

## Ćwiczenie nr 8

### Wyznaczanie dynamicznego współczynnika lepkości za pomocą wiskozymetru Höpplera.

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie dynamicznego współczynnika lepkości w funkcji temperatury kilku wybranych cieczy, za pomocą wiskozymetru Höpplera.

#### 1. Wprowadzenie

##### 1.1. Część teoretyczna

Jednym z przejawów lepkości płynu (a w tym konkretnym przypadku cieczy) jest powstawanie siły oporu, działającej na ciało poruszające się w cieczy. Określenie siły oporu jest bardzo przydatne w wielu zagadnieniach praktycznych, także przy pomiarze lepkości, jednakże jest w ogólnym przypadku trudne. Wobec powyższego szczególnie pożyteczny okazuje się wzór Stokes'a na siłę oporu  $F_0$ :

$$F_0 = 3 \pi \cdot \mu \cdot u \cdot d \quad [8.1]$$

gdzie:

- $\mu$  - dynamiczny współczynnik lepkości w [Pa·s],
- $u$  - prędkość opadania kulki w [m/s],
- $d$  - średnica kulki w [m],
- $\nu$  - kinematyczny współczynnik lepkości w [m<sup>2</sup>/s].

Przy czym wzór ten ważny jest dla liczby Reynoldsa:

$$Re = \frac{ud}{\nu} < 1 \quad [8.2]$$

Przy zachowaniu warunków ustalonego opadania kulki II prawo Newtona przyjmuje postać:

$$F_0 = F_g - F_w \quad [8.3]$$

gdzie dla kulki o średnicy  $d$ , wykonanej z materiału o gęstości  $\rho$  i opadającej z prędkością  $u$  w cieczy o gęstości  $\rho_c$  siła grawitacji wyraża się zależnością:

$$F_g = \frac{1}{6} \pi \cdot d^3 \cdot \rho \cdot g \quad [8.4]$$

natomiast siła wyporu:

$$F_w = \frac{1}{6} \pi \cdot d^3 \cdot \rho_c \cdot g \quad [8.5]$$

Wstawiając zależności [8.5] i [8.4] do wzoru [8.3] otrzymujemy:

$$18\mu \cdot u = d^2 \cdot g(\rho - \rho_c) \quad [8.6]$$

Jeżeli zmierzmy prędkość opadania kulki (na przykład przez pomiar czasu za pomocą stopera, w którym to czasie kulka przebędzie określony dystans), to znając wielkości  $d$ ,  $\rho$ ,  $\rho_c$  możemy ze wzoru [8.6] wyliczyć dynamiczny współczynnik lepkości cieczy:

$$\mu = d^2(\rho - \rho_c) \cdot g / 18 \cdot u \quad [8.7]$$

Na powyżej przedstawionej zasadzie oparte jest urządzenie do pomiaru lepkości, zwane wiskozymetrem Höpplera. Zasadnicza różnica polega na tym, że zależność [8.7] odnosi się do nieograniczonego obszaru cieczy. Wymagałoby to obserwacji opadania kulki przynajmniej w bardzo dużym naczyniu. Ponieważ byłoby to bardzo niewygodne, dlatego w praktyce badaną ciecz umieszcza się w rurce o średnicy niewiele większej niż średnica  $d$  kulki, co tylko w małym stopniu wpływa na postać wzoru określającego  $u$  (porównaj wzory [8.6] i [8.7]).

Współczynnik lepkości zależy od rodzaju płynu, oraz od temperatury. Dla cieczy maleje on wraz ze wzrostem temperatury, a dla gazów rośnie. Dla cieczy zależność  $\mu$  od temperatury ujmuje wzór doświadczalny:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + at + bt^2} \quad [8.8]$$

gdzie:

$\mu_0$  - współczynnik lepkości cieczy w  $t = 0^\circ\text{C}$  i dla wody wynosi  $1,7921 \cdot 10^{-3}$  [Pa·s],

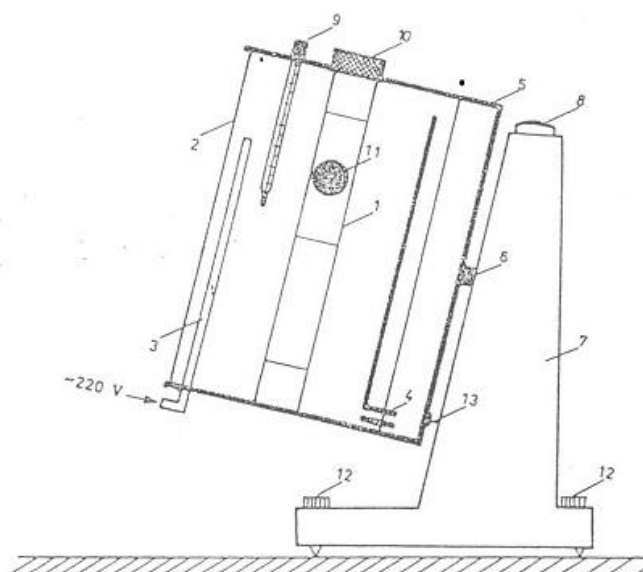
$a, b$  - współczynniki zależne od rodzaju cieczy i dla wody wynoszą one  $a = 0,0337$ ,

$b = 0,000221$

$t$  - temperatura w  $^\circ\text{C}$ .

## 2. Opis stanowiska badawczego.

Schemat wiskozymetru przedstawiono na poniższym rysunku:



Rys. 1. Wiskozymetr

Zasadniczą jego częścią jest szklana rurka (1) odchylona od pionu o kąt  $10^0$ . Rurka umieszczona jest w naczyniu cylindrycznym (2), które pełni rolę pojemnika na ciekły nośnik ciepła, umożliwiającego utrzymanie i pomiar stałej temperatury badanej cieczy. Nośnik ciepła może być podgrzewany grzałką (3) lub dopływać do wiskozymetru z termostatu za pomocą króćców (4). Całość ujęta w ramkę (5), umocowana jest obrotowo na osi (6) w żeliwnym statywie (7). Statyw ten wyposażony jest w libellę pudełkowa (8). Do kontroli temperatury służy termometr (9), a dostęp do rurki pomiarowej zapewnia korek (10). Do urządzenia załączony jest zestaw 6 kulek pomiarowych (11).

### 3. Część doświadczalna

#### 3.1 Przebieg pomiaru lepkości za pomocą wiskozymetru Höpplera:

1. Zdjąć korek (10), napełnić rurkę (1) badaną cieczą, delikatnie wprowadzić do rurki kulkę (11) i założyć korek (10).

**Uwaga:**

- jeżeli doszło do zapowietrzenia układu należy banieczki powietrza usunąć,
- kulkę z zestawu należy tak dobrać, aby czas jej opadania w rurce był nie krótszy niż 25 sekund, a zarazem nie dłuższy niż 300 sekund. Niekiedy wymaga to wykonania kilku prób.

2. Ustawić przyrząd na stole, napełnić płaszcz wodny i podłączyć płaszcz do termostatu (ewentualnie włączyć grzałkę) celem ogrzania badanej cieczy do zadanej temperatury.

**Uwaga:**

- jeżeli nośnikiem ciepła jest płaszcz z wody destylowanej, to możliwe do uzyskania temperatury pomiarowe leżą w zakresie od  $+1^0\text{C}$  do  $+95^0\text{C}$ . Dla innych zakresów temperatur należy wykorzystywać odpowiednie nośniki ciepła, np. metanol od  $-60^0\text{C}$  do  $0^0\text{C}$ , gliceryna od  $+60^0\text{C}$  do  $+150^0\text{C}$ , olej silikonowy od  $+20^0\text{C}$  do  $+300^0\text{C}$ .
- przy wyborze nośnika ciepła należy każdorazowo uwzględnić instrukcje fabryczne dla używanego termostatu.

3. Za pomocą śrub regulacyjnych (12) sprowadzić bańkę libelli (8) do punktu centralnego.
4. Po uzyskaniu żądanej temperatury pomiaru zwolnić zaczep (13) i obrócić ruchomą część przyrządu o  $180^0$  na osi (6) i poczekać aż kulka opadnie na dół. Następnie obrócić naczynie do położenia wyjściowego i zamknąć zatrzask. W czasie następującego po tym opadania kulki należy wykonać pomiar.
5. Obliczyć dynamiczny współczynnik lepkości cieczy  $\mu$ , posługując się wzorem:

$$\mu = 0,102 \cdot t (\gamma_k - \gamma_c) K \cdot 10^{-5} \text{ [Pa}\cdot\text{s]} \quad [8.9]$$

gdzie:

- 0,102** - przelicznik o wymiarze liniowym w [m],
- t** - czas opadania kulki w [s],
- $\gamma_k$**  - ciężar właściwy kulki w  $[\text{N}/\text{m}^3]$ ,
- $\gamma_c$**  - ciężar właściwy badanej cieczy w  $[\text{N}/\text{m}^3]$ ,
- K** - bezwymiarowa stała kulki.

**Uwaga:** stałą K oraz wartość  $\gamma_k$  odczytujemy dla wybranej kulki z fabrycznej metryczki, dołączonej do urządzenia.

#### 3.2 Sposób wykonania ćwiczenia:

1. Przygotować stanowisko pomiarowe zgodnie z powyższym opisem. Rurkę pomiarową należy napełnić cieczą wskazaną przez prowadzącego zajęcia.

2. Wykonać pomiary lepkości badanej cieczy dla 6 różnych temperatur  $T$ , zaczynając od temperatury  $15^{\circ}\text{C}$  (bądź  $20^{\circ}\text{C}$ ) stopniowo zwiększając ją co  $5^{\circ}\text{C}$ , aż do temperatury końcowej  $40^{\circ}\text{C}$  (bądź  $45^{\circ}\text{C}$ ). Po osiągnięciu żądanej temperatury 2 razy przepuścić kulkę bez pomiaru temperatury, a następnie trzykrotnie zmierzyć czas opadania kulki, przyjmując do obliczeń wartość średnią.
3. Analogicznie jak w punkcie 4.2. wykonać pomiary dla innej cieczy wybranej przez prowadzącego zajęcia.
4. Obliczyć ze wzoru [8.9] wartości współczynnika  $\mu$  dla poszczególnych temperatur  $T$  dla obu badanych cieczy, a wyniki pomiarów i obliczeń ująć w poniższej tabeli.

Ciecz	Temperat.	$\gamma_k$	$\gamma_c$	K	$t_{sr}$	$\mu$	$\mu_{lit}$
	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	[ $\text{N}/\text{m}^3$ ]	[ $\text{N}/\text{m}^3$ ]	[-]	[s]	[ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	[ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]

5. Otrzymane 6 punktów pomiarowych nanieść na wykres w układzie współrzędnych  $\mu = f(T)$ .
6. Wyznaczyć współczynniki  $a$ ,  $b$  z równania [8.8], o ile dana jest wartość  $\mu_0$  dla danej cieczy.

#### 4. Zawartość sprawozdania.

1. Opis metody wyznaczania współczynnika lepkości,
2. Wyniki pomiarów i obliczeń,
3. Wykresy zawierające krzywą  $\mu(T)$  oraz punkty pomiarowe,
4. Wyniki obliczeń współczynników  $a$ ,  $b$  dla wody i dla drugiej cieczy,
5. Dyskusję rezultatów.