

# 28

## 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

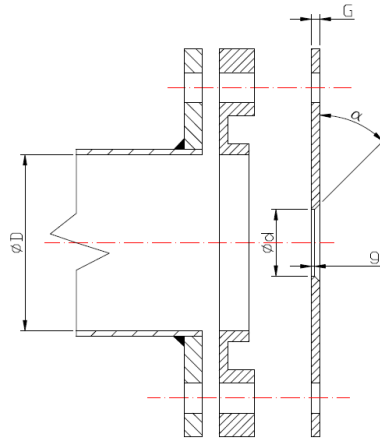
### 3. Układ pomiarowy

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
$\alpha$	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  $0-5 \cdot 10^5$  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  $0-0,25 \cdot 10^5$  Pa oraz  $0-1 \cdot 10^5$  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

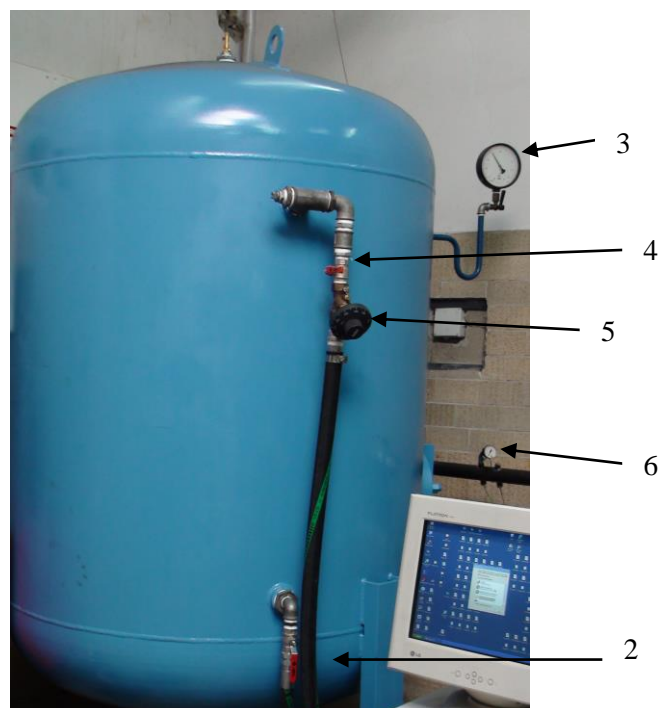
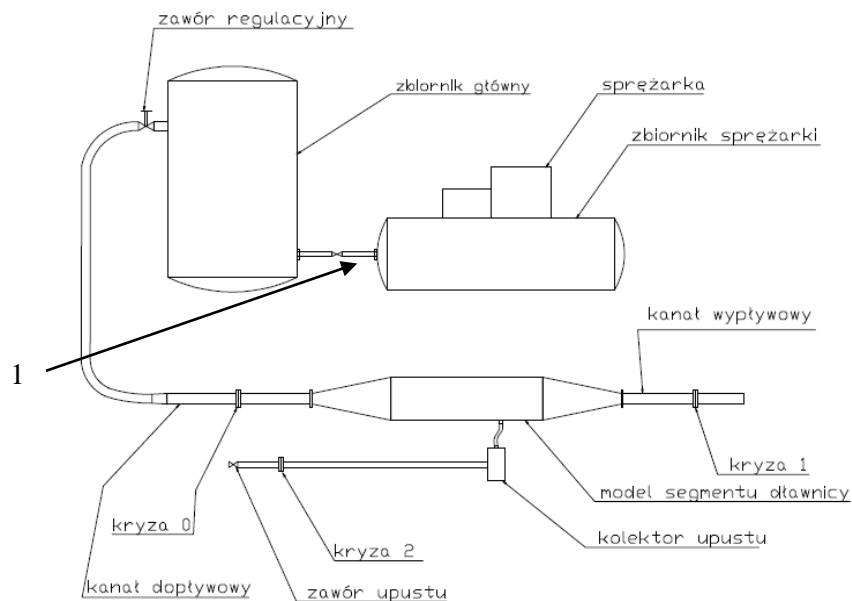
Pomiar temperatury realizowany jest za pomocą termopar typu T (rys. 2. c). W warunkach pomiarowych istnieje możliwość wykroplenia się wody z rozprężającego się powietrza, dlatego do badań użyto termopar, których spoiny pomiarowe pokryte są cienką warstwą teflonu. Warstwa ta chroni również część pomiarową 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

**Temat:**

**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:

- Typ zwężki kryza
- Średnice rurociągu  $D = 50 \text{ mm}$
- Średnica otworu zwężki  $d = \dots\dots\dots$
- Przewężenie zwężki  $\beta = d/D = \dots\dots\dots$
- Rodzaj przepływającego czynnika powietrze
- Temperatura powietrza w kanale dopływowym  $T = \dots\dots\dots$
- Ciśnienie statyczne absolutne w kanale dopływowym  
 $p_1 = \dots\dots\dots$
- Ciśnienie różnicowe statyczne na zwężce  
 $\Delta p = \dots\dots\dots$
- Stała gazowa dla powietrza wilgotnego ( $\varphi = 50\%$ ),  $R = 288,3 \text{ J/kgK}$
- Gęstość powietrza przed zwężką  
 $\rho_1 = \frac{p_1}{RT}$   $\rho_1 = \dots\dots\dots$
- Kinematyczny współczynnik lepkości  $\nu \text{ [m}^2/\text{s]}$   
 $\nu = 1,77 \cdot 10^{-5} \frac{T^2[\text{K}]}{p_1[\text{Pa}]}$   
 $\nu =$
- Założona dla pierwszej iteracji prędkość przepływu  $c_0 = 10 \text{ m/s}$
- liczna Reynoldsa

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

14. Współczynnik przepływu

C = .....

Ogólny wzór na współczynnik przepływu:

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

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:

- Typ zwężki kryza
- Średnice rurociągu D = 50 mm
- Średnica otworu zwężki d = .....
- Przewężenie zwężki  $\beta = d/D = \dots\dots\dots$
- Rodzaj przepływającego czynnika powietrze
- Temperatura powietrza w kanale dopływowym T = .....
- Ciśnienie statyczne absolutne w kanale dopływowym  $p_1 = \dots\dots\dots$
- Ciśnienie różnicowe statyczne na zwężce  $\Delta p = \dots\dots\dots$
- Stała gazowa dla powietrza wilgotnego ( $\varphi = 50\%$ ), R = 288,3 J/kgK
- Gęstość powietrza przed zwężką  $\rho_1 = \frac{p_1}{RT}$   $\rho_1 = \dots\dots\dots$
- 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

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

14. Współczynnik przepływu

$C = \dots\dots\dots$

Ogólny wzór na współczynnik przepływu:

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

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	$C$	[-]			

### 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