

Ćwiczenie 1:

WYZNACZANIE PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH CIECZY

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest określenie zmian gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego cieczy w funkcji temperatury.

2. WIADOMOŚCI WPROWADZAJĄCE

2.1. GĘSTOŚĆ

Ciała z różnych materiałów, pomimo tej samej objętości, różnią się między sobą swoją masą.

W przypadku cieczy jednorodnej w stanie ustalonym, charakteryzującej się tym, że gęstość w każdym jej punkcie ma taką samą wartość (nie jest funkcją współrzędnych), można napisać

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{m \mathfrak{g}}{V}. \quad (2)$$

gdzie: ρ - gęstość cieczy, kg/m^3 ;

m - masa cieczy, kg ;

V - objętość cieczy, m^3 ;

γ - ciężar właściwy cieczy, N/m^3 ;

\mathfrak{g} - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 .

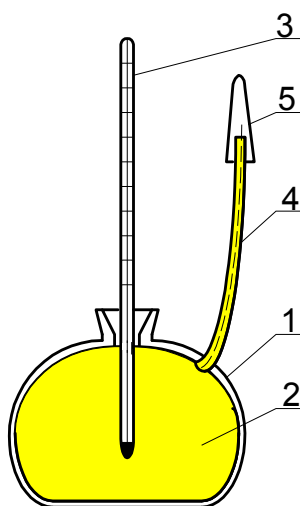
Przyrządy do pomiaru gęstości cieczy, w zależności od metody pomiaru, można podzielić na:

- wagowe - wykorzystujące pomiar masy określonej objętości cieczy badanej;
- pływakowe - wykorzystujące pomiar głębokości zanurzenia w cieczy badanej przyrządu pomiarowego o określonej masie i geometrii;

- hydrostatyczne - wykorzystujące pomiar siły parcia słupa cieczy badanej o określonej wysokości;
- ultradźwiękowe i izotopowe - wykorzystujące pomiar stopnia pochłaniania ultradźwięków lub promieniowania izotopowego przez ciecz badaną w porównaniu do cieczy wzorcowej.

Poniżej opisano dwie metody pomiaru gęstości cieczy wykorzystywane w opisywanym ćwiczeniu.

Metoda wagowa pomiaru gęstości polega na ważeniu cieczy w piknometrze (rys. 1), czyli szklanej kolbce o określonej objętości V_p (zwykle 100 cm^3). Włot kolby zamykany jest szczelnie doszlifowanym termometrem-korkiem. Z boku naczynia wyprowadzona jest cienka rurka kapilarna zamykana doszlifowanym kapturek. Kapilarą odprowadzany jest z kolbki nadmiar cieczy, a kapturek zabezpiecza przed nadmiernym parowaniem cieczy o dużej lotności. Pomiar za pomocą piknomtru pozwala na określenie gęstości względnej. Jako ciecz wzorcowa stosowana jest zwykle woda destylowana.



Rys. 1. Piknometr

1 - naczynie szklane, 2 - ciecz badana, 3 - termometr, 4 - rurka kapilarna, 5 - kapturek

Dla wyznaczenia gęstości względnej ρ_{wzgl} cieczy, należy zważyć kolejno:

- pustego piknomtru (m_p);
- piknomtru wypełnionego cieczą wzorcową w danej temperaturze ($m_{p,cw}$);
- piknomtru wypełnionego cieczą badaną w tej samej co ciecz wzorcowa temperaturze ($m_{p,c}$).

Z tak przeprowadzonych pomiarów można wyznaczyć masę cieczy wzorcowej

$$m_{cw} = m_{p,cw} - m_p \quad (3)$$

oraz masę cieczy badanej

$$m_c = m_{p,c} - m_p \quad (4)$$

Zgodnie z (1)

$$\rho_{cw} = \frac{m_{cw}}{V_{cw}} = \frac{m_{p,cw} - m_p}{V_p} \quad (5)$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_{p,c} - m_p}{V_p} \quad (6)$$

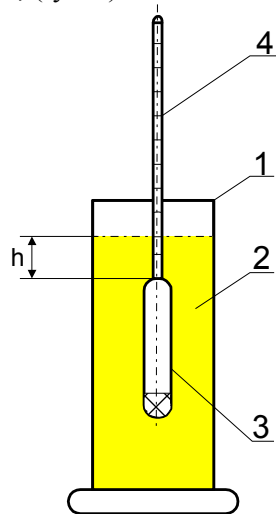
Gęstość względna to stosunek gęstości bezwzględnej danej cieczy do gęstości bezwzględnej innej cieczy, określanej jako wzorcowa. Tak więc

$$\rho_{wzgl} = \frac{\rho_c}{\rho_{cw}} = \frac{m_{p,c} - m_p}{m_{p,cw} - m_p} \quad (7)$$

Dla określenia gęstości bezwzględnej cieczy badanej, odczytuje się w tablicach (np. [1]), wartość gęstości cieczy wzorcowej w temperaturze pomiaru i wylicza się

$$\rho_c = \rho_{cw} \frac{m_{p,c} - m_p}{m_{p,cw} - m_p} \quad (8)$$

Metoda pływakowa polega na określaniu gęstości cieczy w danej temperaturze za pomocą areometru, (rys. 2).



Rys. 2. Pomiar gęstości cieczy areometrem

1- menzurka, 2 - ciecz badana, 3 - areometr, 4 - trzpień ze skałą
 Areometr jest pływakim częściowo zanurzonym w cieczy. Głębokość zanurzenia, odczytywana na skali trzpienia areometru jest funkcją gęstości cieczy. Wykorzystując prawo wyporu można napisać

$$m \mathcal{G} = (v_0 + A h) \rho_c \mathcal{G} \quad (9)$$

gdzie: v_0 - objętość bańki areometru, m^3 ;

A - pole przekroju poprzecznego trzpienia, m^2 ;

h - głębokość zanurzenia, m ;

m - masa całkowita areometru, kg ;

ρ_c - gęstość cieczy, kg/m^3 ;

\mathcal{G} - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ;

skąd

$$\rho_c = \frac{m}{v_0 + A h} \quad (10)$$

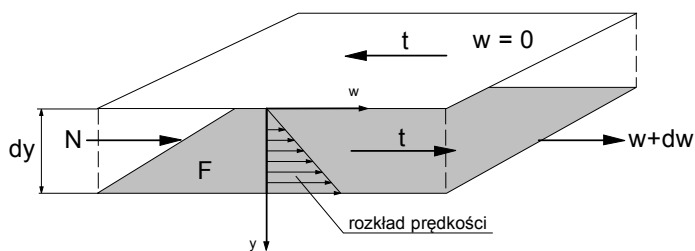
Oznaczając stałą przyrządu jako $v_0/A = h_0$ otrzymuje się równanie

$$\rho_c = \frac{m}{A(h + h_0)}, \quad (11)$$

a zatem zależność (nieliniową) pomiędzy gęstością cieczy a głębokością zanurzenia pływaka, $\rho_c = f(h)$. Fakt ten pozwala na bezpośrednie wyskalowanie trzpienia przyrządu w jednostkach gęstości. W praktyce operuje się kompletem areometrów o różnych zakresach pomiarowych.

2.2. LEPKOŚĆ

Do wyjaśnienia pojęcia lepkości służy model przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Schemat objaśniający pojęcie lepkości

Płyn w ruchu uwarstwionym, zawarty jest między dwiema nieskończonymi, równoległymi płaszczyznami. Jeżeli jedna płaszczyzna przesuwa się względem drugiej ze stałą prędkością, to ustala się pewien profil rozkładu prędkości w warstwie płynu.

Dla płynów newtonowskich naprężenie τ , a więc siła przyłożona na jednostkę powierzchni potrzebna do utrzymania stałej jej prędkości, jest określone równaniem

$$\tau = \frac{N}{F} = \eta \frac{dw}{dy}, \quad (12)$$

Wielkość η w powyższym równaniu nosi nazwę współczynnika dynamicznego lepkości.

Występowanie lepkości tłumaczy się tarciem wewnętrznym płynu. Płyn pozbawiony tego tarcia (płyn idealny) wykazywałby współczynnik lepkości równy zeru. Ciało stałe, aż do granicy płynności, charakteryzuje się lepkością nieskończenie wielką.

Jednostką współczynnika dynamicznego lepkości w układzie SI jest Pa·s, czyli kg/(m·s). W układzie CGS jednostka ta wyrażona jest jako cm/(g·s) i nosi nazwę puaza (symbol P). Woda w temperaturze 20 °C wykazuje lepkość 1 cP, (centypuaz). Iloraz $\eta/\rho = \nu$ nosi nazwę współczynnika kinematycznego lepkości. Jego wymiarem w układzie SI jest m²/s, w układzie CGS - stokes St.

Metody pomiaru lepkości klasyfikuje się według różnych kryteriów. Jednym z nich jest podział wg wykorzystywanej zasady pomiarowej. Z tego też względu można wyróżnić przyrządy w których:

- strumień objętości cieczy jest ciągniony (przez: płytki ślizgowe, opadające ciało lub obracające się współosiowo powierzchnie np. cylindry, stożki);
- strumień objętości cieczy wypływa pod ciśnieniem przez kapilarę lub szczelinę;
- strumień objętości cieczy jest wydłużany lub ściskany;
- obserwowane są tłumienia drgań w badanej cieczy.

Poniżej opisano dwa klasyczne przyrządy do pomiaru lepkości, wykorzystywane w omawianym ćwiczeniu.

Lepkościomierz Englera (rys. 3), służy do pomiaru względnej lepkości cieczy wyrażanej w stopniach Englera (°E). Lepkość względną określa stosunek czasu wypływu 200 cm³ badanej cieczy z określonej wymiarowo kapilary (w danej temperaturze) do czasu wypływu z tej samej kapilary, tej samej objętości wody destylowanej o temperaturze 20 °C.

$$^{\circ}E = \frac{\tau_c}{\tau_{cw,20^{\circ}C}}.$$

(13)

Stopnie Englera ($^{\circ}\text{E}$) zamienić można na jednostki układu SI korzystając z zależności

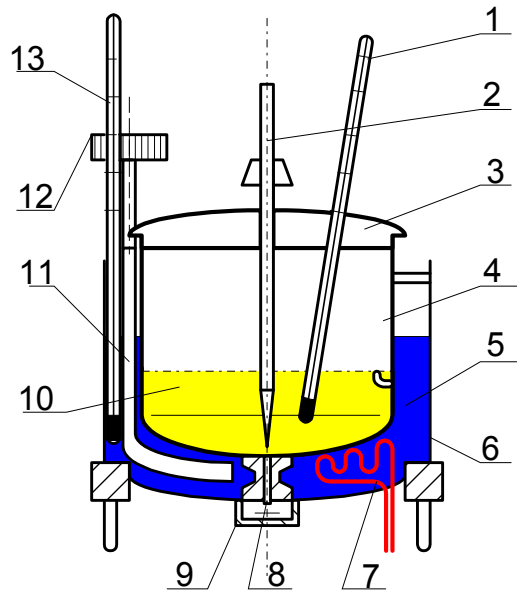
$$\nu = \left(7,319 \text{ } ^{\circ}\text{E} - \frac{6,3126}{^{\circ}\text{E}} \right) \cdot 10^{-6} ,$$

(14)

$$\eta = \nu \rho .$$

(15)

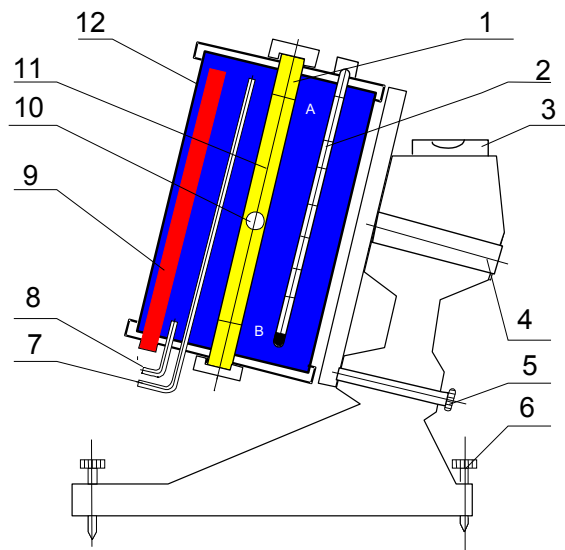
Lepkościomierz Englera przedstawiono na rys. 3. Składa się on ze zbiornika (4), wewnątrz połączanego i polerowanego, do którego wlewana jest badana ciecz (10). Zbiornik (4) umieszczony jest w łaźni wodnej (6), zaopatrzonej w mieszalnik skrzydełkowy (11), poruszany za pomocą gałki (12). W środku dna zbiornika znajduje się kapilara platynowa (8), zamykana zatyczką drewnianą (2). Temperatura wody w łaźni sprawdzana jest za pomocą termometru (13), natomiast za pomocą termometru (1) kontrolowana jest temperatura badanej cieczy.



Rys. 3. Schemat lepkościomierza Englera

1 - termometr, 2 - zatyczka, 3 - pokrywa, 4 - zbiornik pomiarowy,
5 - ciecz termostatyczna, 6 - zbiornik grzewczy, 7 - grzałka, 8 -
kapilara, 9 - korek spustowy, 10 - ciecz badana, 11 - mieszadło, 12 -
gałka mieszadła, 13 - termometr

W lepkościomierzu Höpplera do pomiaru lepkości zostało wykorzystane prawo Stokes'a, wskazujące na proporcjonalność pomiędzy siłą lepkości i prędkością ruchu warstwek cieczy. Konstrukcję lepkościomierza Höpplera przedstawia rys. 4. Umieszczona centralnie, wewnątrz szlifowana rurka szklana (1) jest otoczona kąpielą wodną, której temperaturę mierzy termometr (2). Kąpiel ta może być połączona z ultratermostatem poprzez króćce (7) i (8). Na rurce (1) zaznaczone są dwie kreski A i B. Kulki o różnej średnicy i gęstości dobierane są odpowiednio do spodziewanych wartości współczynnika lepkości cieczy.



Rys. 4. Schemat lepkościomierza Höpplera

1 - rurka szklana, 2 - termometr, 3 - libella, 4 - sworzeń obrotowy,
5 - śruba blokująca, 6 - śruba poziomująca, 7 i 8 - wlot i wylot
cieczy termostatycznej, 9 - grzałka, 10 - kulka, 11 - ciecz badana,
12 - płaszcz z cieczą grzewczą.

Do prawidłowego poziomego ustawienia przyrządu służy libella (3) i śruba (6). Rurka zamykana jest dwoma korkami. Płaszcz kąpielu wodnego (12) wraz z rurką pomiarową umieszczone są w odpowiedniej oprawie, która może obracać się wraz z osią o kąt 180° . Śruba (5) służy do pionowego ustawienia układu pomiarowego. Pomiar lepkości polega na określeniu czasu opadania w kalibrowanej rurce szklanej wypełnionej badaną cieczą, kulki szklanej lub metalowej o średnicy rzędu $(10 \div 20)$ mm. Dla uniknięcia zakłóceń ruchu kulki, rurka jest odchylona od pionu o kąt $\alpha \cong 10^\circ$.

Wykorzystując lepkościomierz Höpplera, lepkość cieczy badanej wyznacza się z zależności

$$\eta_c = K(\rho_k - \rho_c) \tau, \quad (16)$$

w której: ρ_k - gęstość kulki, kg/m^3 ;

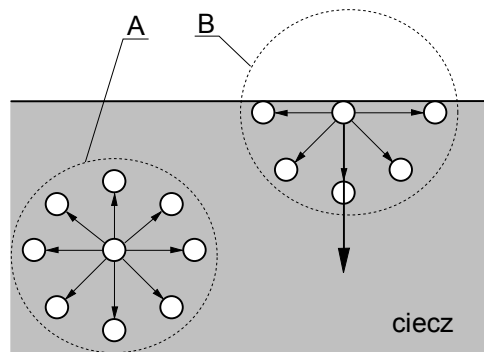
ρ_c - gęstość cieczy badanej w danej temperaturze, kg/m^3 ;

τ - czas opadania kulki w rurce pomiędzy kreskami A i B, s;

K - stała przyrządu dla danego układu kulka-rurka, wyznaczona przy wykorzystaniu cieczy wzorcowej o znanej lepkości, m^2/s^2 .

2.3. NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE

Jak przedstawiono na rys. 5, siły oddziaływań pomiędzy cząsteczkami we wnętrzu cieczy znoszą się wzajemnie, nie mogą więc wykazać swego istnienia. Inaczej jest na powierzchni cieczy. Tutaj cząsteczki poddawane są działaniu nie zrównoważonych sił międzycząsteczkowych skierowanych w głąb cieczy. Wypadkowa tych sił (nazywana siłą napięcia powierzchniowego) jest prostopadła do powierzchni i sprawia, że warstwa powierzchniowa wywiera na



Rys. 5. Oddziaływania międzycząsteczkowe w cieczy.

A - w głębi cieczy, B - przy powierzchni cieczy

resztę cieczy ciśnienie molekularne. Siły napięcia powierzchniowego dążą zatem do zmniejszenia powierzchni cieczy.

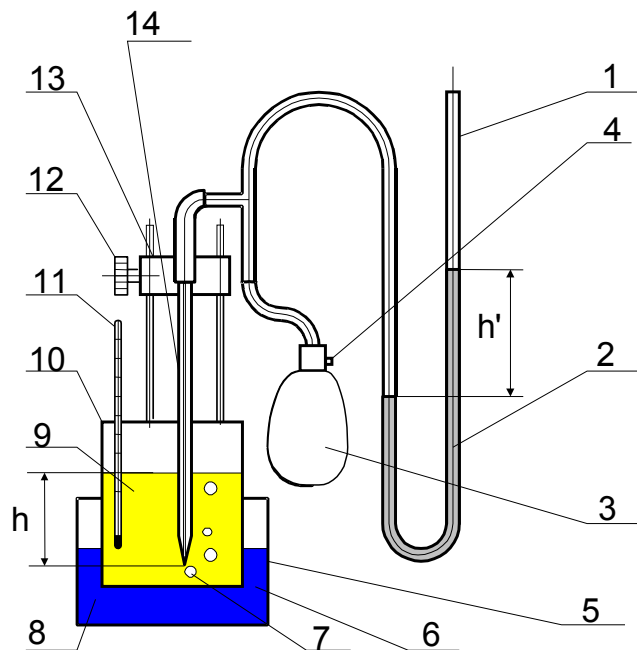
Współczynnik napięcia powierzchniowego można określić jako siłę styczną do powierzchni cieczy i działającą na jednostkę długości linii rozdziału. Jednostką określonego w ten sposób współczynnika napięcia powierzchniowego jest w układzie SI N/m.

Napięcie powierzchniowe zależy od rodzaju cieczy (dla każdej cieczy jest ono inne, gdyż różne cząstki działają na siebie z różnymi siłami), także od temperatury, gdyż przy zwiększaniu ruchów termicznych cząstek cieczy, siły międzycząsteczkowe maleją i w związku z tym maleje również napięcie powierzchniowe.

Wyznaczanie napięcia powierzchniowego cieczy, przeprowadzane jest głównie trzema sposobami:

- poprzez rozrywanie błonki powierzchniowej przy jej rozciąganiu,
- poprzez pomiar wzniesienia słupa cieczy w rurkach włoskowatych,
- na podstawie analizy wypływu kropeł cieczy przez kapilarę.

Innym, ciekawym sposobem pomiaru napięcia powierzchniowego cieczy jest metoda pęcherzykowa, polegająca na pomiarze ciśnienia potrzebnego do przepchnięcia pęcherzyka powietrza przez kapilarę zanurzoną w badanej cieczy. Schemat przyrządu pomiarowego działającego na tej zasadzie, a wykorzystywanego w niniejszym ćwiczeniu, przedstawiono na rys. 6. Kapilarę (14) o średnicy wewnętrznej 0,348 mm, zanurza się w cieczy badanej (9) na głębokość h . Obserwując wskazania U-rurki, pompką (3) zwiększa się ciśnienie powietrza wewnątrz przyrządu do chwili gdy z kapilary zostanie wypchnięty pęcherzyk powietrza. Umieszczenie zbiorniczka pomiarowego (10) w termostacie (5) wypełnionym cieczą grzejną (8), pozwala na regulację temperatury cieczy badanej. Temperaturę kontroluje termometr (11).



Rys. 6. Przyrząd do pomiaru napięcia powierzchniowego cieczy metodą pęcherzykową

1 - manometr cieczowy, 2 - ciecz manometryczna, 3 - pompka ręczna,
4 - zawór spustowy, 5 - termostat, 6 - ciecz termostatyczna, 7 -
pęcherzyki powietrza, 8 - ciecz grzejna, 9 - ciecz badana, 10 - naczynie,
11 - termo-metr, 12 - pokrętło regulacyjne, 13 - ruchomy statyw, 14 -
kapilara

Zmierzone nadciśnienie powietrza przy znajomości średnicy kapilary i głębokości jej zanurzenia w cieczy badanej o znanej gęstości, pozwala na wyznaczenie napięcia powierzchniowego wg równania

$$\sigma_c = \frac{r}{2} g (\rho_{cm} h' - \rho_c h) \quad \text{N/m} \quad (17)$$

w którym: r - promień kapilary, m;

g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ;

ρ_{cm} - gęstość cieczy manometrycznej, kg/m^3 ;

ρ_c - gęstość cieczy badanej, kg/m^3 ;

h' - różnica poziomów cieczy manometrycznej, m;

h - głębokość zanurzenia kapilary w cieczy badanej, m.

3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

Do przeprowadzenia pomiarów podstawowych właściwości fizycznych cieczy należy wykorzystać wodny roztwór o zawartości 25 % obj. czystej gliceryny. Ponieważ gliceryna dostępna w handlu nie jest chemicznie czystą substancją, a wodnym roztworem o określonym stężeniu (w różny sposób wyrażanym), w trakcie przygotowania roztworu poddawanego badaniom należy dokonać stosownych przeliczeń stężeń korzystając z przeliczników stężeń zawartych np. w [1].

3.1. POMIAR GĘSTOŚCI

Pomiar piknometrem

Kolejność czynności podczas pomiaru gęstości przy użyciu piknometru jest następująca:

- wymyć piknometr wodą a następnie alkoholem, wysuszyć piknometr;
- zważyć pusty piknometr wraz z termometrem i kapturkiem kapilary;
- wypełnić piknometr wodą destylowaną o temperaturze 20°C ,
- założyć termometr;

- e) osuszyć nadmiar wody która wypłynęła kapilarą;
- f) założyć kapturek na kapilarę;
- g) zważyć piknometr, notując jego masę i temperaturę wody destylowanej;
- h) zdjąć kapturek z kapilary i w łaźni wodnej zwiększyć temperaturę wody destylowanej wg przyjętego kroku;
- i) powtórzyć czynności wymienione w pkt. e)-h) do chwili osiągnięcia założonej temperatury końcowej;
- j) powtórzyć czynności wymienione w pkt. a) ÷ i) dla przygotowanego uprzednio roztworu gliceryny;
- k) wyniki pomiarów i odpowiednie obliczenia (prowadzone na podstawie równania (8)), notować w poniższej tabeli.

Pomiar gęstości cieczy piknometrem				
Ciecz badana:				
Ciecz wzorcowa:				
Masa pustego piknomtru, m_p : g				
Temperatura	$m_{p,cw}$	$m_{p,c}$	ρ_{cw}	ρ_c
°C	g	g	kg/m ³	kg/m ³
20				
22				
24				
...				

Pomiar areometrem

Kolejność czynności podczas pomiaru gęstości przy użyciu areometrów jest następująca:

- a) oczyścić menzurkę i areometry w wodzie i alkoholu;
- b) ogrzać ciecz badaną do odpowiedniej temperatury, (ok. 50 °C);
- c) wlać ciecz do menzurki i zanurzyć w niej termometr oraz areometr o odpowiednim zakresie pomiarowym;
- d) w miarę ochładzania się cieczy, np. co 2°C, notować w tabeli temperaturę oraz gęstość wskazywaną na skali areometru.
- e) w razie potrzeby wymienić areometr dostosowując jego zakres pomiarowy do aktualnej gęstości cieczy.

Pomiar gęstości cieczy areometrem
Ciecz badana:

Temperatura	Zakres pomiarowy areometru	ρ_c
$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3	kg/m^3
50		
48		
46		
...		

3.2. POMIAR LEPKOŚCI

Pomiar lepkościomierzem Englera

Kolejność czynności podczas pomiaru lepkości przy użyciu lepkościomierza Englera jest następująca:

- wymyć przyrząd wodą i alkoholem, a następnie wysuszyć go;
- wlać do zbiornika lepkościomierza 200cm^3 wody destylowanej;
- włączyć grzałkę i ogrzać ciecz termostaticzną do temperatury pomiaru;
- gdy woda destylowana osiągnie założoną temperaturę pomiaru (20°C) wyciągnąć zatyczkę kapilary i uruchomić stoper;
- zmierzyć czas wypływu do zbiornika miarowego 200cm^3 wody destylowanej;
- powtórzyć wielokrotnie czynności wymienione w pkt. a)-e) w odniesieniu do cieczy badanej zwiększając każdorazowo jej temperaturę wg przyjętego kroku;
- wyniki pomiarów i obliczeń wg równań (13÷15) notować w tabeli.

Pomiar lepkości cieczy lepkościomierzem Englera					
Ciecz badana:					
Ciecz wzorcowa:					
Czas wypływu cieczy wzorcowej przy 20°C : s					
Temperatura	Czas wypływu cieczy badanej		Lepkość cieczy badanej		
$^{\circ}\text{C}$	s		$^{\circ}\text{E}$	m^2/s	Pa·s
20					
22					
24					
...					

Pomiar lepkościomierzem Höpplera

Kolejność czynności podczas pomiaru lepkości przy użyciu lepkościomierza Höpplera jest następująca:

- a) wymyć rurkę pomiarową wodą i alkoholem;
- b) nalać badanej cieczy do rurki;
- c) umieścić w rurce odpowiednio dobraną kulkę;
- d) usunąć pęcherzyki powietrza z cieczy i zatkać wylot korkiem;
- e) podgrzać ciecz termostatyczną za pomocą grzałki w lepkościomierzu lub za pomocą oddzielnego termostatu;
- f) ustawić odpowiednio przyrząd za pomocą libelli i śruby poziomującej;
- g) obrócić przyrząd o kąt 180° , a po opadnięciu kulki ustawić go w położeniu pierwotnym i zabezpieczyć śrubą blokującą;
- h) zmierzyć czas opadania kulki pomiędzy kreskami zaznaczonymi na rurce;
- i) pomiar powtórzyć kilkakrotnie, aż do uzyskania zbliżonych wyników, co oznacza, że temperatura cieczy badanej zrównała się z temperaturą cieczy ogrzewającej;
- j) powtórzyć pomiary dla różnych wartości temperatury cieczy;
- k) wyniki pomiarów i obliczeń wg równania (16) notować w tabeli.

Pomiar lepkości cieczy lepkościomierzem Höpplera							
Ciecz badana:							
Temperatura	Stałe przyrządu		Czas opadania kulki	Gęstość cieczy badanej	Lepkość cieczy badanej		
	°C	K			ρ_k	s	kg/m ³
20							
22							
...							

Wartości stałej przyrządu i gęstość kulek pomiarowych

Rodzaj kulki	Średnica kulki	Gęstość kulki	Stała K
	mm	kg/m ³	m ² /s ²
Szklana - niebieska	14,7	2495	$2,3817 \cdot 10^{-8}$
Szklana - bezbarwna	15,6	2510	$6,3900 \cdot 10^{-8}$
Metalowa	14,9	7754	$2,0640 \cdot 10^{-6}$

3.3. POMIAR NAPIĘCIA POWIERZCHNIOWEGO

Kolejność czynności podczas pomiaru napięcia powierzchniowego, przy użyciu przyrządu przedstawionego na rys.6, jest następująca:

- a) oczyścić kapilarę;
- b) nalać cieczy badanej do zbiorniczka;
- c) zanurzyć kapilarę w cieczy na głębokość (3÷4) cm;
- d) ogrzać ciecz do założonej temperatury pomiaru;
- e) zakręcić zawór spustowy w pompce;
- f) pompując, zwiększać ciśnienie aż do momentu wypływu pierwszej bańki powietrza, jednocześnie obserwować i zanotować wskazanie U-rurki;
- g) otworzyć zawór spustowy w pompce;
- h) pomiar powtórzyć aż do uzyskania powtarzających się wyników, tzn. aż do momentu gdy temperatura kapilary i powietrza w niej zrówna się z temperaturą badanej cieczy;
- i) pomiary powtórzyć dla różnych wartości temperatury cieczy;
- j) wyniki pomiarów i obliczeń prowadzonych wg równania (17) notować w tabeli.

Pomiar napięcia powierzchniowego cieczy				
Ciecz badana:				
Średnica kapilary: 0,348 mm				
Gęstość cieczy manometrycznej:				
Temperatura	Głębokość zanurzenia kapilary	Wskazanie U-rurki	Gęstość cieczy badanej	Napięcie powierzchniowe cieczy badanej
°C	mm	mm	kg/m ³	N/m
20				
22				
24				
...				

4. ZAKRES OPRACOWANIA WYNIKÓW

1. Wykreślić charakterystyki zmian gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego badanych cieczy w funkcji temperatury ($y=f(t)$), a następnie, wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów, znaleźć równania funkcji opisujących te przebiegi.
2. Wykorzystując podane w literaturze, np. [1], dane dotyczące właściwości fizycznych cieczy, porównać dokładność charakterystyk uzyskanych wg pkt.

1. W tym celu wyznaczyć średni błąd względny pomiędzy wartościami tablicowymi a uzyskiwanymi na podstawie opracowanych równań $y = f(t)$.
3. Podać wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

5. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- [1] TRONIEWSKI L. i inni: Tablice do obliczeń procesowych, Skrypt PO nr 178, Opole 1996
- [2] PN-77/C-04014: Oznaczanie lepkości wiskozymetrem Englera
- [3] PN-78/C-04019: Oznaczanie lepkości dynamicznej lepkościomierzem Höpplera

6. TEMATYKA ZAGADNIEŃ KONTROLNYCH

1. Definicje i jednostki gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego.
2. Metody pomiaru gęstości cieczy.
2. Metody pomiaru lepkości cieczy.
3. Metody pomiaru napięcia powierzchniowego cieczy.
5. Wpływ temperatury na gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe cieczy.