiaru strumienia masy (rys. 2.2)

Oznaczenie	Opis	Jednostka	Kryza 0	Kryza 1
D	średnica rurociągu	mm	50	50
d	średnica przewężenia	mm	17 25 37,5	19 25
α	kąt sfazowania	°	45	45
G	grubość kryzy	mm	2,5	2,5
g	grubość przewężenia	mm	1	1

Do pomiaru ciśnienia zastosowano piezorezystancyjne przetworniki ciśnienia bezwzględnego PAA-23SY o sygnale napięciowym (rys. 3 a). Zakres pomiarowy przetworników to 0-5·10⁵ Pa. Dokładność tego typu przetwornika wynosi 0,25% zakresu pomiarowego. Ciśnienie różnicowe na kryzach mierzone jest za pomocą przetworników PD-23 (rys. 3 b) o zakresach 0-0,25·10⁵ Pa oraz 0-1·10⁵ Pa. Dokładność pomiaru przetwornika PD-23 wynosi 0,2% zakresu pomiarowego.



Rys. 2. Urządzenia pomiarowe: przetworniki ciśnienia a) bezwzględnego PAA-23SY, b) różnicowego PD-23, c) termopara typu T, pokryta teflonem

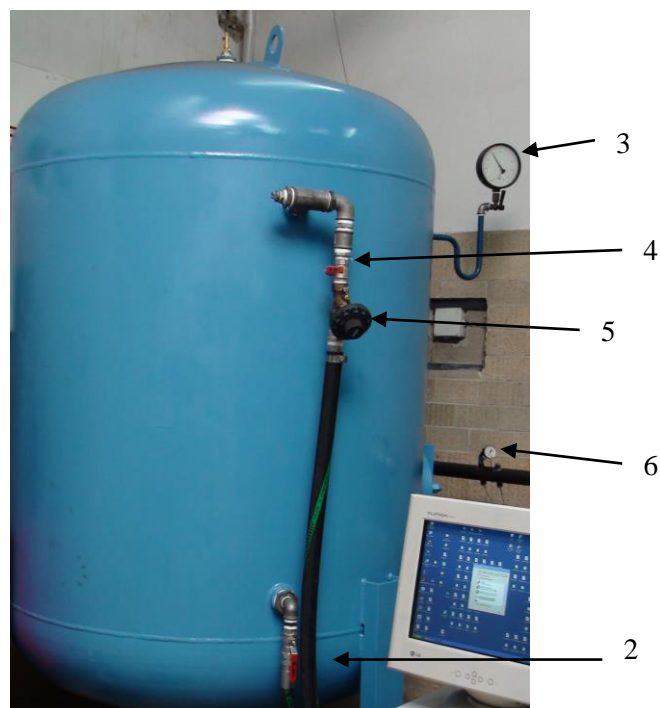
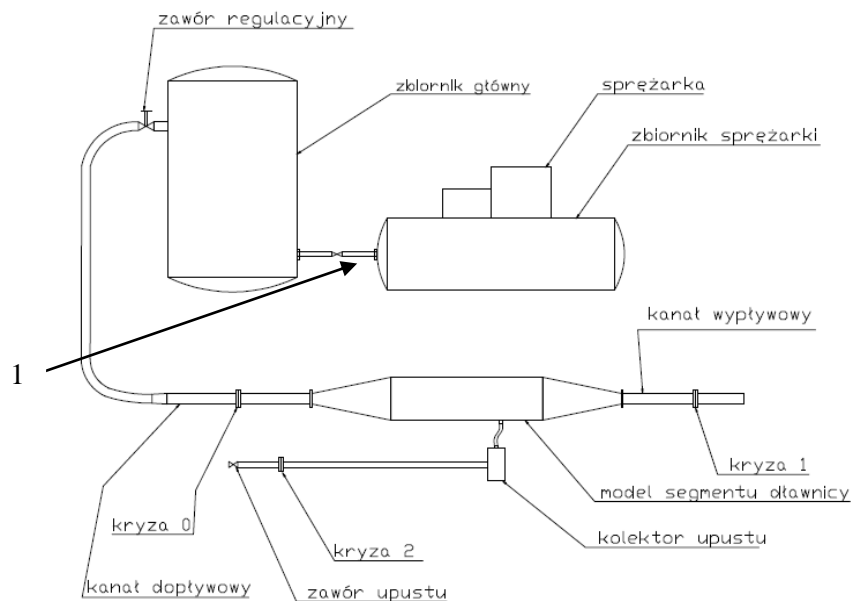
Pomiar temperatury realizowany jest za pomocą termopar typu T (rys. 2. c). W warunkach pomiarowych istnieje możliwość wykroplenia się wody z rozprężającego się powietrza, dlatego do badań użyto termopar, których spoiny pomiarowe pokryte są cienką warstwą teflonu. Warstwa ta chroni również część pomiarową termopary przed uszkodzeniem mechanicznym. Każdą z zastosowanych termopar umieszczono w króćcu umożliwiającym szczelne zamocowanie. Geometria króćca termopary dobrano tak, aby jej spoina znajdowała się tuż przy powierzchni ścianki kanału.

Procedura uruchomienia stanowiska do badań uszczelnień labiryntowych

UWAGA! Stanowisko obsługuje tylko prowadzący zajęcia.

1. Jeżeli nadciśnienie w zbiorniku głównym jest mniejsze niż 2 bar, wówczas należy uzupełnić ciśnienie w zbiornikach w następujący sposób:

- Otworzyć zawór wypływowy znajdujący się przy zbiorniku sprężarki (1) i zawór na kanale doprowadzającym sprężone powietrze do zbiornika głównego (2). Zawory (4) i (5) muszą być w pozycji zamkniętej.



- Uruchomić sprężarkę, napełnić zbiorniki do maksymalnego ciśnienia 4 bar. Ciśnienie w zbiornikach należy odczytywać ze wskaźnika ciśnienia (3).
- 2. W celu zademonstrowania pracy stanowiska należy ustawić zawór wypływu powietrza (4) w pozycji całkowicie otwartej. Zaworem regulacyjnym (5) należy stopniowo zwiększać strumień masy dopływający do stanowiska.
- 3. Wartość nadciśnienia sprężonego powietrza dopływającego do segmentu stanowiska można odczytać ze wskaźnika (6).
- 4. Program archiwizujący zapisuje dane pomiarowe do plików, które poddano obróbce. Prowadzący zajęcia dysponuje plikiem dostosowanym do tematu zajęć dydaktycznych, w którym znajdują się wektory danych do obliczeń.

Do tematu: **Pomiar strumienia masy za pomocą kryz na stanowisku badawczym** należy odczytać z pliku o nazwie:

PEClab_kryzy_BJ_s = ... następujące dane:

nr wiersza danych	qm_0 [kg/s]	p1_kr0 [Pa]	p1_kr1 [Pa]	dp_kr0 [Pa]	dp_kr1 [Pa]	T_kr0 [K]	T_kr1 [K]
-------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-----------

qm_0 – rzeczywisty strumień masy płynący przez segment dławnicy

p1_kr0 – ciśnienie absolutne gazu przed kryzą 0

dp_kr0 – różnica ciśnienia na kryzie 0

p1_kr1 – ciśnienie absolutne gazu przed kryzą 1

dp_kr1 – różnica ciśnienia na kryzie 1

T_kr0 – temperatura gazu przed kryzą 0

T_kr1 – temperatura gazu przed kryzą 1

Literatura

1. PN-EN ISO 5167-1, (Polska Norma)
2. D. Joachimiak, Badanie uszczelnień labiryntowych z upustem, praca doktorska

POLITECHNIKA POZNAŃSKA			
Instytut Energetyki Ciepłej			
ite.put.poznan.pl			
Pomiar strumienia masy za pomocą kryz na stanowisku badawczym			
Imię Nazwisko:		Nr indeksu:	
		Rok akademicki/ grupa laboratoryjna	
Data oddania:		Data zaliczenia:	
		Ocena:	
		Podpis prowadzącego:	

I. Obliczenia dla zwężki I

Dane do pomiarów:

nr wiersza danych:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Typ zwężki | kryza |
| 2. Średnice rurociągu | D = 50 mm |
| 3. Średnica otworu zwężki | d = |
| 4. Przewężenie zwężki | $\beta = d/D = \dots\dots\dots$ |
| 5. Rodzaj przepływającego czynnika | powietrze |
| 6. Temperatura powietrza w kanale dopływowym | T = |
| 7. Ciśnienie statyczne absolutne w kanale dopływowym | |
| $p_1 = \dots\dots\dots$ | |

8. Ciśnienie różnicowe statyczne na zwężce
 $\Delta p = \dots\dots\dots$

9. Stała gazowa dla powietrza wilgotnego ($\varphi = 50\%$), $R = 288,3 \text{ J/kgK}$

10. Gęstość powietrza przed zwężką

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT} \qquad \rho_1 = \dots\dots\dots$$

11. Kinematyczny współczynnik lepkości ν [m²/s]

$$\nu = 1,77 \cdot 10^{-5} \frac{T^2 [K]}{p_1 [Pa]}$$

$\nu =$

12. Założona dla pierwszej iteracji prędkość przepływu $c_0 = 10 \text{ m/s}$

13. liczna Reynoldsa

$$Re_D = \frac{Dc_0}{\nu}$$

14. Współczynnik przepływu
Ogólny wzór na współczynnik przepływu:

$$C = \dots\dots\dots$$

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0,7}$$

15. Liczba ekspansji

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

Obliczenia iteracyjne strumienia masy

	Ozn.	Jedn.	I	II	III
16. Strumień masy powietrza $\dot{m} = C\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 (1 - \beta^4)^{-0,5} (2\Delta p \rho_1)^{0,5}$	\dot{m}	[kg/s]			
17. Średnia prędkość w rurociągu $c = \frac{4\dot{m}}{\pi D^2 \rho_1}$	c	[m/s]			
18. Liczba Reynoldsa $Re = \frac{Dc}{\nu}$	Re	[-]			
19. Współczynnik przepływu C	C	[-]			

II. Obliczenia dla zwężki II

Dane do pomiarów:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Typ zwężki | kryza |
| 2. Średnice rurociągu | D = 50 mm |
| 3. Średnica otworu zwężki | d = |
| 4. Przewężenie zwężki | $\beta = d/D = \dots\dots\dots$ |
| 5. Rodzaj przepływającego czynnika | powietrze |
| 6. Temperatura powietrza w kanale dopływowym | T = |
| 7. Ciśnienie statyczne absolutne w kanale dopływowym | $p_1 = \dots\dots\dots$ |

8. Ciśnienie różnicowe statyczne na zwężce
 $\Delta p = \dots\dots\dots$

9. Stała gazowa dla powietrza wilgotnego ($\varphi = 50\%$), $R = 288,3 \text{ J/kgK}$

10. Gęstość powietrza przed zwężką

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT} \quad \rho_1 = \dots\dots\dots$$

11. Kinematyczny współczynnik lepkości

$$\nu = 1,77 \cdot 10^{-5} \frac{T^2 [K]}{p_1 [Pa]}$$

$$\nu =$$

12. Założona dla pierwszej iteracji prędkość przepływu $c_0 = 10 \text{ m/s}$

13. Liczba Reynoldsa

$$\text{Re}_D = \frac{Dc_0}{\nu}$$

14. Współczynnik przepływu

$C = \dots\dots\dots$

Ogólny wzór na współczynnik przepływu:

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0,7}$$

15. Liczba ekspansji

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

Obliczenia iteracyjne strumienia masy

	Ozn.	Jedn.	I	II	III
16. Strumień masy powietrza $\dot{m} = C\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 (1 - \beta^4)^{-0,5} (2\Delta p \rho_1)^{0,5}$	\dot{m}	[kg/s]			
17. Średnia prędkość w rurociągu $c = \frac{4\dot{m}}{\pi D^2 \rho_1}$	c	[m/s]			
18. Liczba Reynoldsa $\text{Re} = \frac{Dc}{\nu}$	Re	[-]			
19. Współczynnik przepływu	C	[-]			

III. Wyniki i wnioski

- wykres przebiegu zmian strumienia masy w procesie iteracyjnym
- porównanie strumienia masy w procesie iteracyjnym dla obu kryz
- porównanie warunków przepływowych na obu kryzach