

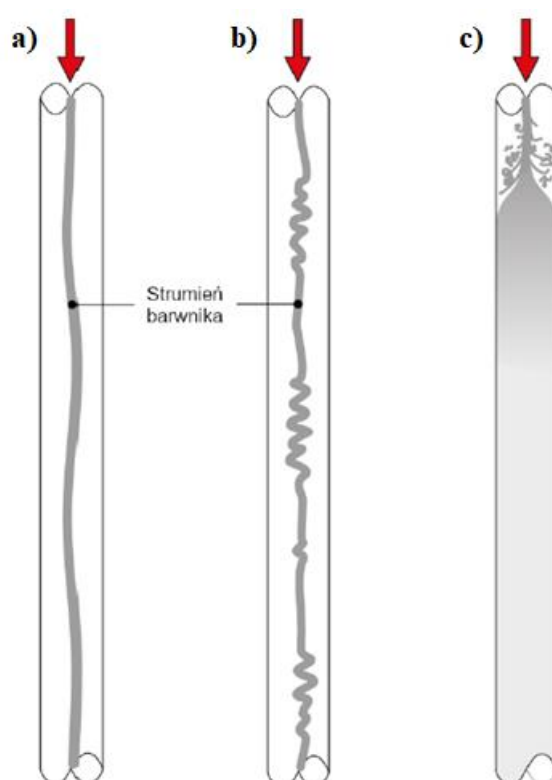
Ćwiczenie nr 2:

Wyznaczanie liczby Reynoldsa

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie liczby Reynoldsa w przewodach o przekroju kołowym, oraz określenie rodzaju ruchu cieczy przy pomiarze dawki substancji barwiącej.

1. Wprowadzenie

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. Obserwacje ruchu warstwy barwnika wewnątrz przewodu

- Przepływ laminarny - niewielkie ugięcia strumienia barwnika, ale brak zakłóceń,
- Przepływ przejściowy – chwilowe zakłócenia i okresowe turbulencje,
- Przepływ turbulentny – barwnik gwałtownie miesza się i staje się rozpuszczony.

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.



Rys. 2. Tory ruchu cząsteczek w ruchu a) laminarnym, b) burzliwym

Wielkością charakterystyczną służącą do rozdzielenia ruchu jest liczba Reynoldsa, wyznaczana z zależności:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} [-] \quad (1)$$

gdzie:

Re – liczba Reynoldsa; [-],

v - średnia prędkość przepływu; [m/s],

d - średnica wewnętrzna przewodu; [m],

ν - kinematyczny współczynnik lepkości; [m²/s].

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

$$Q = F \cdot v \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

gdzie:

Q - natężenie przepływu; [m³/s],

F - pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodu; [m²].

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

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

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 *ν* jest stabilizowana (załącznik nr 1). Można ją również określić wykorzystując dynamiczny współczynnik lepkości *μ* wykorzystując zależność:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (4)$$

gdzie:

μ - dynamiczny współczynnik lepkości; [kg/s·m],

ρ - gęstość cieczy; [kg/m³].

Dla wody dynamiczny współczynnik lepkości μ zmienia się wraz z temperaturą wg zależności:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + 0,0337t + 0,000221t^2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}} \right] \quad (5)$$

Dla powietrza:

$$\mu = \mu_0 \frac{385}{(T + 112)} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}} \right] \quad (6)$$

gdzie:

t - temperatura; [°C],

T - temperatura bezwzględna; [K],

μ_0 - dynamiczny współczynnik lepkości w temperaturze $t = 0^\circ\text{C}$, (dla wody: $\mu_0 = 0,00179$ [N s/m²]; dla powietrza: $\mu_0 = 0,0000168$ [N s/m²])

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

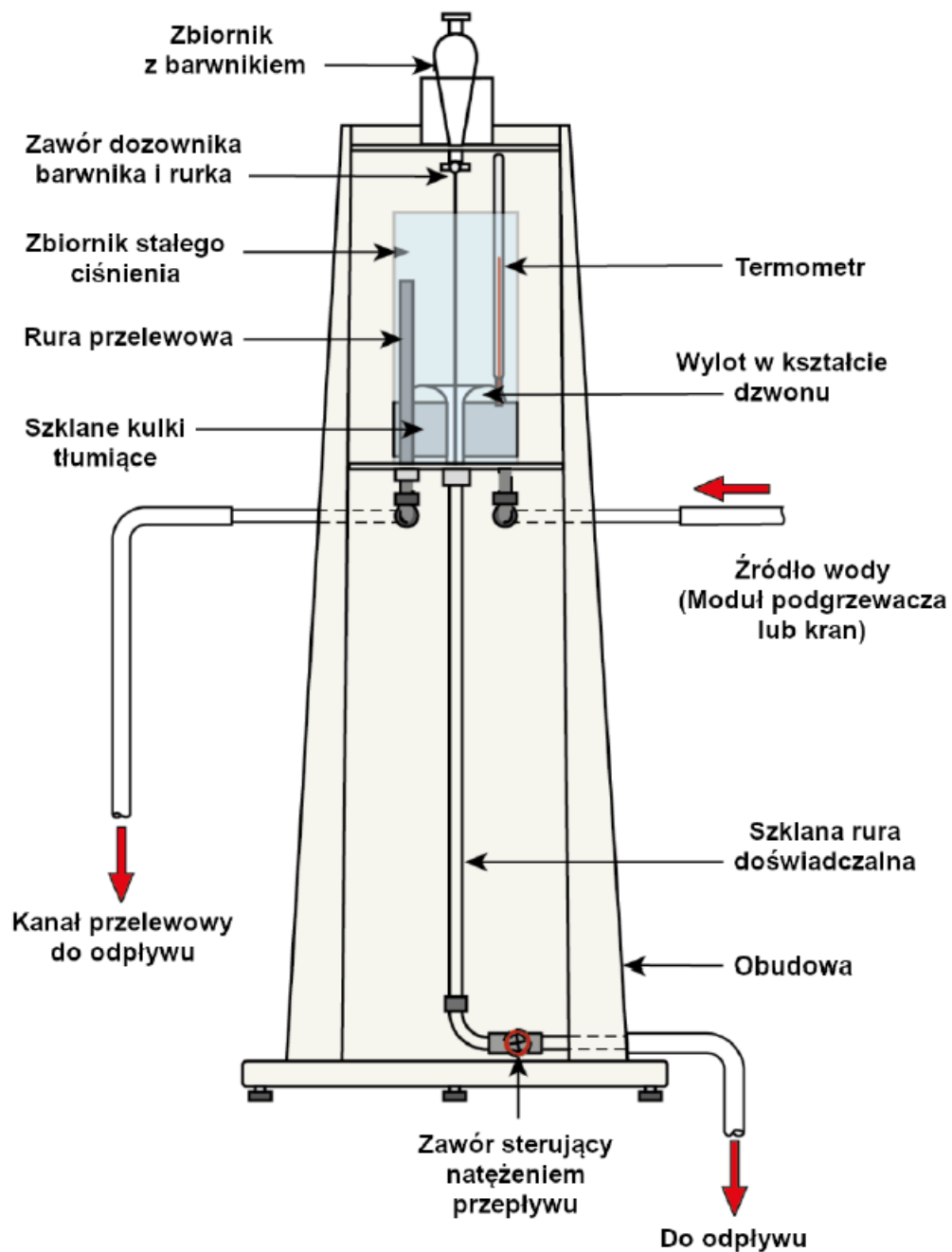
Z wartości liczby Reynoldsa wynika podział ruchu:

- 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

Schemat stanowiska przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska do badania przepływu laminarnego i turbulentnego

3. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie polega na obserwacji ruchu warstewki barwnika (atrament lub fluoresceina) wprowadzonej do wody w przezroczystym przewodzie. W ruchu laminarnym można zaobserwować strugę barwnika przemieszczającą się wzdłuż przewodu, w ruchu turbulentnym następuje wymieszanie barwnika 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.

1) Podłączyć zestaw węży do stanowiska badawczego (dopływ wody, odpływ wody, odpływ wody z przelewu). Określić średnicę szklanej rury (d) oraz obliczyć pole przekroju poprzecznego (F).

2) Stopniowo odkręcić zawór na dopływie wody oraz równocześnie odkręcić zawór na odpływie wody. Wyregulować dopływ wody do momentu, kiedy poziom wody w zbiorniku znajduje się tuż powyżej rury przelewowej i utrzymywany jest niewielki przepływ przez nią w dół do kanału odpływowego.

3) Napełnić zbiornik z barwnikiem oraz zamontować go na stanowisku badawczym. Następnie otworzyć i wyregulować zawór dozownika barwnika, aby otrzymać cienki strumień barwnika przepływający w dół szklanej rury.

4) Odnotować temperaturę wody (T) odczytaną z termometru, określić gęstość wody (ρ_{H_2O}) oraz dynamiczny współczynnik lepkości (μ) z tablic.

5) Przeprowadzić pierwszą serię pomiarową dla niewielkie przepływu wody oraz barwnika. Zmierzyć objętość wody (V_{obj}) oraz czas (t) dla wody wyływającej z rury odpływowej. Zanotować obserwację ruchu laminarnego. Wyznaczyć wartość przepływu (Q), prędkości przepływu (v) oraz liczbę Reynoldsa (Re).

6) Wykonać serię pomiarów, powoli zwiększając natężenie przepływu otwierając zawór odpływowy, aż do zauważenia zakłóceń w strumieniu barwnika. Można to uznać za punkt początkowy przejścia w przepływ turbulentny. Zanotować obserwacje ruchu przejściowego. W miarę potrzeb zwiększ dopływ wody, aby utrzymać stałą wysokość ciśnienia w zbiorniku.

7) Wykonywać serię pomiarów, jednocześnie dalej zwiększając natężenie przepływu, aż do momentu, kiedy zakłócenia wzrosną tak, że strumień barwnika ulegnie gwałtownemu rozproszeniu. Tuż powyżej punktu, w którym strumień barwnika ulegnie całkowitemu rozproszeniu, będą zauważalne niewielkie wiry. Można to uznać za początek przepływu w pełni turbulentnego. Zanotować obserwację ruchu turbulentnego.

6) Następnie zmniejszać powoli natężenie przepływu, aż strumień barwnika powróci do postaci niezakłóconego pasma, reprezentującego przepływ laminarny. Przeprowadzić serię pomiarów i zanotować obserwację.

7) Wszystkie wartości zmierzone wprowadzić do tabeli wyników (Załącznik 1).

4. Sprawozdanie

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, należy wykonać sprawozdanie wg. wzoru poniżej:

- Przebieg ćwiczenia (krótki, wypunktowany)
- Opis badanych wielkości (zastosowane wzory + objaśnienia)
- Przykład obliczeń (dla każdej z badanych wielkości)
- Wyniki (uzupełniona tabela wyników)
- Wnioski

Załącznik 2. Dynamiczny współczynnik lepkości wody w zależności od temperatury.

Temperatura	Dynamiczny współczynnik lepkości - μ	Temperatura	Dynamiczny współczynnik lepkości - μ
[°C]	[kg/m·s]	[°C]	[kg/m·s]
0	0,001792	20	0,001005
1	0,001731	21	0,000981
2	0,001673	22	0,000958
3	0,001619	23	0,000936
4	0,001567	24	0,000914
5	0,001519	25	0,000894
6	0,001473	26	0,000874
7	0,001428	27	0,000855
8	0,001386	28	0,000836
9	0,001346	29	0,000818
10	0,001308	30	0,000801
11	0,001271	35	0,000723
12	0,001236	40	0,000656
13	0,001203	45	0,000599
14	0,001171	50	0,000549
15	0,001140	55	0,000507
16	0,001111	60	0,000469
17	0,001083	70	0,000406
18	0,001056	80	0,000357
19	0,001030	90	0,000317
20	0,001005	100	0,000284

Załącznik 3. Gęstość [kg/m³] wody w zależności od temperatury [°C].

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	999,840	999,846	999,853	999,859	999,865	999,871	999,877	999,883	999,888	999,893
1	999,899	999,903	999,908	999,913	999,917	999,921	999,925	999,929	999,933	999,937
2	999,940	999,943	999,946	999,949	999,952	999,954	999,956	999,959	999,961	999,963
3	999,964	999,966	999,967	999,968	999,969	999,970	999,971	999,971	999,972	999,972
4	999,972	999,972	999,972	999,971	999,971	999,970	999,969	999,968	999,967	999,965
5	999,964	999,962	999,960	999,958	999,956	999,954	999,951	999,949	999,946	999,943
6	999,940	999,937	999,934	999,930	999,926	999,923	999,919	999,915	999,910	999,906
7	999,901	999,897	999,892	999,887	999,882	999,876	999,871	999,865	999,860	999,854
8	999,848	999,842	999,836	999,829	999,823	999,816	999,809	999,802	999,795	999,788
9	999,780	999,773	999,765	999,757	999,750	999,741	999,733	999,725	999,716	999,708
10	999,699	999,690	999,681	999,672	999,663	999,653	999,644	999,634	999,624	999,614
11	999,604	999,594	999,584	999,573	999,563	999,552	999,541	999,530	999,519	999,508
12	999,497	999,485	999,474	999,462	999,450	999,438	999,426	999,414	999,401	999,389
13	999,376	999,364	999,351	999,338	999,325	999,311	999,298	999,285	999,271	999,257
14	999,243	999,230	999,215	999,201	999,187	999,173	999,158	999,143	999,129	999,114
15	999,099	999,083	999,068	999,053	999,037	999,022	999,006	998,990	998,974	998,958
16	998,942	998,926	998,909	998,893	998,876	998,859	998,843	998,826	998,808	998,791
17	998,774	998,757	998,739	998,721	998,704	998,686	998,668	998,650	998,631	998,613
18	998,595	998,576	998,557	998,539	998,520	998,501	998,483	998,463	998,443	998,424
19	998,404	998,385	998,365	998,345	998,325	998,305	998,285	998,265	998,244	998,224
20	998,203	998,183	998,162	998,141	998,120	998,099	998,078	998,056	998,035	998,013
21	997,992	997,970	997,948	997,926	997,904	997,882	997,860	997,838	997,815	997,793
22	997,770	997,747	997,725	997,702	997,679	997,655	997,632	997,609	997,585	997,562
23	997,538	997,514	997,491	997,467	997,443	997,419	997,394	997,370	997,346	997,321
24	997,296	997,272	997,247	997,222	997,197	997,172	997,147	997,121	997,096	997,071
25	997,045	997,019	996,994	996,968	996,942	996,916	996,890	996,863	996,837	996,811
26	996,784	996,757	996,731	996,704	996,677	996,650	996,623	996,596	996,569	996,541
27	996,514	996,486	996,459	996,431	996,403	996,375	996,347	996,319	996,291	996,263
28	996,234	996,206	996,177	996,149	996,120	996,091	996,062	996,033	996,004	995,975
29	995,946	995,916	995,887	995,857	995,828	995,798	995,768	995,738	995,708	995,678
30	995,648	995,618	995,588	995,557	995,527	995,496	995,466	995,435	995,404	995,373
31	995,342	995,311	995,280	995,249	995,217	995,186	995,154	995,123	995,091	995,059
32	995,027	994,995	994,963	994,931	994,899	994,867	994,834	994,802	994,769	994,737
33	994,704	994,671	994,638	994,606	994,573	994,539	994,506	994,473	994,440	994,406
34	994,373	994,339	994,305	994,272	994,238	994,204	994,170	994,136	994,102	994,067
35	994,033	993,999	993,964	993,930	993,895	993,860	993,825	993,790	993,756	993,720
36	993,685	993,650	993,615	993,580	993,544	993,509	993,473	993,437	993,402	993,366
37	993,330	993,294	993,258	993,222	993,185	993,149	993,113	993,076	993,040	993,003
38	992,967	992,930	992,893	992,856	992,819	992,782	992,745	992,708	992,671	992,633
39	992,596	992,558	992,521	992,483	992,445	992,408	992,370	992,332	992,294	992,256
40	992,218									