

**LEPKOŚĆ CIECZY****WSTĘP**

W wyniku działania sił międzycząsteczkowych podczas ruchu poszczególnych warstw cieczy względem siebie, występuje tarcie wewnętrzne zwane lepkością. Jeżeli dwie warstwy cieczy odległe od siebie o  $dx$  wykazują stałą różnicę prędkości  $dv$  ( $dv$  różne od zera), to siła styczna potrzebna do pokonania tarcia wewnętrznego będzie opisana **wzorem Newtona**:

$$F = \eta A \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

gdzie:

$\eta$  - współczynnik proporcjonalności zwany **lepkością dynamiczną**

$A$  - pole powierzchni ulegającej przesuwaniu

Ciecze, których lepkość jest w danej temperaturze stała, niezależna od wielkości gradientu prędkości  $\frac{dv}{dx}$  noszą nazwę **cieczy newtonowskich**. Ciecze wykazujące odchylenia od tej reguły są **cieczami nienewtonowskimi**.

W uprzednio obowiązującym układzie CGS jednostką lepkości dynamicznej był puaz:  $P = g \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Mówiąc inaczej, wartość  $\eta$  jest równa jedności, jeżeli siła 1 dyny przypadająca na  $1 \text{ dm}^2$  powierzchni ciekłej spowoduje różnicę szybkości  $1 \text{ cm/sec}$  pomiędzy dwoma warstwami cieczy odległymi od siebie o  $1 \text{ cm}$ . W układzie SI, jeżeli siłę  $F$  wyrazić w newtonach [N], odległość warstw  $dx$  w metrach [m], a powierzchnię  $A$  w  $[\text{m}^2]$  oraz prędkość  $dv$  w  $[\text{m/s}]$ , to otrzymuje się jednostkę lepkości dynamicznej w postaci  $\text{N s m}^{-2}$ . Dlatego:

$$1P = 0,1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

Lepkość dynamiczna odniesiona do gęstości cieczy  $d$  nazywa się **lepkością kinematyczną**:

$$\nu = \frac{\eta}{d} \quad (3)$$

Jednostką lepkości kinematycznej był Stokes  $1 \text{ St} = \text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . W układzie SI jednostką jest  $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ , czyli:

$$1\text{St} = 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (4)$$

Jeżeli rozpatrujemy **lepkości roztworów** to możemy wprowadzić następujące pojęcia, które będą funkcjami zmierzonych współczynników lepkości rozpuszczalnika ( $\eta_0$ ) i roztworu ( $\eta$ ):

**- lepkość względna:**

Lepkość cieczy wyrażona w stosunku do lepkości innej cieczy uważanej za wzorcową nazywana jest lepkością względną:

$$\eta_{wzgl.} = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (5)$$

- lepkość właściwa:

$$\eta_{wt} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_{wzgl} - 1 \quad (6)$$

- lepkość zredukowana

Jest to lepkość właściwa odniesiona do jednostkowego stężenia:

$$\eta_{red.} = \frac{1}{c} \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{\eta_{wt}}{c} \quad (7)$$

- lepkość graniczna:

jest to lepkość zredukowana ekstrapolowana do rozcieńczenia nieskończenie dużego:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left( \frac{1}{c} \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \right) \quad (8)$$

Lepkość cieczy wynika z oddziaływań międzycząsteczkowych. Czynnikiem hamującym ruch cieczy jest wzajemne przyciąganie cząstek. Inny jest mechanizm lepkości gazów. Pod niezbyt wysokim ciśnieniem siły międzycząsteczkowe w gazach są małe. Tarcie wewnętrzne ośrodka gazowego wynika ze zderzeń między cząsteczkami. Cząsteczki poruszające się w kierunku przepływu gazu wykonują także ruchy chaotyczne we wszystkich innych kierunkach. Wskutek tego następuje wzajemne przenikanie cząsteczek z jednej warstwy do drugiej. Wymiana energii kinetycznej między nimi powoduje zmniejszenie ich składowej prędkości w kierunku ruchu całego ośrodka. Lepkość gazów jest znacznie mniejsza od lepkości cieczy.

Lepkość cieczy na ogół zmienia się znacznie wraz z temperaturą. W miarę wzrostu temperatury, w wyniku zwiększania się energii kinetycznej cząsteczek, zmniejszają się siły przyciągania działające między cząsteczkami, efektem czego jest zmniejszenie się tarcia wewnętrznego. Gazy zachowują się odwrotnie: wraz ze wzrostem temperatury ich lepkość wzrasta, gdyż wzrasta liczba zderzeń między cząsteczkami.

Zależność lepkości cieczy od temperatury wyrazić można w postaci empirycznego wzoru podanego przez **Arrheniusa-Guzmanna**:

$$\log \eta = \frac{A}{T} + B \quad (9)$$

gdzie  $A$  i  $B$  są stałymi charakterystycznymi dla danego układu.

Metody pomiaru lepkości:

- metody oparte na pomiarze czasu przepływu określonej objętości cieczy przez rurkę kapilarną pod wpływem znanej różnicy ciśnień,

- metody oparte na pomiarze szybkości opadania kulki o odpowiednich wymiarach

i znanej gęstości w rurze wypełnionej badaną cieczą,

- metody oparte na pomiarze obrotu cylindra w cieczy.

Wyznaczanie lepkości przy użyciu wiskozymetru Höpplera polega na pomiarze czasu opadania kulki:

$$\eta = k \cdot t(d - d_0) \quad [\text{cP}] \quad (10)$$

gdzie:  $d$  i  $d_0$  wyrażają gęstość kulki i cieczy;  $t$  jest czasem opadania kulki zaś stała proporcjonalności  $k$  zwana jest stałą kulki.

Pomiary lepkości pozwalają znaleźć średnią wiskozymetryczną masę cząsteczkową polimeru:

$$[\eta] = K \cdot M^a \quad (11)$$

gdzie  $K$  oraz  $a$  są stałymi charakterystycznymi dla danego polimeru i jego rozpuszczalnika.

## CEL ĆWICZENIA

Wyznaczenie zależności lepkości cieczy (roztworu polimeru) od temperatury.

## APARATURA

- Lepkościomierz Höpplera.
- Stoper.
- Krystalizator.
- Zestaw kulek.
- Termostat.
- Suszarka.

## SZKŁO

- Piknometr.

## ODCZYNNIKI

- Roztwory wodne poliglikoluetylenowego (PEG) 1, 2, 3, 4 i 5 %.

## WYKONANIE ĆWICZENIA

Pomiar zależności lepkości cieczy od temperatury:

1. Zmierzyć lepkość wybranego roztworu PEG w temperaturach: 20, 25, 30, 35, 40 oraz 45<sup>0</sup> C.
2. Pomiary należy wykonać trzykrotnie.
3. Zmierzyć gęstość wybranego roztworu PEG.

## OPRACOWANIE WYNIKÓW

Wyznaczanie zależności lepkości od temperatury.

1. Obliczyć lepkość dynamiczną badanego roztworu w kolejnych temperaturach.
2. Wykreślić zależność logarytmu lepkości cieczy od odwrotności temperatury.
3. Wyznaczyć stałe w równaniu opisującym zależność lepkości od temperatury (metodą regresji liniowej).

Wzór tabeli i schematu opracowania

..... <i>Wydział</i>	..... <i>Imię i Nazwisko studenta</i>	..... <i>Data wykonywania ćwiczenia:</i>
..... <i>Kierunek</i> <i>Studia niestacjonarne</i>		
<i>Nr grupy:</i> ..... <i>Nr zespołu:</i> .....	..... <i>Nr ćwiczenia:</i>	..... <i>Nazwisko Prowadzącego:</i>

1. Temat ćwiczenia:
2. Cel ćwiczenia:
3. Pomiary:
4. Obliczenia:
5. Wykresy:
6. Wnioski:

Templata  
Wzór