

ĆWICZENIE I

WYZNACZENIE ROZKŁADU PRĘDKOŚCI STRUGI W KANALE

1. CEL ĆWICZENIA

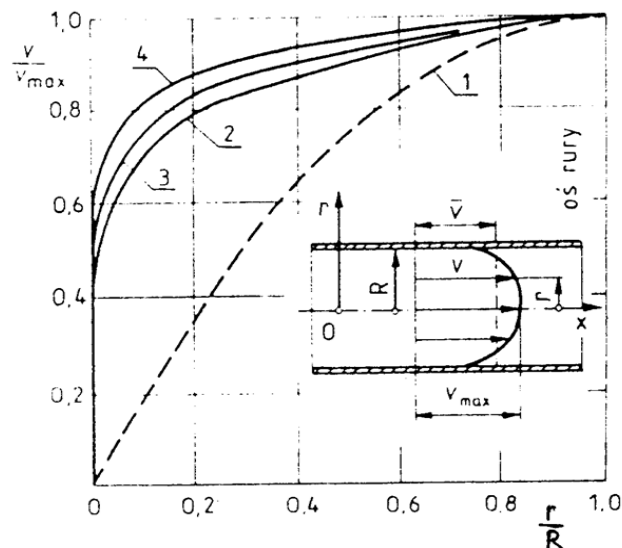
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą pomiaru prędkości płynu przy pomocy rurki Prandtla oraz określenie rozkładu prędkości w przewodzie o przekroju kołowym.

2. LITERATURA

1. Informacje z wykładów i ćwiczeń
2. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska. WNT
Rozdziały: 1, 2, 3, 4, 5, 7
3. Słupek S., Nocoń J., Buczek A.: Technika Ciepłna - Ćwiczenia obliczeniowe. Skrypt AGH nr 1646.
Rozdziały - 1 i 5
4. Norma PN – ISO 5221
5. Miller R.W.: Flow measurement engineering handbook. McGraw-Hill, Inc.
Second Edition, New York – St. Louis, 1989

3. ROZKŁAD PRĘDKOŚCI DLA PRZEPŁYWÓW W KANAŁACH O PRZEKROJU KOŁOWYM

Względny rozkład prędkości (w odniesieniu do prędkości maksymalnej) dla przepływów w kanałach o przekroju kołowym przedstawiony jest na wykresie (Rys. 1). Wykres dotyczy przepływów w rurze gładkiej o promieniu R .



Rys. 1 Rozkład względny prędkości w rurze [2]

1- laminarny, 2 - $Re = 4000$, 3 - $Re = 110000$, 4 - $Re = 320000$

Rozkład prędkości dla przepływu laminarnego opisanych jest równaniem:

$$v(r) = v_{max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

Do najbardziej znanych zależności opisujących rozkład prędkości dla przepływu turbulentnego należy wzór Prandtla:

$$v(r) = v_{max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{n}}$$

WYKŁADNIK n

Wykładnik n jest zależny od liczby Reynoldsa. Wartość wykładnika n można wyznaczyć z [5]:

$$n = 1,66 \log Re$$

Wartość wykładnika we wzorze podana jest w zależności od wartości liczby Reynoldsa. Wartości wykładnika n w wzorze Prandtla opisującego rozkład prędkości przyjmują wartości z zakresu 6 – 10 (Tabela 1).

Tabela 1 Wartości wykładnika n

Re	2 300	45 000-80 000	200 000	640 000	2 000 000
n	6	7	8	9	10

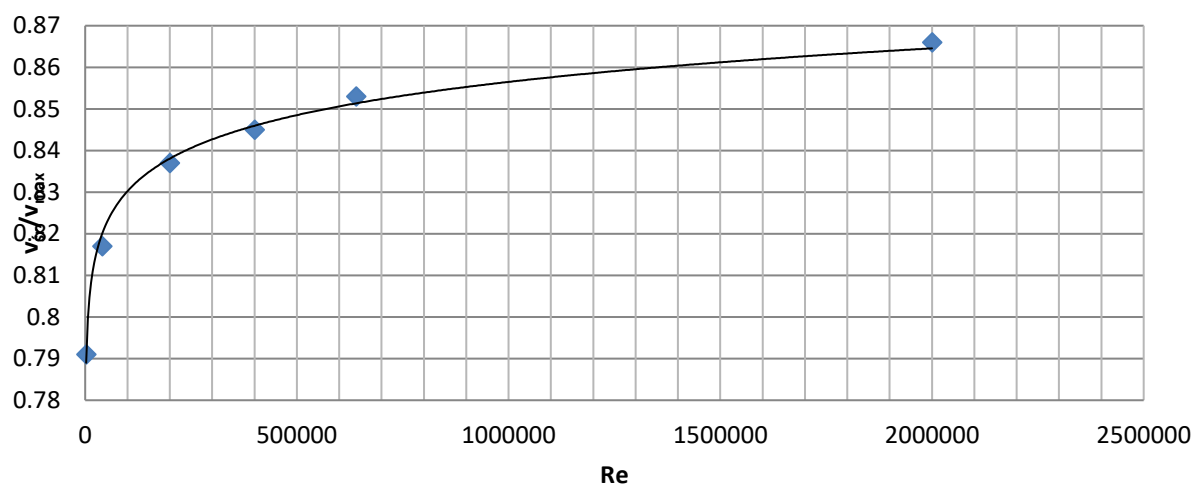
STOSUNEK PRĘDKOŚCI ŚREDNIEJ DO MAKSYMALNEJ

Stosunek prędkości średniej do maksymalnej dla ruchu laminarnego w przewodzie o przekroju kołowym jest wielkością stałą, niezależną od liczby Reynoldsa i przyjmuje wartość 0,5

Stosunek prędkości średniej do maksymalnej dla przepływów turbulentnych jest zależny od liczby Reynoldsa. Wartości stosunku prędkości zawierają się w przedziale 0,791 - 0,866 (Tabela 2). Charakter zmian stosunku prędkości został przedstawiony na wykresie (Rys. 2)

Tabela 2 Stosunek prędkości średniej do maksymalnej dla różnych liczb Reynoldsa [2]

Re	2 300	45 000-80 000	200 000	640 000	2 000 000
$v_{\text{śr}}/v_{\text{max}}$	0,791	0,817	0,837	0,853	0,866



Rys. 2 Stosunek prędkości średniej do maksymalnej w funkcji liczby Reynoldsa.

Stosunek prędkości średniej do maksymalnej $v_{\text{śr}}/v_{\text{max}}$ można wyznaczyć korzystając z równania aproksymującego dane przedstawione w Tabeli 2 w postaci:

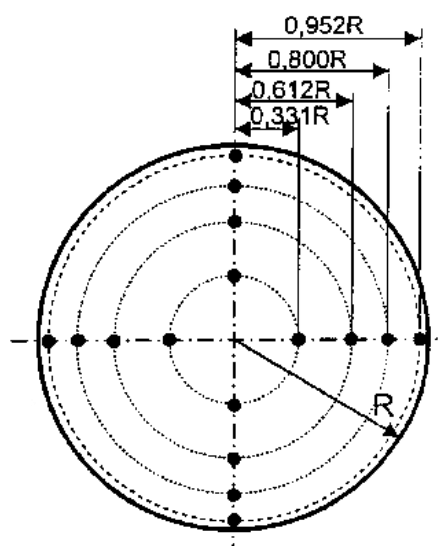
$$\frac{v_{\text{śr}}}{v_{\text{max}}} = 0,7106Re^{0,0135}$$

4. WYZNACZENIE PRĘDKOŚCI ŚREDNIEJ METODĄ LOG – CZEBYSZEWA

W szczególnych punktach pomiarowych można dokonać pomiaru prędkości przepływu powietrza przy pomocy rurki Prandtla zgodnie z normą (PN – ISO 5221 „Rozprowadzanie i rozdział powietrza -- Metody pomiaru przepływu strumienia powietrza w przewodzie”) metodą „Log – Czebyszewa” w celu

określenia średniej prędkości powietrza w kanale. Położenie punktów pomiarowych w przewodzie o przekroju kołowym odpowiada następującym wartościom promienia r/R (Rys. 3) :

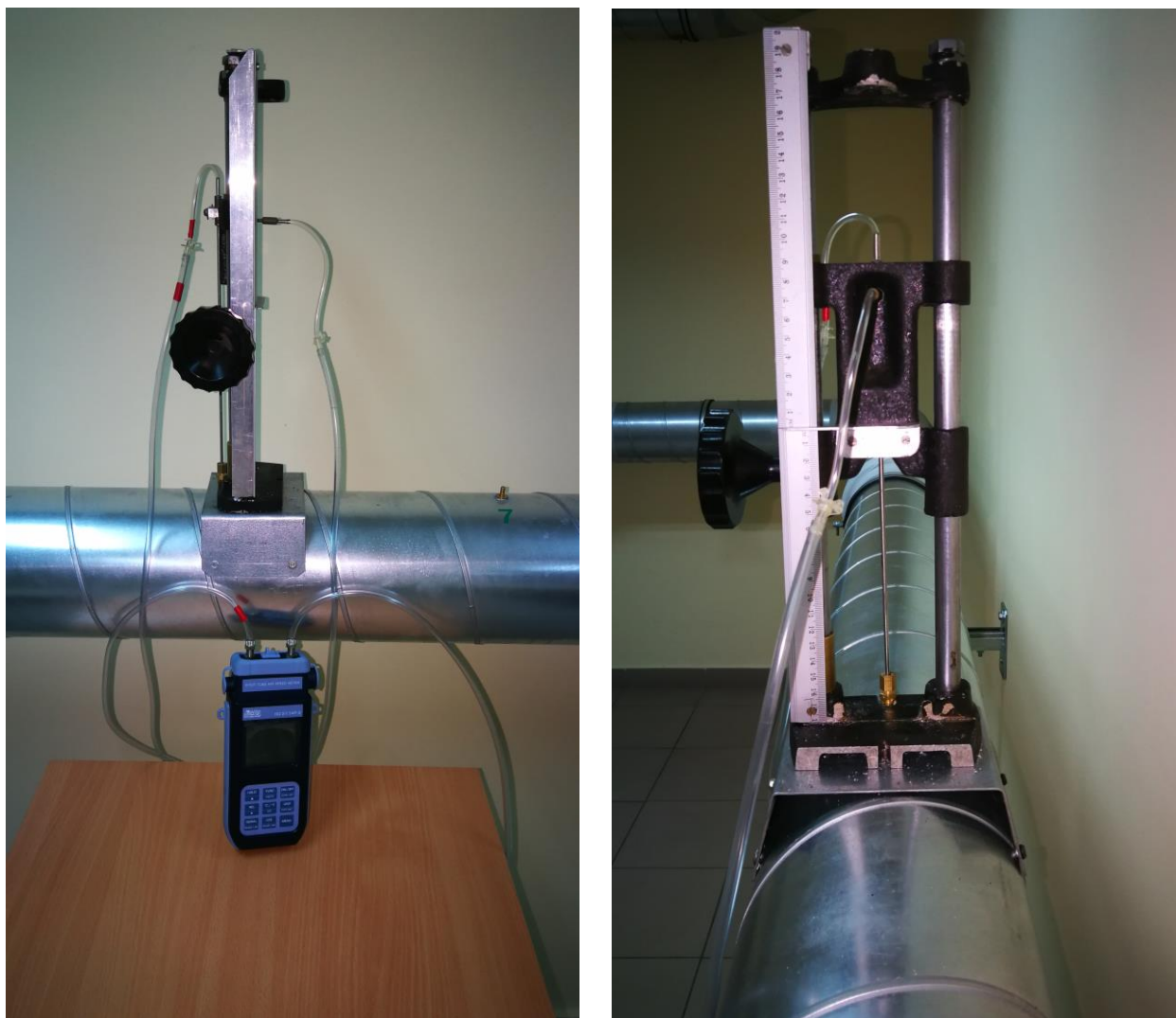
Liczba punktów pomiarowych	r/R
3	0,375
	0,825
	0,936
4	0,331
	0,612
	0,800
	0,952
5	0,287
	0,570
	0,689
	0,847
	0,962



Rys. 3 Metoda Log - Czebyszew

5. STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko pomiarowe przedstawione jest na rysunku 4.



Rys. 4 Stanowisko pomiarowe.

Stanowisko pomiarowe składa się z:

1. - rurociągu
2. - rurki Prandtla
3. - mikromanometru
4. - skali pomiarowej

Rurociągiem przepływa powietrze z regulowanym natężeniem \dot{V} tłoczone przez wentylator. Rurka Prandtla służy do wyznaczenia wartości ciśnienia dynamicznego (różnica ciśnień całkowitego i statycznego). Uchwyt rurki Prandtla przymocowany jest do skali pomiarowej, umożliwiając przesuwanie w pionie oraz pomiar położenia osi rurki.

PRZYRZĄDY POMIAROWE

1. Mikromanometr Przenośny HD 2114P.2 (Rys. 5)

Mikromanometr **HD 2114P.2** to bateryjnie zasilane urządzenia służące do pomiaru ciśnienia różnicowego oraz nad- i podciśnienia. Przyrządy nadają się wyłącznie do pomiaru ciśnienia czystych, nieagresywnych gazów.



Rys. 5 Mikromanometr MHG – schemat

1. Złącze wejściowe termopary K, standardowe gniazdo miniaturowe.
2. Dodatnie wejście (+) czujnika ciśnienia. Szybkozłączka do przewodów 5mm.
3. Złącze wejściowe zewnętrznego zasilacza.
4. Symbol baterii: wyświetla stan rozładowania baterii.
5. Wskaźniki funkcji.
6. Pomocniczy wiersz wyświetlacza.
7. Przycisk HOLD / ▲: - podczas normalnej pracy powoduje zatrzymanie wskazań na wyświetlaczu; wewnątrz menu zwiększa wartość bieżącego parametru.
8. Przycisk FUNC/ENTER: podczas normalnej pracy wyświetla wartość maksymalną (MAX), minimalną (MIN) i średnią (AVG); wewnątrz menu zatwierdza wprowadzone wartości parametrów.
9. Przycisk REL / ▼: uaktywnia pomiar względny (wyświetla różnicę względem wartości, jaka panowała w momencie uaktywnienia funkcji); wewnątrz menu zmniejsza wartość bieżącego parametru.
10. Przycisk SERIAL/ERASE LOG: uruchamia i zatrzymuje transmisję danych za pomocą portu szeregowego portu komunikacyjnego. Wewnątrz menu kasuje z pamięci wszystkie zarejestrowane dane.
11. Przycisk LOG/DUMP-LOG: podczas normalnej pracy rozpoczyna i kończy zapis danych do pamięci. Wewnątrz menu rozpoczyna transmisję danych z pamięci do urządzeń zewnętrznych poprzez port RS232.
12. Przycisk MENU: pozwala na wchodzenie i wychodzenie z menu.
13. Przycisk °C-°F/ESC: umożliwia zmianę jednostek temperatury ze stopni Celsjusza na Fahrenheita i odwrotnie; wewnątrz menu anuluje aktualną operację bez wprowadzania jakichkolwiek zmian.
14. Przycisk UNIT/DUCT CALC: pozwala na wybór jednostek dla głównej zmiennej; użyty razem z przyciskiem FUNC uruchamia procedurę kalkulacji strumienia przepływu objętościowego.
15. Przycisk ON-OFF/AUTO-OFF: włącza i wyłącza zasilanie przyrządu; użyty razem z przyciskiem MENU blokuje automatyczne wyłączanie zasilania.
16. Symbole MAX, MIN i AVG.
17. Główny wiersz wyświetlacza.
18. Wykładnik mnożnika -3, 3 lub 6. Wykładnik, jeśli jest obecny, sygnalizuje, że wyświetlana wartość musi być podzielona przez 1000 (gdy wynosi -3), pomnożona przez 1000 (gdy wynosi 3) albo przez 1000000 (gdy wynosi 6).
19. Wiersz symboli i komentarzy.
20. 8-pinowe złącze MiniDIN interfejsu RS232 oraz USB 2.0.
21. Ujemne wejście (-) czujnika ciśnienia. Szybkozłączka do przewodów 5mm.

Przyrząd HD2114P.2 posiadają wbudowany różnicowy czujnik ciśnienia o zakresie 20 mbar. Z przyrządem może współpracować dowolny rodzaj rurki Pitota lub Prandtla wyposażonej lub nie w termoparę K, pozwalając na pomiar prędkości powietrza i obliczanie strumienia objętościowego. W standardowych warunkach ciśnienia i temperatury przyrząd HD2114P.2 mierzy prędkość do 55 m/s. Pomiar temperatury odbywa się za pomocą zewnętrznej termopary typu K.

Parametrami mierzonymi przez przyrząd są:

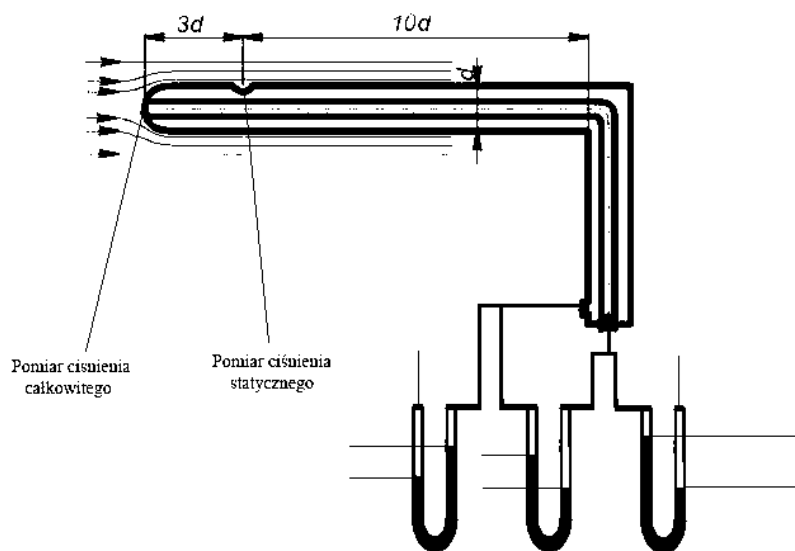
- ciśnienie różnicowe
- prędkość powietrza
- obliczony strumień objętościowy
- temperatura

Aby wybrać jednostkę miary dla mierzonego parametru należy użyć przycisku [UNIT/DUCT CALC]:

- dla ciśnienia: Pa, mbar, mmH2O, psi
- dla prędkości: m/s, km/h, ft/min, mph, knot
- dla strumienia objętości: l/s, m3/h, ft3/min
- dla temperatury: °C, °F

2. Sonda Prandtla

Przyrząd pomiarowy (Rys. 6) służący do wyznaczenia wartości ciśnienia dynamicznego. Składa się z dwóch koncentrycznych rurek. Dokonywany jest pomiar ciśnienia całkowitego i statycznego przepływającego płynu.



Rys. 6 Sonda Prandtla

Prędkość wynika z równania (przy założeniu przepływu płynów doskonałych):

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(p_c - p_s)}{\rho}}$$

gdzie

p_c - ciśnienie całkowite

p_s - ciśnienie statyczne

ρ - gęstość płynu

Sonda Prandtla należy do przyrządów punktowych umożliwiających pomiar w danym punkcie poprzecznego przekroju kanału. Przemieszczając sondę w różne miejsca, można wyznaczyć rozkład prędkości w danym przekroju.

WYKONYWANE POMIARY

Przed uruchomieniem silnika napędzającego wentylator podłączony do przewodu wentylacyjnego należy wykonać następujące pomiary i czynności:

- pomiar temperatury powietrza - t
- pomiar ciśnienia barometrycznego - p_b
- pomiar wilgotności względnej powietrza - ϕ
- pomiary średnic: przewodu wentylacyjnego - D
- wyznaczyć punkty pomiaru w celu wyznaczenia średniej prędkości przepływu
- wyznaczyć punkty pomiaru w celu wyznaczenia rozkładu prędkości (co 10 mm od osi)

Po uruchomieniu silnika napędzającego wentylator ($n = \text{const}$) podłączony do przewodu wentylacyjnego należy wykonać następujące pomiary:

- ciśnienia dynamicznego w wyznaczonych punktach pomiarowych.
- ciśnienia statycznego w rurociągu przed rurką Prandtla (jeden raz w czasie eksperymentu)
- Wyniki pomiarów zapisać do Akusza kalkulacyjnego przygotowanego na wcześniejszych zajęciach.

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Korzystając z przygotowanego Arkusza wykonać następujące obliczenia:

I. Rzeczywiste parametry powietrza

Na podstawie pomiarów wyznaczyć rzeczywistą gęstość powietrza oraz lepkość.

II. Wyznaczenie charakteru przepływu - liczba Re

1 Wyznaczenie średniej prędkości przepływu powietrza - \bar{v} ($v_{\text{śr}}$)

- Prędkość średnią w przekroju pomiarowym wyznaczyć korzystając z metody Log – Czebyszewa.

2. Wyznaczyć liczbę Re. Na jej podstawie określić charakter przepływu - turbulentny czy laminarny.

III. Wyznaczenie rozkładu prędkości $v = v(r)$

1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy wykonać wykres $v = v(r)$ - punkty na wykresie. Proszę nie łączyć w linię.

2. Na tym samym wykresie należy narysować rozkład teoretyczny wyznaczony na podstawie wzoru potęgowego Prandtla. Omówić i wyjaśnić ewentualne różnice.

3. Wyznaczyć stosunek prędkości średniej do prędkości maksymalnej - teoretyczny (na podstawie liczby Reynoldsa) i wynikający z pomiarów (wartość prędkości średniej z metody Log - Czebyszewa i prędkości maksymalnej zmierzonej w osi rury). Wyjaśnić ew. różnice.

SPRAWOZDANIE POWINNO ZAWIERAĆ:

- schemat stanowiska pomiarowego,
- wyniki pomiarów w tabeli,
- obliczenia,
- wykres rozkładu miejscowych prędkości na podstawie pomiarów rurką Prandtla oraz krzywej teoretycznej na jednym wykresie,
- wnioski.