



## Raport

<b>ĆWICZENIE 8</b>	<b>WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY NA PODSTAWIE PRAWA STOKESA</b>
------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

<b>Imię i Nazwisko, Nr indeksu, Wydział</b>	
<b>Termin zajęć: dzień tygodnia, godzina</b>	
<b>Data oddania sprawozdania</b>	
<b>Ocena końcowa</b>	

**Data i podpis prowadzącego kurs .....**

**Adnotacje dotyczące wymaganych poprawek oraz daty otrzymania poprawionego  
sprawozdania**

## 1. Wstęp

Krótki opis zjawisk fizycznych, których dotyczy wykonywane ćwiczenie, uwzględniający podstawowe wzory i definicje. Cel wykonywanego ćwiczenia.

## 2. Wyniki pomiarów i ich opracowanie

### I. Pomiar współczynnika lepkości cieczy za pomocą szklanego naczynia cylindrycznego

1. Wyniki pomiaru odległości między pierścieniami ( $h$ ) oraz gęstości badanej cieczy ( $\rho_c$ ) i ich niepewności wpisz do tabeli 1. Niepewność pomiaru odległości  $u(h)$  oraz gęstości badanej cieczy  $u(\rho_c)$  określ na podstawie dokładności pomiaru.

Uwaga: W przypadku pojedynczego pomiaru wielkości  $x$  niepewność pomiaru  $u(x)$  wynika z dokładności przyrządu ( $\Delta x$ ) i wyraża się zależnością:

$$u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$$

2. Wyniki pomiaru masy  $m$  i jej niepewność  $u(m)$  oraz średnicy kulki  $d$  wpisz do tabeli 1. Oblicz wartość średnią średnicy  $\bar{d}$  i jej niepewność  $u(d)$  oraz gęstość kulek  $\rho_k$  i jej niepewność  $u(\rho_k)$  korzystając z poniższych wzorów. Wyniki wpisz do tabeli 1.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n d_i / n$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$$

$$u(d) = \sqrt{(S_{\bar{d}})^2 + \frac{(\Delta d)^2}{3}}$$

Przykładowe obliczenia:  
Kulka 1

$$\bar{d}_1 =$$

$$S_{\bar{d}_1} =$$

$$u(d_1) =$$

Gęstość kulki

$$\rho_k = \frac{6m}{\pi d^3}$$

$$u_c(\rho_k) = \sqrt{\left|\frac{\partial \rho_k}{\partial m}\right|^2 \cdot u(m)^2 + \left|\frac{\partial \rho_k}{\partial d}\right|^2 \cdot u(d)^2} = \sqrt{\left|\frac{6}{\pi d^3}\right|^2 \cdot u(m)^2 + \left|\frac{18m}{\pi d^4}\right|^2 \cdot u(d)^2}$$

Przykładowe obliczenia:

Kulka 1

$$\rho_{k1} =$$

$$u_c(\rho_k) =$$

3. Wyniki pomiaru czasu spadania kulek ( $t$ ) wpisz do tabeli 1. Oblicz wartość średnią czasu  $\bar{t}$  oraz jego niepewność  $u(t)$  korzystając z podanych wzorów. Wyniki wpisz do tabeli 1.

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_i / n$$

$$S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

$$u(t) = \sqrt{(S_{\bar{t}})^2 + \frac{(\Delta t)^2}{3}}$$

Przykładowe obliczenia:

Kulka 1

$$\bar{t} =$$

$$S_{\bar{t}} =$$

$$u(t) =$$

4. Na podstawie danych pomiarowych oblicz współczynnik lepkości ( $\eta$ ) dla każdej kulki i jego niepewność  $u_c(\eta)$ ; dane wpisz do tabeli 1.

$$\eta = \frac{d^2 \cdot g \cdot t \cdot (\rho_k - \rho_c)}{18h}$$

$$\eta_1 =$$

$$\eta_2 =$$

$$u_c(\eta) = \sqrt{\left|\frac{\partial \eta}{\partial d}\right|^2 \cdot u(d)^2 + \left|\frac{\partial \eta}{\partial t}\right|^2 \cdot u(t)^2 + \left|\frac{\partial \eta}{\partial \rho_k}\right|^2 \cdot u_c(\rho_k)^2 + \left|\frac{\partial \eta}{\partial \rho_c}\right|^2 \cdot u(\rho_c)^2 + \left|\frac{\partial \eta}{\partial h}\right|^2 \cdot u(h)^2 =$$

$$\sqrt{\left|\frac{d \cdot g \cdot t (\rho_k - \rho_c)}{9h}\right|^2 u(d)^2 + \left|\frac{d^2 \cdot g (\rho_k - \rho_c)}{18h}\right|^2 u(t)^2 + \left|\frac{d^2 \cdot g \cdot t}{18h}\right|^2 u_c(\rho_k)^2 + \left|\frac{d^2 \cdot g \cdot t}{18h}\right|^2 u(\rho_c)^2 + \left|\frac{d^2 \cdot g \cdot t (\rho_k - \rho_c)}{18h^2}\right|^2 u(h)^2}$$

$$u_c(\eta_1) =$$

$$u_c(\eta_2) =$$

$$\bar{\eta} = (\eta_1 + \eta_2)/2 =$$

$$u(\bar{\eta}) =$$

Tabela 1. Pomiary parametrów oraz czasów opadania dla kulki 1 wraz z obliczonym współczynnikiem lepkości cieczy

	<i>m</i> 10 <sup>-3</sup> [kg]	<i>d</i> 10 <sup>-3</sup> [m]	<i>h</i> [m]	<i>t</i> [s]	<i>ρ<sub>k</sub></i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>ρ<sub>c</sub></i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>η</i> [Ns/m <sup>2</sup> ]
1							
2							
3							
⋮							
n							
<i>X̄</i>							
<i>ΔX</i>							
<i>u(X)</i>							
<i>u<sub>c</sub>(X)</i>							

$$\bar{\eta} = \qquad \qquad \qquad u(\bar{\eta})$$

## II. Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy przy pomocy wiskozymetru

1. Wyniki czasu spadania kulki  $t$  oraz wartości gęstości kulki  $\rho_k$ , cieczy  $\rho_c$  i ich niepewności  $u(\rho_k)$ ,  $u(\rho_c)$  wpisz do tabeli.
2. Oblicz wartość średnią czas spadania kulki  $\bar{t}$  oraz jego niepewność  $u(t)$ . Wyniki wpisz do tabeli.

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_i / n =$$

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} =$$

$$u(t) = \sqrt{(S_t)^2 + \frac{(\Delta t)^2}{3}} =$$

3. Oblicz współczynnik lepkości ( $\eta$ ) i jego niepewność ( $\Delta\eta$ ). Wyniki obliczeń wpisz do tabeli.

$$\eta = k \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot t$$

$$\eta =$$

$$u_c(\eta)$$

$$= \sqrt{|k \cdot t|^2 \cdot u(\rho_k)^2 + |k \cdot t|^2 \cdot u(\rho_c)^2 + |k \cdot (\rho_k - \rho_c)|^2 \cdot u(t)^2 + |(\rho_k - \rho_c)t|^2 \cdot u(k)^2}$$

$$u_c(\eta) =$$

Dane potrzebne do obliczeń:

- dla wiskozymetru z kulką **szklaną**

$$k = 0,7941 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\rho_k = (2,41 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$$

- dla wiskozymetru z kulką **metalową**:

$$k = 0,1216 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\rho_k = (8,12 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$$

lp.	$t$ [s]	$k$ [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_c$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\eta$ [Ns/m <sup>2</sup> ]
1					
2					
3					
...					
n					
$\bar{X}$					
$\Delta X$					
$u(X)$					
$u_r(X)$					

### 3. Dyskusja wyników, wnioski