

## Ćwiczenie nr 1

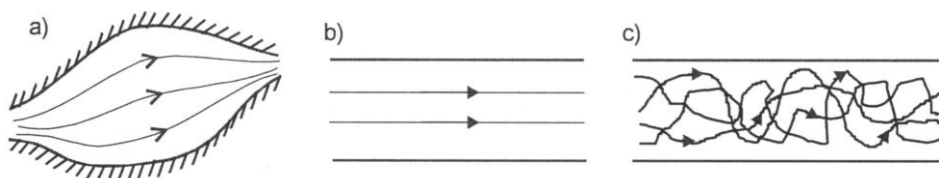
### Wyznaczanie liczby Reynoldsa

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie liczby Reynoldsa w przewodach o przekroju kołowym, oraz określenie rodzaju ruchu cieczy przy pomocy dawkowania substancji fluoresceiny.

#### 1. Wprowadzenie

##### 1.1 Część teoretyczna

W zagadnieniach z hydromechaniki i hydrauliki związanych z przepływem cieczy lepkiej, niezmiernie istotnym elementem jest określenie rodzaju ruchu, w jakim znajduje się ciecz. Jedną z podstawowych klasyfikacji jest podział na ruch **laminarny** i **burzliwy (turbulentny)**.



*Rys.1 Układ trajektorii ruchu cząstek cieczy w ruchu: a) laminarnym, b) laminarnym w przewodzie o ściankach równoległych, c) turbulentnym w przewodzie o ściankach równoległych*

Ruch uwarstwiony (laminarny) cieczy w przewodach to ruch, w którym cząstki poruszają się w warstwach równoległe do siebie (warstwy płynu nie mieszają się między sobą) lub burzliwy (turbulentny), w którym tory ruchu poszczególnych cząstek wzajemnie się przecinają. Wielkością charakterystyczną służącą do rozdzielenia ruchu jest liczba Reynoldsa, wyznaczana z zależności:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad [1.1]$$

gdzie:

- Re** – liczba Reynoldsa; [-],
- v** - średnia prędkość przepływu; [m/s],
- d** - średnica wewnętrzna przewodu; [m],
- ν** - kinematyczny współczynnik lepkości; [m<sup>2</sup>/s].

Średnia prędkość przepływu **v** wyznaczana jest z równania ciągłości:

$$Q = F \cdot v \quad [1.2]$$

gdzie:

- Q** - natężenie przepływu; [m<sup>3</sup>/s],
- F** - pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodu; [m<sup>2</sup>].

W przypadku rurociągów przepływ odbywa się w całym przekroju poprzecznym przewodu, stąd dla rur o przekroju kołowym prędkość przepływu wyznaczana jest ze wzoru:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad [1.3]$$

Wartość kinematycznego współczynnika lepkości jest charakterystyczna dla rodzaju cieczy i zmienia się wraz ze zmianą temperatury i ciśnienia. W przypadku wody zmiana ciśnienia w zakresie do 0,2 MPa wywołuje niewielkie zmiany współczynnika (dziesiąte części procenta). Można zatem przyjąć, że w zakresie ciśnień panujących w przewodzie podczas ćwiczenia wartość współczynnika nie zmienia się wraz za zmianami ciśnienia.

Wartość kinematycznego współczynnika lepkości  $v$  jest stabilizowana. Można ją również określić wykorzystując dynamiczny współczynnik lepkości  $\mu$  wykorzystując zależność:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad [1.4]$$

gdzie:

$\mu$  - dynamiczny współczynnik lepkości; [kg/s·m],  
 $\rho$  - gęstość cieczy; [kg/m<sup>3</sup>].

Dla wody dynamiczny współczynnik lepkości  $\mu$  zmienia się wraz z temperaturą wg zależności:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + 0,0337t + 0,000221t^2} \quad [1.5]$$

Dla powietrza:

$$\mu = \mu_0 \frac{385}{(T + 112)} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad [1.6]$$

gdzie:

$t$  - temperatura; [°C],

$T$  - temperatura bezwzględna; [K],

$\mu_0$  - dynamiczny współczynnik lepkości w temperaturze  $t=0^\circ$ , który wynosi

odpowiednio:

dla wody:  $\mu_0 = 0,00179$  [N s/m<sup>2</sup>]

dla powietrza:  $\mu_0 = 0,0000168$  [N s/m<sup>2</sup>]

Lepkość wody maleje wraz ze wzrostem temperatury, natomiast lepkość powietrza wzrasta.

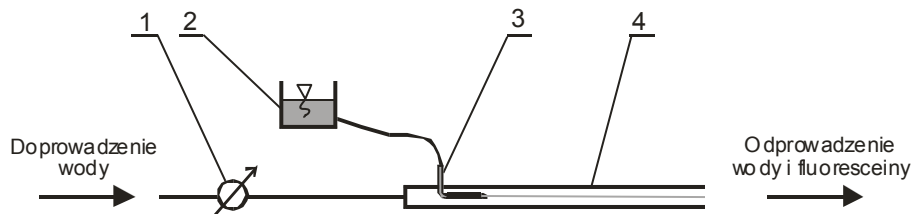
Z wartości liczby Reynoldsa wynika podział ruchu:

- laminarny dla  $Re \leq 2300$  (wg PN-76/M-34034),
- przejściowy dla  $2300 < Re \leq 50\,000$ ,
- burzliwy dla  $Re > 50\,000$ .

Ruch przejściowy oznacza, że jest on laminarny lub burzliwy.

## 2. Opis stanowiska badawczego

### 2.1 Zestaw do badań



Oznaczenia: 1 – miernik natężenia przepływu, 2 – zbiornik z fluoresceiną, 3 – doprowadzenie fluoresceiny do przewodu, 4 – przezroczysty przewód

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi dodatkowo:

- zbiornik główny zaopatrzonego w przewód doprowadzający wodę do zbiornika, krawędź przelewową,
- dwóch przezroczystych przewodów o przekroju kołowym o różnych średnicach, zakończonych zaworami umożliwiającymi regulację natężenia przepływu,
- zbiornika z barwnikiem z przewodem doprowadzającym barwnik do przewodów oraz zaworem regulacyjnym,
- urządzeń pomocniczych: cylindra miarowego, stopera, termometru.

## 3. Część doświadczalna

### 3.1 Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie polega na obserwacji ruchu warstewki fluoresceiny (zielonej) wprowadzonej do wody w przezroczystym przewodzie. W ruchu laminarnym można zaobserwować strugę fluoresceiny przemieszczającą się wzdłuż przewodu, w ruchu turbulentnym następuje wymieszanie fluoresceiny z wodą i zabarwienie wody w całym przekroju przewodu. Na podstawie obserwacji należy zakwalifikować ruch cieczy jako laminarny lub turbulentny oraz określić liczbę Reynoldsa i porównać obliczenia z obserwacjami.

### 3.2 Czynności do wykonania

1. Otworzyć zawór doprowadzający wodę do zbiornika głównego do momentu, gdy woda będzie przelewać się przez krawędź przelewową w zbiorniku. Przelew powinien pracować w ciągu całego czasu wykonywania ćwiczenia. W tym celu należy kontrolować krawędź przelewową i w razie potrzeby zmniejszyć lub zwiększyć przepływ, w przeciwnym razie przepływ nie będzie ustalony.

2. Poprzez otwarcie zaworu regulacyjnego na jednym z przewodów ustawić małe natężenie przepływu w przewodzie.
3. Otworzyć zawór znajdujący się na przewodzie doprowadzającym barwnik, obserwować ciekłą strugę fluoresceiny świadcząca o przepływie laminarnym.
4. Następnie stopniowo zwiększać prędkość przepływu w przewodzie regulując zaworem na końcu przewodu, zaobserwować moment przejścia ruchu laminarnego w ruch turbulentny.
5. W momencie zaobserwowania zmiany charakteru ruchu zakręcić dopływ barwnika, dokonać pomiaru natężenia przepływu metodą objętościową (dokonać pomiaru czasu przepływu określonej ilości wody pobranej do cylindra miarowego), zanotować wnioski.
6. Dokonać pomiaru temperatury cieczy.
7. Zakręcić zawór na końcu przewodu.
8. Czynności powtórzyć dla drugiego przewodu.

### 3.3 Obliczenia

Zmierzyć wewnętrzną średnicę przewodu  $d_1$  i  $d_2$ . Dla zmierzonej temperatury wody  $t$  na podstawie równań (1.4) i (1.5) określić kinematyczny współczynnik lepkości  $\nu$ . Odczytać natężenie przepływu  $Q$  i policzyć średnią prędkość przepływu  $v$  wg wzoru (1.3). Obliczyć liczbę Reynoldsa wg wzoru (1.1). Na podstawie obserwacji ruchu cieczy w przewodzie określić rodzaj ruchu.

### 4. Zawartość sprawozdania

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Opis doświadczenia.
3. Schemat stanowiska pomiarowego.
4. Wyniki pomiarów i obliczeń.
5. Przykład obliczeniowy z przeliczeniem jednostek.
6. Zestawienie tabelaryczne wyników w tabeli wg schematu

Lp.	d [m]	F [m <sup>2</sup> ]	w [m/s]	t [°C]	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Re [-]	Uwagi/Obszerwacje
1	2			3		4	5	7	8
1.									
2.									
...									

7. Wnioski dotyczące uzyskanych wartości liczb Reynoldsa, poprawności wykonania ćwiczenia, czynników wpływających na wynik ćwiczenia, spostrzeżeń własnych studenta.