



MINISTERSTWO EDUKACJI  
NARODOWEJ



**Monika Makowska**

## **Badanie właściwości fizycznych substancji 815[01].O2.04**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**  
**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy**  
**Radom 2007**

**Recenzenci:**

dr inż. Jarosław Molenda  
dr inż. Magdalena Rychlik

**Opracowanie redakcyjne:**

dr inż. Monika Makowska

**Konsultacja:**

mgr inż. Halina Bielecka

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 815[01].O2.04 „Badanie właściwości fizycznych substancji”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu operator urządzeń przemysłu chemicznego.

**Wydawca**

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	5
<b>3. Cele kształcenia</b>	6
<b>4. Materiał nauczania</b>	7
<b>4.1. Ocena niepewności pomiarów właściwości fizycznych</b>	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	10
4.1.3. Ćwiczenia	11
4.1.4. Sprawdzian postępów	12
<b>4.2. Pomiar temperatury wrzenia, topnienia i krzepnięcia</b>	13
4.2.1. Materiał nauczania	13
4.2.2. Pytania sprawdzające	16
4.2.3. Ćwiczenia	16
4.2.4. Sprawdzian postępów	18
<b>4.3. Pomiar gęstości cieczy i ciał stałych</b>	19
4.3.1. Materiał nauczania	19
4.3.2. Pytania sprawdzające	22
4.3.3. Ćwiczenia	22
4.3.4. Sprawdzian postępów	24
<b>4.4. Pomiar lepkości płynów</b>	25
4.4.1. Materiał nauczania	25
4.4.2. Pytania sprawdzające	28
4.4.3. Ćwiczenia	28
4.4.4. Sprawdzian postępów	30
<b>4.5. Pomiar temperatury zapłonu i palenia</b>	31
4.5.1. Materiał nauczania	31
4.5.1. Pytania sprawdzające	33
4.5.2. Ćwiczenia	33
4.5.3. Sprawdzian postępów	34
<b>4.6. Pomiar współczynnika załamania światła</b>	35
4.6.1. Materiał nauczania	35
4.6.2. Pytania sprawdzające	38
4.6.3. Ćwiczenia	38
4.6.4. Sprawdzian postępów	40
<b>4.7. Pomiar kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła</b>	41
4.7.1. Materiał nauczania	41
4.7.2. Pytania sprawdzające	43
4.7.3. Ćwiczenia	43
4.7.4. Sprawdzian postępów	44
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	45
<b>6. Literatura</b>	50

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik ten będzie pomocny uczniowi w przyswajaniu wiedzy i badaniach podstawowych właściwości fizycznych, stosowanych w procesach przemysłowych, które zostały ujęte w modułowym programie nauczania dla zawodu operator urządzeń przemysłu chemicznego.

Poradnik zawiera:

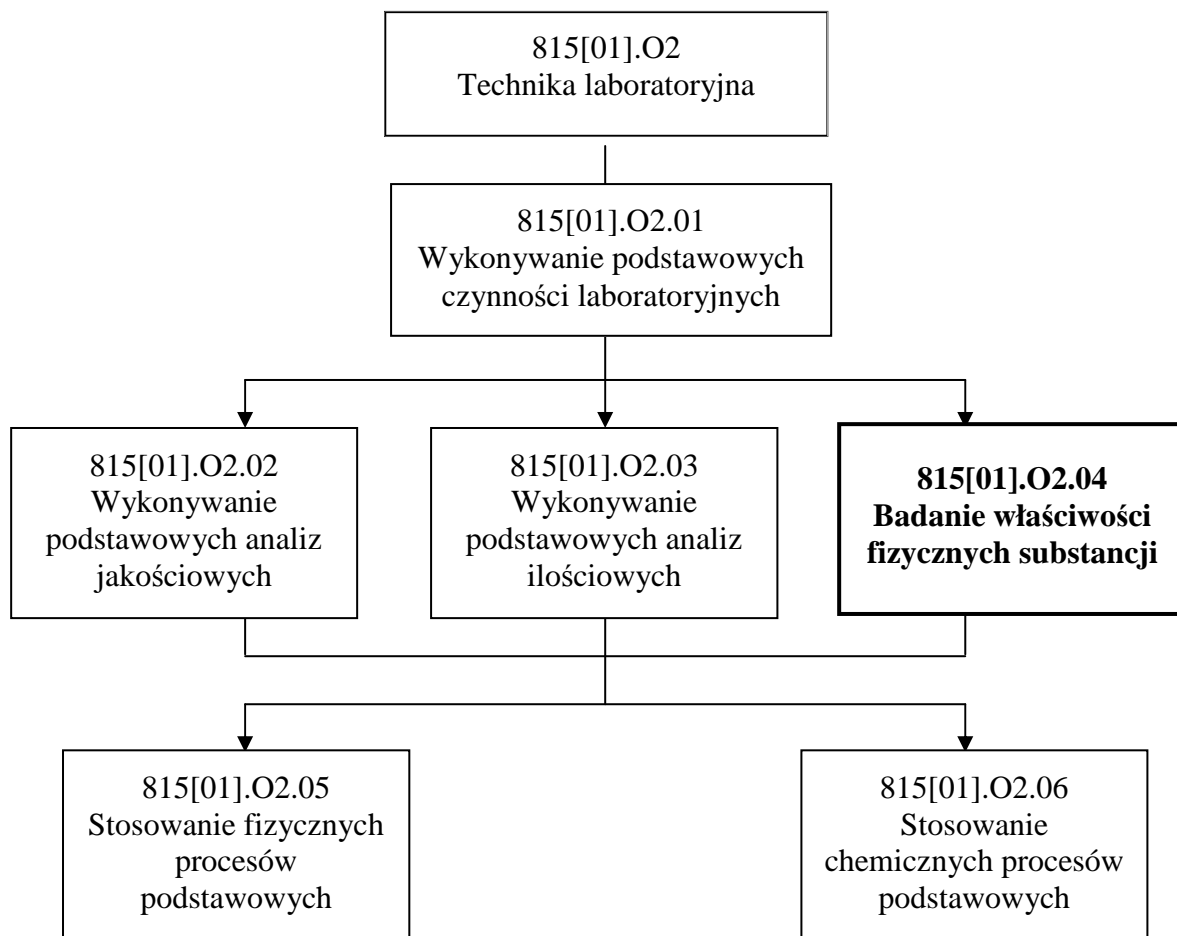
- wymagania wstępne – umiejętności, jakie uczeń powinien posiadać przed rozpoczęciem pracy z poradnikiem,
- cele kształcenia – umiejętności, jakie uczeń powinien opanować w wyniku procesu kształcenia,
- materiał nauczania – informacje, niezbędne do realizacji zaplanowanych celów kształcenia; obejmuje on:
  - pytania sprawdzające, pomocne w ocenie poziomu wiedzy ucznia, niezbędnej do wykonania ćwiczeń,
  - ćwiczenia, pomocne w ukształtowaniu umiejętności praktycznych ucznia,
  - sprawdzian postępów, pomocny w ocenie poziomu wiedzy ucznia po wykonaniu ćwiczeń,
- sprawdzian osiągnięć – przykładowy zestaw zadań testowych, umożliwiający sprawdzenie wiadomości i umiejętności opanowanych przez ucznia podczas realizacji programu jednostki modułowej,
- literaturę – wykaz pozycji literaturowych, z których uczeń może korzystać podczas nauki, w celu pogłębienia wiedzy z zakresu programu jednostki modułowej.

W materiale nauczania przedstawione zostały zagadnienia, dotyczące badania podstawowych właściwości fizycznych substancji, organizowania stanowiska pracy laboratoryjnej, powstawania błędów w pomiarach wielkości fizycznych, dokładności i precyzji pomiarów oraz przeliczania podstawowych jednostek miar układu SI. Uczeń powinien nabyć umiejętność racjonalnego wykorzystania aparatury pomiarowej oraz właściwego selekcjonowania informacji, dostępnych w różnych źródłach, w celu rozwiązywania określonych zadań problemowych.

Przy wykonywaniu ćwiczeń laboratoryjnych, uczeń powinien korzystać z instrukcji stanowiskowych oraz wskazówek i poleceń nauczyciela, przestrzegając przy tym przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ochrony przeciwpożarowej w pracowni chemicznej.

Po zrealizowaniu ćwiczeń laboratoryjnych, uczeń powinien sprawdzić poziom swojej wiedzy za pomocą sprawdzianu postępów, udzielając odpowiedzi TAK lub NIE. Odpowiedzi NIE wskazują na niepełne opanowanie umiejętności teoretycznych i praktycznych, które należy uzupełnić.

Po zrealizowaniu programu jednostki modułowej, uczeń otrzymuje do samodzielnego rozwiązania test pisemny oraz zadanie praktyczne w formie ćwiczenia laboratoryjnego. Podstawą zaliczenia programu jednostki modułowej jest pozytywna ocena wyników sprawdzianów, według ustalonych kryteriów.



Schemat układu jednostek modułowych

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- posługiwać się podstawowymi pojęciami fizykochemicznymi,
- zorganizować stanowisko pracy laboratoryjnej,
- wykorzystywać racjonalnie podstawowy sprzęt laboratoryjny,
- dokonywać pomiarów masy, temperatury, objętości i czasu,
- posługiwać się podstawowymi przyrządami pomiarowymi,
- dokonywać przeliczeń i przekształceń wzorów matematycznych,
- sporządzać i odczytywać zestawienia tabelaryczne i wykresy,
- posługiwać się tablicami fizycznymi,
- posługiwać się instrukcjami stanowiskowymi przy wykonywaniu ćwiczeń laboratoryjnych,
- zapisywać i interpretować wyniki doświadczeń laboratoryjnych,
- przygotować sprawozdanie z ćwiczeń laboratoryjnych,
- posługiwać się arkuszem kalkulacyjnym Excel,
- wyszukiwać i selekcjonować informacje oraz korzystać z różnych źródeł informacji,
- posługiwać się środkami ochrony osobistej i zbiorowej,
- stosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przeciwpożarowej podczas wykonywania prac laboratoryjnych,
- oceniać własne możliwości w działaniach indywidualnych i grupowych,
- dokonywać samooceny pracy,
- współpracować w grupie.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- określić podstawowe wielkości fizyczne charakteryzujące substancje,
- przedstawić metody pomiaru wielkości fizycznych charakteryzujących substancje,
- określić rodzaje norm stosowanych w podstawowych pomiarach właściwości fizycznych substancji,
- zorganizować stanowisko pracy laboratoryjnej do badań właściwości fizycznych substancji,
- zmierzyć podstawowe wielkości fizyczne charakteryzujące substancje,
- wyjaśnić przyczyny powstawania błędów w pomiarach wielkości fizycznych,
- określić dokładność wykonanych pomiarów,
- scharakteryzować jednostki podstawowe układu SI,
- przeliczyć stosowane powszechnie jednostki miar na jednostki układu SI,
- wykorzystać racjonalnie sprzęt i aparaturę pomiarową,
- wykorzystać racjonalnie substancje i czynniki energetyczne,
- prowadzić dokumentację laboratoryjną,
- zinterpretować wyniki przeprowadzonych pomiarów,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przeciwpożarowe podczas wykonywania prac laboratoryjnych.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Ocena niepewności pomiarów właściwości fizycznych

#### 4.1.1. Materiał nauczania

Pomiar to proces, mający na celu zidentyfikowanie właściwości badanego obiektu, za pomocą przyrządu pomiarowego. Na proces pomiarowy powinno się składać:

- teoretyczne i praktyczne przygotowanie pomiaru,
- techniczna realizacja pomiaru,
- opracowanie i interpretacja wyników pomiaru.

Ze względu na sposób uzyskiwania wyniku, metody pomiaru dzieli się na:

- bezpośrednie, w których wynik odczytuje się bezpośrednio ze wskazań przyrządu pomiarowego (np. objętość, masa, czas),
- pośrednie, w których wynik oblicza się na podstawie wartości pośrednich (np. gęstość – na podstawie pomiarów masy i objętości),
- porównawcze, w których wynik odnosi się do wielkości wzorcowej.

Wielkościami fizycznymi (właściwościami fizycznymi) nazywa się cechy zjawiska lub obiektu, które można zmierzyć i przedstawić liczbowo. Do podstawowych właściwości fizycznych, charakteryzujących substancje, należą m.in. temperatura wrzenia, temperatura topnienia i krzepnięcia, gęstość, lepkość, temperatura zapłonu i palenia, współczynnik załamania światła oraz kąt skręcania płaszczyzny polaryzacji światła.

#### Jednostki miar w układzie SI

Pomiar wielkości fizycznej polega na porównaniu jej z wielkością tego samego rodzaju, przyjętą za jednostkę. Dlatego, wartością wielkości fizycznej jest iloczyn liczby i jednostki miary. W Polsce obowiązuje Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (układ SI), który zawiera siedem jednostek podstawowych:

- metr (m) – podstawowa jednostka długości,
- kilogram (kg) – podstawowa jednostka masy,
- sekunda (s) – podstawowa jednostka czasu,
- amper (A) – podstawowa jednostka natężenia prądu,
- kelwin (K) – podstawowa jednostka temperatury,
- mol (mol) – podstawowa jednostka ilości materii,
- kandela (cd) – podstawowa jednostka światłości,

dwie jednostki uzupełniające:

- radian (rad) – podstawowa jednostka miary kąta płaskiego,
- steradian (sr) – podstawowa jednostka miary kąta bryłowego

oraz jednostki pochodne, które można wyrazić poprzez jednostki podstawowe i uzupełniające (np. jednostka mocy – wat:  $1 \text{ W} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$ ).

Poniżej przedstawiono przykładowe wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar (w nawiasach podano stosowane przedrostki, np. 1 miligram zapisuje się jako 1 mg):

- nano (n) –  $10^{-9}$ ,
- mikro ( $\mu$ ) –  $10^{-6}$ ,
- mili (m) –  $10^{-3}$ ,
- centy (c) –  $10^{-2}$ ,
- decy (d) –  $10^{-1}$ ,
- deka (da) –  $10^1$ ,



- hekto (h) –  $10^2$ ,
- kilo (k) –  $10^3$ ,
- mega (M) –  $10^6$ ,
- giga (G) –  $10^9$ .

### **Błędy i niepewność pomiaru**

Nieodłącznym czynnikiem pomiaru jest ryzyko uzyskania błędnego wyniku, czyli tzw. niepewność pomiaru. Błąd pomiaru to rozbieżność pomiędzy wynikiem pomiaru a wartością rzeczywistą (wartością oczekiwaną) mierzonej wielkości. Wykonując pomiary nawet za pomocą tego samego przyrządu, często uzyskuje się różne wyniki. Przyczyną tego może być niedoskonałość zastosowanej metody (błąd metody) lub przyrządu pomiarowego (błąd instrumentalny), bądź też niepoprawny odczyt wskazań przyrządu (błąd odczytu).

Ze względu na przyczyny powstawania błędów w serii pomiarów, zalicza się je do trzech różnych kategorii:

- błędy systematyczne – wynikające najczęściej z niedoskonałości zastosowanych metod pomiaru i przyrządów (np. niewłaściwie wywzorcowany przyrząd pomiarowy lub wpływ otoczenia na stanowisko pomiarowe) oraz powtarzające się w sposób systematyczny przy wykonywaniu pomiarów tej samej wielkości fizycznej w niezmiennych warunkach. Wykrycie błędów systematycznych jest bardzo trudne. Wielokrotne powtarzanie pomiarów nie ułatwia ich wykrycia, ani wyeliminowania. Istnienie błędów systematycznych można stwierdzić dopiero po zastosowaniu innej metody lub innego przyrządu pomiarowego. Nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie błędów systematycznych, można je tylko zredukować.
- błędy przypadkowe (błędy statystyczne) – wynikające z różnych przypadkowych czynników (np. wahania temperatury w pobliżu przyrządu pomiarowego). Zmieniają się one w sposób nieprzewidywalny (losowy) przy powtarzaniu pomiarów tej samej wielkości fizycznej w niezmiennych warunkach. Błędy przypadkowe są najczęściej występującym rodzajem błędów i są one nieuniknione. Można je zredukować poprzez wielokrotne powtarzanie pomiaru.
- błędy nadmierne (błędy grube) – wynikające najczęściej z nieuwagi lub niestaranności osób przeprowadzających pomiary, uszkodzenia przyrządu, nieprawidłowego wykonania pomiaru lub pomyłki w obliczeniach. W serii pomiarów łatwo jest wykryć i usunąć tego typu błędy. Nie powinny być one uwzględniane przy obliczaniu wyniku końcowego.

Rzeczywista wartość wielkości zmierzonej nigdy nie jest znana (mogłaby być uzyskana w pomiarze doskonałym), a więc posługiwanie się w praktyce pojęciem błędu pomiaru nie zawsze jest właściwe. Międzynarodowa Norma [13] zaleca posługiwanie się terminem niepewność pomiarowa, definiowanym jako parametr, charakteryzujący wątpliwości, dotyczące wartości wyniku pomiarowego.

W praktyce laboratoryjnej najczęściej przeprowadza się serię pomiarów i za wynik pomiaru przyjmuje się, po uprzednim wyeliminowaniu błędów grubych, średnią arytmetyczną wyników pomiarów. Jest to suma wartości wszystkich pomiarów, podzielona przez ilość tych pomiarów:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

gdzie:

- $\bar{x}$  - średnia arytmetyczna wszystkich pomiarów,
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  – wartości zmierzone,
- $n$  – liczba dokonanych pomiarów.

Miara niepewności pomiarowej, określającej przedział wokół wartości średniej, w którym może znaleźć się wartość oczekiwana, jest niepewność standardowa. Można ją oszacować na dwa sposoby:

- metoda typu A – wykorzystująca analizę statystyczną serii pomiarów,
- metoda typu B – oparta na naukowym osądzie obserwatora, nie wykorzystująca analizy statystycznej, ale np. wcześniejsze doświadczenia, wyniki podobnych badań, dostarczone przez producenta specyfikacje przyrządu, wyniki kalibracji, niepewność obliczoną na podstawie wyników badań dla materiału odniesienia.

Niepewnością standardową wyniku pomiaru  $\bar{x}$ , obliczoną metodą A, jest odchylenie standardowe, które wyznacza się ze wzoru:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Niepewność standardową szacuje się metodą typu B w przypadku, gdy dostępny jest tylko jeden wynik pomiaru, albo gdy wyniki nie wykazują rozrzutu, tzn.  $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ . Można wtedy np. wykorzystać informację o niepewności maksymalnej ( $\Delta_{\text{t}x}$ ), określonej przez producenta przyrządu pomiarowego, jeśli nie ma innych dodatkowych informacji. Wówczas niepewność standardową określa się ze wzoru:

$$S_{\bar{x}} = \frac{\Delta_{\text{t}x}}{\sqrt{3}}$$

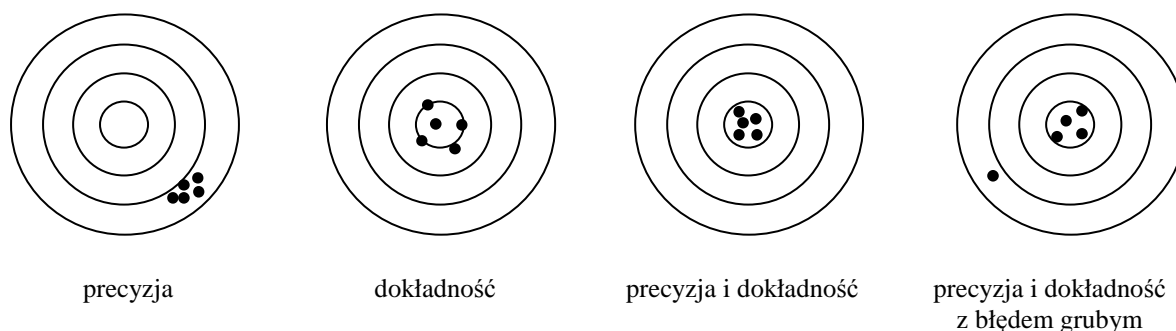
Końcowy wynik pomiaru zapisuje się łącznie z niepewnością i jednostką. Niepewność podaje się z dokładnością do dwóch cyfr znaczących, zaś liczbę cyfr znaczących wyniku dobiera się tak, aby ostatnia cyfra rezultatu i niepewności należały do tego samego rzędu. Dla niepewności standardowych zalecany jest zapis z użyciem nawiasów, np:

$$m = 94,0138(0,0017) \text{ g}$$

W zaprezentowanym przykładzie w nawiasie podano niepewność z dokładnością do dwóch miejsc znaczących (17), a ponieważ po przecinku znajdują się cztery cyfry (0,0017), to wynik pomiaru podano również z dokładnością do czterech miejsc po przecinku (94, 0138).

### Dokładność i precyzja pomiaru

Przy wyznaczaniu błędu pomiaru często stosuje się pojęcia: precyzja i dokładność. Różnicę pomiędzy tymi pojęciami najłatwiej zrozumieć posługując się przykładem tarczy strzelniczej (rys. 1). Precyzja wskazuje na jakość działania przyrządu pomiarowego – wyniki nie są dokładne, ale koncentrują się wokół pewnej wartości (niekoniecznie wokół wartości oczekiwanej). Dokładność pomiaru natomiast wskazuje jak uzyskane wyniki są bliskie wartości oczekiwanej (nie zawsze są precyzyjne). Im mniejsza jest oszacowana niepewność pomiaru, tym większa jest jego dokładność. Najkorzystniej byłoby, aby wyniki były jednocześnie precyzyjne i dokładne.



Rys. 1. Graficzna interpretacja precyzji i dokładności pomiaru

Precyzja pomiarów jest wykorzystywana, szczególnie w normach stosowanych w podstawowych pomiarach właściwości fizycznych substancji, do opisu powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiarów.

Powtarzalność wyników pomiarów to stopień zgodności wyników kolejnych pomiarów tej samej wielkości fizycznej, wykonanych w tych samych warunkach pomiarowych (przez tego samego laboranta).

Odtwarzalność wyników pomiarów to stopień zgodności wyników pomiarów tej samej wielkości fizycznej, wykonanych w zmienionych warunkach pomiarowych. Wyróżnia się odtwarzalność międzylaboratoryjną (wyniki uzyskiwane w różnych laboratoriach) i wewnątrzlaboratoryjną (wyniki uzyskiwane w jednym laboratorium, lecz przez różnych laborantów, za pomocą różnych przyrządów lub w długich odstępach czasu).

#### **4.1.2. Pytania sprawdzające**

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest pomiar?
2. W jaki sposób powinien być realizowany proces pomiarowy?
3. Jak dzieli się metody pomiaru ze względu na sposób uzyskiwania wyniku?
4. Co to są wielkości fizyczne?
5. Jakimi podstawowymi właściwościami fizycznymi charakteryzują się substancje?
6. Jakie jednostki podstawowe zawiera układ SI?
7. W jaki sposób można wyrazić jednostki pochodne układu SI?
8. Ile nanogramów zawiera 1 gram?
9. Co to jest błąd pomiaru?
10. Jakie wyróżnia się kategorie błędów?
11. Jakie mogą być przyczyny powstawania błędów?
12. Co jest źródłem tzw. błędów grubych?
13. Jaki rodzaj błędów najczęściej występuje w serii pomiarów?
14. Co to jest wartość oczekiwana?
15. Co to jest niepewność pomiaru i co jest jej miarą?
16. Jakimi metodami szacuje się niepewność standardową i na czym one polegają?
17. W jaki sposób wyznacza się średnią arytmetyczną wyników pomiarów i odchylenie standardowe?
18. Kiedy i w jaki sposób szacuje się niepewność standardową metodą typu B?
19. Jakie zasady obowiązują przy zapisywaniu wyniku pomiaru?
20. Jaka jest różnica pomiędzy precyzją i dokładnością pomiaru?
21. Co to jest powtarzalność i odtwarzalność wyników pomiarów?
22. Jaka jest różnica pomiędzy odtwarzalnością międzylaboratoryjną i wewnątrzlaboratoryjną?

### 4.1.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Oblicz średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe serii pomiarów określonej wielkości fizycznej, nie obciążonych błędami grubymi. Wyniki obliczeń przedstaw w postaci tabeli. Zapisz końcowy wynik pomiaru łącznie z niepewnością i jednostką. Określ jaką metodą została obliczona niepewność standardowa pomiaru – odpowiedź uzasadnij.

Numer pomiaru	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1			
2			
3			
:			
n			

#### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapisać w zeszycie dane wyjściowe i wzory obliczeniowe,
- 2) obliczyć średnią arytmetyczną wyników pomiarów,
- 3) obliczyć odchylenie standardowe,
- 4) wyniki obliczeń przedstawić w postaci tabeli,
- 5) zapisać końcowy wynik pomiaru łącznie z oszacowaną niepewnością i jednostką,
- 6) określić metodę szacowania niepewności standardowej – odpowiedź uzasadnić,
- 7) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- kalkulator,
- literatura.

#### Ćwiczenie 2

Wśród podanych przez nauczyciela kilkunastu wyników pomiarów, dla których oszacowano niepewność standardową typu A, wskaż te, które zostały zapisane w niewłaściwy sposób. Odpowiedź uzasadnij.

#### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) sprawdzić, czy we wszystkich wynikach podano niepewność pomiaru i jednostkę,
- 2) sprawdzić, czy ostatnie cyfry rezultatu i niepewności pomiaru są tego samego rzędu,
- 3) sprawdzić, czy przy zapisie niepewności pomiaru podano odpowiednią ilość cyfr,
- 4) sprawdzić, czy niepewność standardową podano w nawiasie,
- 5) wskazać nieprawidłowo zapisane wyniki pomiarów – wybór uzasadnić,
- 6) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- literatura.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcia: pomiar i wielkości fizyczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić podstawowe właściwości fizyczne substancji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wymienić i przeliczać podstawowe jednostki układu SI?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zdefiniować pojęcia: błąd, wartość oczekiwana i niepewność pomiaru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wskazać źródła powstawania błędów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) rozróżniać rodzaje błędów, ze względu na przyczynę ich powstawania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) scharakteryzować metody szacowania niepewności standardowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) szacować niepewność pomiaru metodą typu A i B?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) obliczyć średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe serii pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić zasady poprawnego zapisu wyniku pomiaru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) prawidłowo zapisywać końcowy wynik pomiaru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) wskazać różnicę pomiędzy precyzją i dokładnością pomiaru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) zdefiniować pojęcia: powtarzalność i odtwarzalność wyników pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.2. Pomiar temperatury wrzenia, topnienia i krzepnięcia

### 4.2.1. Materiał nauczania

Jedną z podstawowych wielkości fizycznych jest temperatura, będąca miarą stopnia nagrzania ciał. Jednostką temperatury w układzie SI są kelwiny [K], jednak najczęściej używaną w Polsce i wielu innych krajach jednostką są stopnie Celsjusza [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Przelicza się je w następujący sposób:

$$T[\text{K}] = t[{}^{\circ}\text{C}] + 273,15$$

Przykładowo  $0^{\circ}\text{C}=273,15\text{ K}$ ,  $100^{\circ}\text{C}=373,15\text{ K}$ , a tzw. zero bezwzględne  $0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$ .

Punkty zerowania skali Kelwina (skali bezwzględnej) i Celsjusza są różne. Temperatura  $0^{\circ}\text{C}$  odpowiada temperaturze topnienia lodu, zaś  $100^{\circ}\text{C}$  – temperaturze wrzenia wody destylowanej pod normalnym ciśnieniem. W skali bezwzględnej nie ma temperatur ujemnych, najniższą temperaturą jest  $0\text{ K}$ . W praktyce dla odróżnienia obu skal, najczęściej przez  $t$  oznacza się temperaturę w skali Celsjusza, a przez  $T$  – w skali Kelwina.

Do pomiaru temperatury w zakresie do  $600^{\circ}\text{C}$  stosuje się termometry, powyżej  $600^{\circ}\text{C}$  – pirometry. Zakres pomiarowy termometru, a tym samym jego zastosowanie, w znacznym stopniu zależy od zasady jego działania.

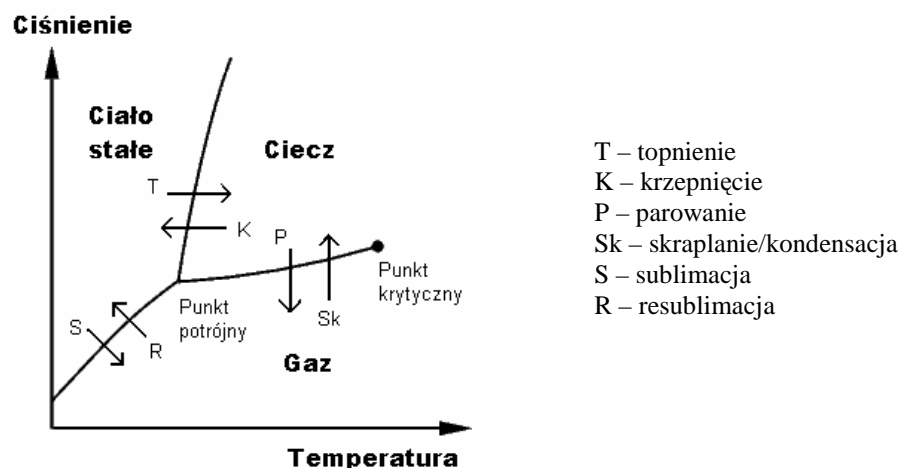
Ze względu na zasadę działania, termometry dzieli się na:

- cieczowe, wykorzystujące zjawisko rozszerzalności cieplnej cieczy, głównie rtęci lub alkoholu (zakres pomiarowy termometru rtęciowego wynosi  $-38\div 356^{\circ}\text{C}$ , a alkoholowego  $-70\div 120^{\circ}\text{C}$ ),
- gazowe, wykorzystujące pomiar parametrów gazu, tj. objętości przy stałym ciśnieniu lub ciśnienia przy stałej objętości,
- oporowe, wykorzystujące zjawisko zmiany oporu elektrycznego przy zmianie temperatury (stosowanym czynnikiem roboczym jest np. platyna, brąz, specjalne stopy),
- parowe – wykorzystujące zależność ciśnienia pary nasyconej od temperatury,
- termopary – wykorzystujące zjawisko termoelektryczne.

Jednym z najdokładniejszych termometrów jest termometr gazowy ze stałą objętością (tzw. wzorcowy termometr), w którym stosuje się hel. W praktyce wykorzystuje się go przede wszystkim do cechowania innych termometrów (m.in. rtęciowych, alkoholowych i termopar), które są łatwiejsze w użytkowaniu, dzięki czemu są powszechnie stosowane.

Termometry laboratoryjne mają różny zakres temperatur, zazwyczaj od  $0$  do  $150^{\circ}\text{C}$ . Najbardziej popularne są szklane termometry rtęciowe lub alkoholowe (ze szlifem lub bagietkowe). Oprócz termometrów szklanych, stosuje się także termometry elektroniczne oparte na termoparach, które zazwyczaj mają bardzo szeroki zakres mierzonej temperatury. Stosuje się je zwykle przy stolikach grzejnych mieszadeł magnetycznych, mikroskopach, termostatach, łaźniach itp. Często pełnią one jednocześnie rolę urządzeń regulujących temperaturę.

Każdy termometr jest wyskalowany, tzn. posiada podziałkę wartości temperatury. Do skalowania temperatury w skali bezwzględnej służy m.in. punkt potrójny wody ( $273,15\text{ K}$ ), przy którym trzy stany skupienia (lód, ciecz i para) znajdują się w równowadze. Punkt ten odgrywa ważną rolę, ponieważ daje się ustalić z dużą dokładnością. Na rys. 2 przedstawiono diagram trójfazowy. Krzywe, przecinające się w punkcie potrójnym na wykresie, dzielą płaszczyznę na trzy obszary występowania fazy: stałej, ciekłej i gazowej. Punkt potrójny określa temperaturę i ciśnienie, w których fazy te mogą współistnieć.



Rys. 2. Diagram trójfazowy [1]

Zmiany stanu skupienia, m.in. wrzenie, skraplanie, topnienie i krzepnięcie, zachodzą w określonych warunkach temperatury i ciśnienia, które są charakterystyczne dla danej substancji:

- |                     |   |
|---------------------|---|
| ciało stałe → ciecz | - topnienie (temperatura topnienia)                             |
| ciecz → ciało stałe | - krzepnięcie (temperatura krzepnięcia = temperatura topnienia) |
| ciecz → gaz         | - wrzenie (temperatura wrzenia)                                 |
| gaz → ciecz         | - skraplanie (temperatura kondensacji = temperatura wrzenia)    |

W zasadzie każda substancja charakteryzuje się dwoma istotnymi temperaturami: temperaturą wrzenia i temperaturą topnienia.

### Temperatura wrzenia

Proces przemiany fazy ciekłej w fazę gazową następuje w temperaturze wrzenia, w której ciśnienie powstającej pary jest równe ciśnieniu otoczenia, skutkiem czego następuje gwałtowne parowanie w całej objętości cieczy (substancja wrze). Wrzenie wymaga dostarczania energii do wrzącego ciała. Procesem odwrotnym do parowania jest skraplanie lub kondensacja pary.

Temperatura wrzenia jest wrażliwa na zmiany ciśnienia atmosferycznego (znacznie bardziej niż np. temperatura topnienia). Może być ona stosowana jako wielkość charakteryzująca substancję chemiczną, ale tylko wtedy, gdy równocześnie podana jest wartość ciśnienia, przy jakim dokonywany był pomiar.

Temperaturę wrzenia substancji najprościej jest wyznaczyć podczas jej destylacji, pod warunkiem że dysponuje się wystarczającą ilością próbki. Destylacja może być również stosowana do rozdzielania składników ciekłych mieszanin o różnych temperaturach wrzenia poprzez odparowanie, a następnie skroplenie. W przypadku mieszanin rozkład temperatur wrzenia poszczególnych składników można również oznaczyć metodą chromatografii gazowej (np. metodą SimDis).

Do bardzo dokładnych pomiarów temperatury wrzenia (do 0,001°C) służy ebulliometr. Dolną część ebulliometru wypełnia się badaną cieczą, która doprowadzana jest do wrzenia. Wytworzona para wyrzuca energicznie ciecz przez rurkę na gniazdo termometryczne. Odczytana temperatura odpowiada temperaturze wrzenia. Wyrzucona z rurki ciecz spływa do naczynia, a para do chłodnicy, gdzie ulega skropleniu. Powstała ciecz spływa przez kroplomierz do naczynia.

## Temperatura topnienia i krzepnięcia

Temperatura topnienia to temperatura, w której substancja przechodzi ze stanu stałego do stanu ciekłego. Termodynamicznie jest to temperatura, w której następuje ustalenie równowagi pomiędzy tymi dwoma stanami. Przy zjawisku topnienia należy pamiętać o odwracalności zjawisk w przyrodzie i łączyć je ze zjawiskiem krzepnięcia, czyli przejścia ze stanu ciekłego w stały (jeżeli ciecz przechodzi w stan krystaliczny, mamy do czynienia z krystalizacją). Oznaczana eksperymentalnie temperatura topnienia może nieznacznie różnić się od temperatury krzepnięcia, co wynika m.in. z wpływu zanieczyszczeń, szybkości schładzania, bądź ogrzewania, problemów z krystalizacją oraz ze zjawisk powierzchniowych i międzyfazowych. Teoretycznie jednak, temperatura topnienia równa jest temperaturze krzepnięcia i w tablicach fizyko-chemicznych jako parametr charakterystyczny dla danej substancji podaje się temperaturę topnienia.

Procesy topnienia prowadzone pod stałym ciśnieniem mają zawsze charakter endotermiczny, co oznacza, że do ich zajścia konieczne jest dostarczenie z zewnątrz określonej porcji energii termicznej. Krzepnięciu natomiast towarzyszy wydzielanie ciepła.

Dla każdego pierwiastka i większości związków chemicznych, przy określonym ciśnieniu, można wyznaczyć jedną, ściśle określoną temperaturę topnienia, która zarazem jest też jej temperaturą krzepnięcia. Pomiary takie wykonuje się na bardzo małych próbkach i przy jak najwolniejszym tempie zmiany temperatury. Niektóre związki chemiczne nie topią się w ogóle, gdyż rozkładają się przed osiągnięciem temperatury topnienia. Najprostszą metodą oznaczania temperatury topnienia (podobnie jak i temperatury wrzenia), jest tzw. metoda próbkiowa.

Temperatura topnienia jest ważnym parametrem identyfikacyjnym substancji. Oznaczenie wartości temperatury topnienia odbywa się poprzez obserwację pod mikroskopem kryształków substancji ogrzewanych na specjalnym stoliku (stolik Boetiusa). W tych warunkach łatwo dostrzec pierwsze objawy topnienia, a także stwierdzić kiedy proces ten się zakończył.

Temperatura topnienia jest cennym parametrem nie tylko do identyfikacji związków organicznych, ale również do określania ich czystości. Temperatura topnienia mieszaniny związków może być nawet o kilkadziesiąt stopni Celsjusza niższa w porównaniu do czystych substancji. Wyraźne obniżenie temperatury topnienia mieszaniny związków ma ogromne znaczenie przy identyfikacji nieznanymi próbek. Jeśli dwie próbki mają identyczną temperaturę topnienia, a ich zmieszanie nie powoduje jej obniżenia, to z całą pewnością zawierają tę samą substancję.



Rys. 3. Automat do wyznaczania temperatury wrzenia i topnienia [20]



Mniej dokładne oznaczanie temperatury topnienia można przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych, ogrzewając w kąpeli olejowej cienką kapilarę szklaną, wypełnioną sproszkowaną substancją. W chwili topnienia zawartość kapilary staje się przezroczysta. Do tego celu stosuje się łatwy w obsłudze aparat Tottoli. Obecnie komercyjnie dostępne są także automaty do wizualnego oznaczania zarówno temperatury topnienia, jak i wrzenia (rys. 3).

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jakich jednostkach podaje się temperaturę?
2. W jaki sposób przelicza się stopnie Celsjusza na kelwiny i odwrotnie?
3. Jaka jest najniższa temperatura w skali bezwzględnej?
4. Jakie przyrządy służą do pomiaru temperatury?
5. Jak klasyfikuje się termometry ze względu na zasadę ich działania?
6. Jakie termometry najczęściej stosuje się w praktyce laboratoryjnej?
7. Co to jest punkt potrójny?
8. Co to jest temperatura wrzenia oraz topnienia i krzepnięcia?
9. Do czego wykorzystywana jest znajomość temperatury topnienia substancji?
10. Która wielkość fizyczna jest bardziej wrażliwa na zmiany ciśnienia atmosferycznego: temperatura wrzenia czy temperatura topnienia?
11. W jaki sposób oznacza się temperaturę wrzenia i topnienia?
12. Jakie przyrządy stosuje się do pomiaru temperatury wrzenia i topnienia substancji?

#### 4.2.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Dokonaj pomiaru temperatury wrzenia dwóch nieznanymi związków organicznych. Zidentyfikuj te związki na podstawie tablic fizycznych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badane ciecze i szkło laboratoryjne,
- 5) umieścić w probówce kilka kropli badanej cieczy,
- 6) zanurzyć w badanej cieczy zatopioną u góry kapilarę,
- 7) zatkać wylot probówki wacikiem,
- 8) przymocować probówkę do termometru i umieścić w łaźni olejowej,
- 9) ogrzewać łaźnię do momentu pojawienia się pęcherzyków powietrza u wylotu z kapilary,
- 10) przerwać ogrzewanie i zanotować temperaturę pojawienia się ostatniego pęcherzyka powietrza – jest to temperatura wrzenia badanej cieczy,
- 11) powtórzyć badanie kilkakrotnie dla każdej badanej cieczy,
- 12) określić dokładność pomiaru,
- 13) odszukać wyznaczone temperatury wrzenia w tablicach fizycznych,
- 14) zidentyfikować badane związki organiczne,
- 15) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 16) dokonać samooceny pracy,
- 17) uporządkować stanowisko pracy,
- 18) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badane ciecze,
- probówki,
- rurki kapilarne,
- pipetki jednorazowe,
- pęseta,
- łaźnia olejowa z grzałką,
- termometr,
- kalkulator,
- zeszyt,
- tablice fizyczne,
- literatura.

## Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru temperatury topnienia nieznannej substancji. Zidentyfikuj tę substancję. Przelicz powszechnie stosowane jednostki miar temperatury na jednostki układu SI.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować aparat, badaną substancję i szkło laboratoryjne,
- 5) umieścić kapilarę z badaną substancją w aparacie do oznaczania temperatury topnienia,
- 6) odczytać temperaturę topnienia,
- 7) zidentyfikować badaną substancję na podstawie tablic fizycznych,
- 8) przygotować mieszaninę (w stosunku wagowym 1:1) badanej próbki oraz związku o najbardziej zbliżonej temperaturze topnienia, odczytanego z tablic fizycznych,
- 9) składniki mieszaniny wymieszać i dokładnie rozetrzeć,
- 10) zmierzyć temperaturę topnienia przygotowanej mieszaniny,
- 11) porównać uzyskane wyniki dla próbki i mieszaniny – sformułować wnioski,
- 12) przedstawić uzyskane wyniki w stopniach Celsjusza i w kelwinach,
- 13) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 14) dokonać samooceny pracy,
- 15) uporządkować stanowisko pracy,
- 16) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana substancja,
- substancja wzorcowa,
- aparat do wyznaczenia temperatury topnienia,
- probówki,
- rurki kapilarne,
- łaźnia olejowa z grzałką,
- bagietka,
- termometr,
- waga laboratoryjna,
- zeszyt,
- tablice fizyczne,
- literatura.

#### 4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) określić jednostki miary temperatury?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) przeliczać powszechnie stosowane jednostki miar temperatury na jednostki układu SI?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) scharakteryzować przyrządy służące do pomiaru temperatury wrzenia i topnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) sklasyfikować termometry ze względu na zasadę ich działania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zdefiniować pojęcie punktu potrójnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zdefiniować pojęcia: temperatura wrzenia, topnienia i krzepnięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić na czym polega zasada pomiaru temperatury wrzenia i topnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) dokonać pomiaru temperatury wrzenia i topnienia substancji w warunkach laboratoryjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) zidentyfikować substancję na podstawie temperatury wrzenia i/lub topnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić dokładność pomiaru temperatury wrzenia i topnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.3. Pomiar gęstości cieczy i ciał stałych

### 4.3.1. Materiał nauczania

Gęstość (masa właściwa) substancji jednorodnej to stosunek jej masy do objętości:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdzie:

$\rho$  – gęstość ( $\text{kg/m}^3$ ),

$m$  – masa substancji (kg),

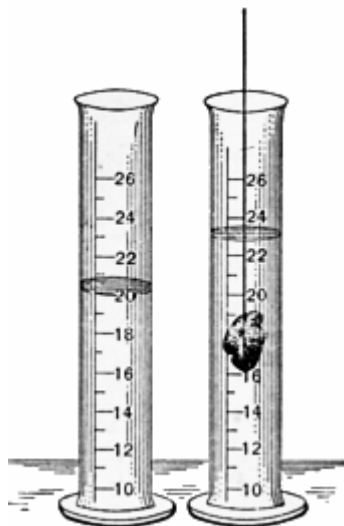
$V$  – objętość substancji ( $\text{m}^3$ ).

Jednostką gęstości w układzie SI jest  $\text{kg/m}^3$ , chociaż zwykle wyrażana jest ona w  $\text{g/cm}^3$  ( $1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).

Gęstość jest cechą charakterystyczną substancji i jest wykorzystywana w wielu dziedzinach do określania właściwości produktów. Zwykle jej wartość maleje wraz ze wzrostem temperatury (jednym z wyjątków jest woda w temperaturze poniżej  $4^\circ\text{C}$ ). Dlatego też, przy podawaniu gęstości substancji istotne jest podawanie temperatury pomiaru.

Znane są różne metody pomiaru gęstości substancji. Najczęściej, w warunkach laboratoryjnych, stosuje się:

- bezpośredni pomiar masy i objętości ciał stałych lub cieczy – objętość cieczy wyznacza się za pomocą cylindra miarowego, natomiast objętość bryły ciała stałego, o nieregularnych kształtach, wyznacza się np. poprzez zanurzenie go w cylindrze z cieczą i wyznaczenie różnicy pomiędzy objętością cieczy w cylindrze po zanurzeniu ciała stałego i przed jego zanurzeniem (rys. 4). Następnie dokonuje się pomiaru masy znanej objętości cieczy lub ciała stałego (w przypadku ciała stałego najpierw dokonuje się pomiaru masy, a później objętości).



Rys. 4. Pomiar objętości ciała stałego za pomocą cylindra [18]

- pomiar gęstości ciał stałych lub cieczy w oparciu o prawo Archimedesusa (wypór hydrostatyczny) – w metodzie tej nie dokonuje się bezpośrednio pomiaru objętości, ale mierzy się siłę wyporu. Pomiaru można dokonać za pomocą wagi hydrostatycznej (waga Mohra) lub można użyć do tego celu szalkowej wagi laboratoryjnej.

Na belce wagi laboratoryjnej zawiesza się za pomocą cienkiego drucika ciało stałe i dokonuje pomiaru jego masy w powietrzu. Następnie zanurza się je w wodzie (zlewka

umieszczona jest na specjalnie skonstruowanej podstawie w taki sposób, aby nie dotykała szalki wagi) i dokonuje pomiaru masy. Gęstość ciała stałego ( $\rho_s$ ) oblicza się ze wzoru:

$$\rho_s = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_w$$

gdzie:

$m_1$  – masa ciała w powietrzu (g),

$m_2$  – masa ciała w wodzie (g),

$\rho_w$  – gęstość wody ( $\rho_w \approx 1 \text{ g/cm}^3$ ).

W przypadku badania gęstości cieczy, bryłkę ciała stałego zważonego uprzednio w powietrzu ( $m_1$ ) i w wodzie ( $m_2$ ), waży się w badanej cieczy ( $m_3$ ). Gęstość tej cieczy wyznacza się ze wzoru:

$$\rho_c = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \rho_w$$

W nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych wag elektronicznych możliwa jest szybka wymiana szalki, w zależności od rodzaju badanej substancji (rys. 5).



**Rys. 5.** Waga do wyznaczania gęstości [17]

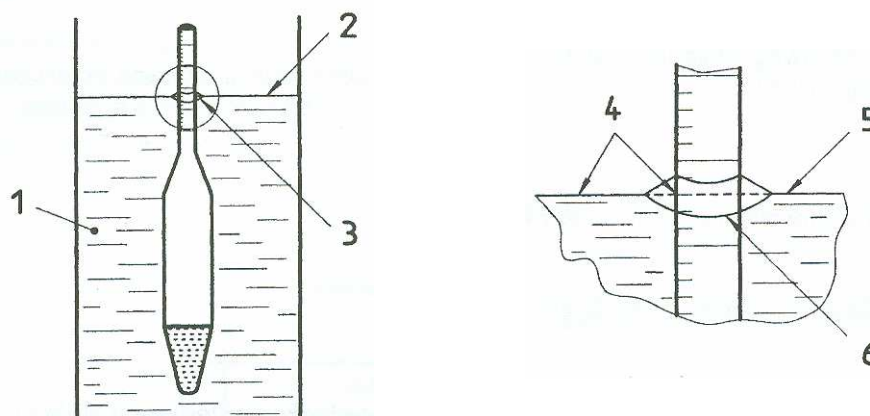
- pomiar gęstości cieczy lub substancji sypkich za pomocą piknometru – wyznaczenie gęstości polega na zważeniu pustego piknometru, piknometru napełnionego badaną substancją oraz piknometru napełnionego wodą w określonej temperaturze. Po odjęciu masy piknometru uzyskuje się masę badanej substancji i masę wody. Stosunek mas substancji i wody daje stosunek ich gęstości.

Piknometr (rys. 6) to naczynie szklane o ściśle określonej objętości, najczęściej zamykane doszlifowanym termometrem, które pozwala na dokładny pomiar masy cieczy lub substancji sypkich. Konstrukcja piknometru zmniejsza do minimum parowanie cieczy, co jest szczególnie istotne przy badaniu cieczy lotnych – posiada rurkę kapilarną, zamykaną kapturkiem, przez którą wypływa nadmiar cieczy.



**Rys. 6.** Piknometry [19]

– bezpośredni pomiar gęstości cieczy za pomocą areometru – polega na umieszczeniu badanej cieczy w cylindrze do pomiarów areometrycznych i zanurzeniu w niej odpowiednio dobranego areometru, tak aby swobodnie pływał (rys. 7). Odczytuje się wskazanie areometru oraz temperaturę pomiaru, a ze znormalizowanych tablic przeliczeniowych – gęstość, odpowiadającą temu wskazaniu w określonej temperaturze. Jeśli jest to konieczne, cylinder do pomiarów areometrycznych wraz z zawartością umieszcza się w łaźni o stałej temperaturze, aby uniknąć nadmiernych wahań temperatury podczas pomiaru.



1- ciecz, 2 – pozioma płaszczyzna powierzchni cieczy, 3 – dolna krawędź menisku, 4 – miejsce odczytu wskazania areometru, 5 – pozioma płaszczyzna powierzchni cieczy, 6 - menisk

**Rys. 7.** Odczyt wskazania areometru zanurzonego w cieczy przezroczystej [15]

Areometr jest urządzeniem służącym do mierzenia gęstości cieczy, w którym wykorzystuje się siłę wyporu, z jaką ciecz lub gaz działa na zanurzone w niej ciało stałe. Istnieje wiele konstrukcji areometrów. W najprostszym wariantcie (tzw. areometr obciążeniowy) jest to pusta rurka szklana, której górna wydłużona część zaopatrzona jest w specjalną skalę, a część dolna wypełniona jest materiałem o dużej gęstości, co pozwala na utrzymanie pozycji pionowej przyrządu, zanurzonego w cieczy. Głębokość, na jaką się zanurza dolna część areometru, wynika z różnicy pomiędzy ciężarem areometru a ciężarem wypartej przez areometr cieczy. Na podziałce areometru odczytuje się wprost gęstość badanej cieczy.

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest gęstość i w jakich jednostkach układu SI się ją wyraża?
2. Jaki parametr jest istotny przy podawaniu gęstości substancji?
3. Jakie metody pomiaru gęstości ciał stałych i cieczy stosuje się najczęściej w warunkach laboratoryjnych?
4. W jaki sposób oblicza się gęstość ciała stałego, wyznaczoną za pomocą wagi hydrostatycznej?
5. Jakie przyrządy służą do pomiaru gęstości cieczy?
6. Jak zbudowany jest areometr?
7. Co to znaczy, że gęstość substancji wynosi  $56 \text{ kg/m}^3$ ?

### 4.3.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Wyznacz gęstość cieczy i regularnej bryły ciała stałego metodą wagową. Porównaj i zinterpretuj uzyskane wyniki. Wyniki pomiarów podaj w  $\text{g/cm}^3$  i  $\text{kg/m}^3$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badaną ciecz, ciało stałe i szkło laboratoryjne,
- 5) zważyć puste naczynie miarowe,
- 6) wlać do zważonego naczynia badaną ciecz,
- 7) zmierzyć masę i objętość badanej cieczy,
- 8) zmierzyć temperaturę badanej cieczy,
- 9) zmierzyć wymiary ciała stałego i obliczyć jego objętość,
- 10) zważyć bryłę ciała stałego,
- 11) zapisać w zeszycie wyniki i wzory obliczeniowe,
- 12) obliczyć gęstość cieczy i ciała stałego w  $\text{g/cm}^3$ ,
- 13) przedstawić uzyskane wyniki w  $\text{kg/m}^3$ ,
- 14) przeprowadzić serię pomiarów,
- 15) wyznaczyć średnią arytmetyczną i niepewność standardową,
- 16) wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w postaci tabeli,
- 17) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 18) dokonać samooceny pracy,
- 19) uporządkować stanowisko pracy,
- 20) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana ciecz i ciało stałe,
- naczynie miarowe,
- waga laboratoryjna,
- suwmiarka,
- termometr,

- kalkulator,
- zeszyt,
- literatura.

## Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru gęstości nieregularnej bryły ciała stałego w oparciu o prawo Archimedesesa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować bryłę ciała stałego i szkło laboratoryjne (w przypadku ciała porowatego, odczekać aż ciecz wypełni pory ciała stałego),
- 5) zmierzyć masę bryły w powietrzu i w wodzie,
- 6) zmierzyć temperaturę wody,
- 7) odczytać gęstość wody w określonej temperaturze z tablic fizycznych,
- 8) zapisać w zeszycie wyniki i wzór obliczeniowy,
- 9) obliczyć gęstość cieczy w jednostkach układu SI,
- 10) wyznaczyć średnią arytmetyczną i niepewność pomiaru,
- 11) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 12) dokonać samooceny pracy,
- 13) uporządkować stanowisko pracy,
- 14) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana bryła ciała stałego,
- woda,
- zlewka,
- termometr,
- waga laboratoryjna,
- kalkulator,
- zeszyt,
- tablice fizyczne,
- literatura.

## Ćwiczenie 3

Przeprowadź laboratoryjne oznaczanie gęstości ciekłego produktu naftowego za pomocą areometrów, zgodnie z normą PN-EN ISO 3675:2004 *Ropa naftowa i ciekłe przetwory naftowe. Laboratoryjne oznaczanie gęstości. Metoda z areometrem.*

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej i normy,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,



- 4) przygotować badaną ciecz i szkło laboratoryjne,
- 5) wlać badaną ciecz do cylindra areometrycznego,
- 6) zanotować temperaturę cieczy,
- 7) zanurzyć odpowiedni areometr w cieczy,
- 8) usunąć z powierzchni cieczy pęcherzyki,
- 9) odczytać wskazanie areometru z odpowiednią dokładnością,
- 10) odczytać ponownie temperaturę badanej próbki,
- 11) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 12) dokonać samooceny pracy,
- 13) uporządkować stanowisko pracy,
- 14) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana ciecz,
- cylinder do pomiarów areometrycznych,
- areometry,
- bagietka,
- bibuła,
- łaźnia o stałej temperaturze,
- termometr,
- norma PN-EN ISO 3675:2004,
- zeszyt,
- literatura.

#### 4.3.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcie gęstości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) scharakteryzować metody pomiaru gęstości cieczy i ciał stałych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) scharakteryzować przyrządy służące do pomiaru gęstości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) dokonać pomiaru gęstości cieczy i ciał stałych różnymi metodami w warunkach laboratoryjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) przeliczać jednostki gęstości w układzie SI?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określać dokładność pomiarów gęstości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) interpretować wyniki pomiarów gęstości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.4. Pomiar lepkości płynów

### 4.4.1. Materiał nauczania

Płynem jest każda substancja, która może dowolnie zmieniać swój kształt w zależności od naczynia, w którym się znajduje, oraz może swobodnie się przemieszczać (przepływać), np. podczas przepompowywania przez rury. Pojęcia płynu nie należy utożsamiać tylko z cieczą. Jest nim także gaz, a nawet taka mieszanina jak zawiesina, czy pasta.

Podstawową, mierzalną cechą płynów jest ich lepkość, czyli miara oporu wewnętrznego jaki stawia płyn, poddawany naprężeniom ścinającym, zmuszającym go do przepływu. Lepkość jest jedną z najważniejszych cech olejów. W dużym stopniu zależy ona od temperatury oraz ciśnienia (im wyższa temperatura, tym niższa lepkość płynu). Dziedziną nauki, zajmującą się badaniami nad lepkością płynów, jest reologia.

Istnieją dwa sposoby określania właściwości reologicznych płynów – poprzez lepkość dynamiczną i lepkość kinematyczną.

Lepkość dynamiczna (bezwzględna) wyraża stosunek naprężeń ścinających do szybkości ścinania:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma}$$

gdzie:

- $\eta$  – lepkość dynamiczna (kg/m·s),
- $\tau$  – naprężenia ścinające (kg/m·s<sup>2</sup>),
- $\gamma$  – szybkość ścinania (s<sup>-1</sup>).

Lepkość dynamiczna jest miarą oporu przepływu lub deformacji płynu. Jednostką lepkości dynamicznej w układzie SI jest: Pa·s (kg/m·s). Często stosowaną jednostką jest również 1 P [poise] = 0,1 Pa·s (poise – czyt. puaz).

Lepkość kinematyczna jest stosunkiem lepkości dynamicznej do gęstości płynu:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

gdzie:

- $\nu$  – lepkość kinematyczna (m<sup>2</sup>/s),
- $\eta$  – lepkość dynamiczna (kg/m·s),
- $\rho$  – gęstość płynu (kg/m<sup>3</sup>).

Lepkość kinematyczna to opór przepływu płynu pod wpływem sił grawitacyjnych. Jednostką lepkości kinematycznej w układzie SI jest m<sup>2</sup>/s. W praktyce stosowana jest również inna jednostka, tzw. stokes 1 St = 1 cm<sup>2</sup>/s = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s.

Pomiary lepkości prowadzi się za pomocą lepkościomierzy (wiskozymetrów) oraz reometrów. Najczęściej stosowane lepkościomierze służą do pomiarów względnych, tj. wyznaczania lepkości badanej substancji względem substancji wzorcowej o znanej lepkości, zwykle wody.

Rozróżnia się lepkościomierze rotacyjne, kapilarne i tzw. lepkościomierze z opadającą kulką.

Lepkościomierze rotacyjne (np. lepkościomierz Brookfield'a) są szeroko stosowane w miernictwie przemysłowym. Miarą lepkości jest wartość siły działającej pomiędzy dwoma współosiowymi cylindrami: cylindrem zewnętrznym i obracającym się względem niego cylindrem wewnętrznym (badany płyn wypełnia szczelinę między cylindrami).

W lepkościomierzach kapilarnych, lepkość wyznacza się na podstawie czasu przepływu określonej ilości płynu przez odpowiednio skalibrowane rurki kapilarne pod działaniem różnicy ciśnień. Lepkość kinematyczną oblicza się wtedy ze wzoru:

$$v = C \cdot t$$

gdzie:

C – stała kalibracji lepkościomierza ( $\text{mm}^2/\text{s}^2$ ),

t – średni czas przepływu płynu (s),

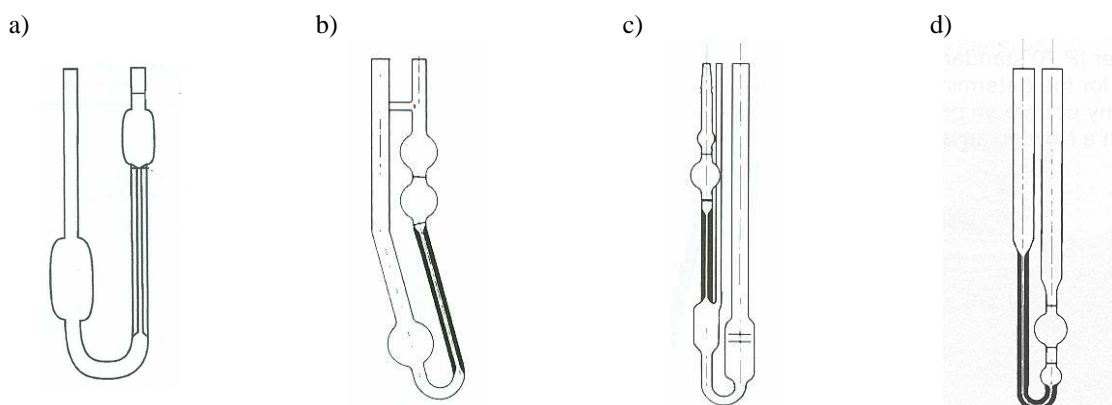
natomiast lepkość dynamiczną ze wzoru:

$$\eta = v \cdot \rho$$

W praktyce stosowane są lepkościomierze kapilarne o różnej konstrukcji (rys. 8), np.:

- lepkościomierz Ostwalda,
- lepkościomierz Cannon-Fenske'go,
- lepkościomierz Ubbelohde'a,
- lepkościomierz typu U-rurka,

które termostatowane są w łaźniach wiskozymetrycznych (rys. 9). U-rurka, w przeciwieństwie do pozostałych wymienionych rodzajów kapilar, przeznaczona jest głównie do badania cieczy nieprzezroczystych (mierzy się czas napływu cieczy).



Rys. 8. Lepkościomierze kapilarne: a) Ostwalda, b) Cannon-Fenske'go, c) Ubbelohde'a, d) U-rurka [22]



Rys. 9. Łaźnia wiskozymetryczna TV 2000 [26]

Do wyznaczania lepkości olejów i smarów stosowany jest także kapilarny lepkościomierz Englera. Składa się on z naczynia pomiarowego, umieszczonego w ogrzewanej łaźni wodnej, oraz odbieralnika. W dnie naczynia pomiarowego znajduje się kapilara z zatyczką, przez którą wypływa badana ciecz. W trakcie pomiaru mierzona jest zarówno temperatura badanej cieczy, jak i kąpieli wodnej.

W lepkościomierzach z opadającą kulką, np. lepkościomierzu Höpplera (rys. 10), miarą lepkości jest prędkość opadania kulki (o znanych wymiarach i gęstości) w badanym płynie, pod wpływem stałej siły zewnętrznej (zwykle siły ciężkości). Lepkościomierz Höpplera składa się z metalowego korpusu i szklanego cylindra, połączonego z termostatem, wewnątrz którego znajduje się kalibrowana szklana rurka pomiarowa.



Rys. 10. Lepkościomierz Höpplera [23]

Do obliczania lepkości dynamicznej, na podstawie pomiarów przeprowadzonych za pomocą lepkościomierza Höpplera, stosuje się uproszczone równanie Stokesa:

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

gdzie:

$\eta$  – lepkość dynamiczna (kg/m·s),

$t$  – średni czas opadania kulki (s),

$\rho_k$  – gęstość kulki (kg/m<sup>3</sup>),

$\rho_c$  – gęstość cieczy (kg/m<sup>3</sup>),

$K$  – stała obejmująca przyspieszenie ziemskie oraz promień i drogę opadania kulki (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>).



Rys. 11. Kubek Forda [22]

Przykładem lepkościomierza, stosowanego głównie do oceny lepkości farb i lakierów w warunkach przemysłowych, jest kubek wypływowy, np. kubek Forda (rys. 11). Pomiar lepkości za pomocą kubka Forda polega na pomiarze czasu swobodnego wypływu określonej objętości cieczy przez dyszę o ściśle określonej średnicy. Dokonuje się go w określonych warunkach temperatury i ciśnienia.

#### 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest płyn?
2. Co to jest lepkość płynu i od czego ona zależy?
3. W jaki sposób wyznacza się lepkość dynamiczną?
4. W jaki sposób wyznacza się lepkość kinematyczną?
5. Jakie jednostki miar lepkości stosuje się w praktyce?
6. Jakich przyrządów używa się do pomiaru lepkości cieczy?
7. Na czym polega zasada działania lepkościomierzy rotacyjnych?
8. Na podstawie jakich parametrów wyznacza się lepkość kinematyczną za pomocą lepkościomierzy kapilarnych?
9. Jakie typy lepkościomierzy kapilarnych stosowane są w praktyce laboratoryjnej?
10. Na czym polega zasada działania lepkościomierza Höpplera?
11. Z jakiej zależności oblicza się lepkość dynamiczną przy pomiarze przeprowadzonym za pomocą lepkościomierza Höpplera?
12. Na czym polega pomiar lepkości cieczy za pomocą kubka Forda?

#### 4.4.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Dokonaj pomiaru lepkości kinematycznej cieczy w określonej temperaturze z zastosowaniem lepkościomierza kapilarnego. Określ dokładność przeprowadzonego pomiaru. Wyniki podaj w  $\text{m}^2/\text{s}$  i w stokesach. Znając gęstość badanej cieczy, oblicz jej lepkość dynamiczną.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badaną ciecz i szkło laboratoryjne,
- 5) dobrać odpowiedni lepkościomierz kapilarny,
- 6) wlać badaną ciecz do lepkościomierza,
- 7) ustabilizować temperaturę łaźni olejowej,
- 8) zassać próbkę cieczy do odpowiedniego poziomu,
- 9) zmierzyć czas swobodnego przepływu cieczy przez oznakowany zbiornik pomiarowy,
- 10) pomiar powtórzyć kilkakrotnie,
- 11) przeprowadzić obliczenia lepkości kinematycznej,
- 12) wyniki pracy przedstawić w postaci tabeli,
- 13) obliczyć średnią arytmetyczną i niepewność standardową,
- 14) wyniki pomiaru przedstawić w  $\text{m}^2/\text{s}$  i w stokesach,

- 15) przeliczyć lepkość kinematyczną na lepkość dynamiczną,
- 16) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 17) dokonać samooceny pracy,
- 18) uporządkować stanowisko pracy,
- 19) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana ciecz,
- termostатовana łaźnia olejowa,
- lepkościomierze kapilarne,
- termometr,
- sekundomierz,
- kalkulator,
- zeszyt,
- literatura.

## Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru lepkości dynamicznej cieczy za pomocą lepkościomierza Höpplera w kilku określonych temperaturach. Sporządź wykres zależności uzyskanych wyników od temperatury.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badaną ciecz i aparat,
- 5) wlać badaną ciecz do rurki pomiarowej i umieścić w niej odpowiednią kulkę,
- 6) ustabilizować temperaturę pomiaru,
- 7) ustawić przyrząd w odpowiednim położeniu,
- 8) zmierzyć czas opadania kulki na odcinku pomiarowym,
- 9) powtórzyć pomiar kilkakrotnie dla każdej zaplanowanej temperatury,
- 10) zapisać w zeszycie wzór obliczeniowy i dane wyjściowe (gęstość kulki i cieczy, stałą  $K$ ),
- 11) przeprowadzić obliczenia,
- 12) wyniki pomiaru przedstawić w postaci tabeli,
- 13) obliczyć średnie arytmetyczne i odchylenia standardowe,
- 14) sporządzić wykres zależności średnich wyników pomiaru lepkości dynamicznej od temperatury pomiaru – zinterpretować wyniki pomiarów,
- 15) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 16) dokonać samooceny pracy,
- 17) uporządkować stanowisko pracy,
- 18) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badana ciecz,
- lepkościomierz Höpplera,
- sekundomierz,
- termometr,

- kalkulator,
- zeszyt,
- literatura.

#### 4.4.4. Sprawdzian postępów

##### Czy potrafisz:

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: płyn i lepkość?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dokonać pomiaru lepkości dynamicznej i kinematycznej cieczy w warunkach laboratoryjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) przeliczać jednostki miar lepkości dynamicznej i kinematycznej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) przeliczać lepkość kinematyczną na dynamiczną i odwrotnie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) scharakteryzować przyrządy stosowane do wyznaczania lepkości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić zasadę działania różnych typów lepkościomierzy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) interpretować wyniki pomiarów lepkości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.5. Pomiar temperatury zapłonu i palenia

### 4.5.1. Materiał nauczania

Zapoczątkowanie spalania materiału palnego przez płomieniowe źródło zapłonu (np. iskra elektryczna, płomień, rozżarzony element) nazywane jest zapłonem. Wielkością charakteryzującą zapłon jest temperatura zapłonu, definiowana jako najniższa temperatura, przy określonym ciśnieniu, w której pary badanego produktu tworzą z powietrzem mieszaninę zapalającą się przy zbliżeniu płomienia (pojawienie się błysku). Pomiar temperatury zapłonu stosuje się do cieczy palnych, głównie produktów naftowych, farb, lakierów i klejów.

Na dokładność oznaczania temperatury zapłonu znaczący wpływ ma wysokość ciśnienia atmosferycznego, przy którym dokonywany był pomiar. Zmiany ciśnienia atmosferycznego w stosunku do wzorcowego (101,3 kPa) pociągają za sobą konieczność wprowadzania poprawek na wskazania termometru.

Stosuje się różne metody pomiaru temperatury zapłonu. Dzielią się one na dwie grupy, w zależności od rodzaju zastosowanego tygla:

w tyglu otwartym:

- metoda Marcussona (zakres pomiarowy: powyżej 50°C),
- metoda Clevelanda (zakres pomiarowy: 80÷400°C),

oraz w tyglu zamkniętym:

- metoda Martensa-Pensky'ego (zakres pomiarowy: 40÷360°C),
- metoda Abela-Pensky'ego (zakres pomiarowy: -30÷70°C),
- metoda TAG (zakres pomiarowy: -30÷110°C).

Istnieje również metoda badania samozapłonu cieczy (zakres pomiarowy: 70÷650°C) oraz tzw. szybka metoda równowagowa, czyli identyfikowanie zapłonu lub braku zapłonu w tyglu zamkniętym w określonej temperaturze.

Wymienione metody opierają się na podobnych zasadach pomiaru. Różnice dotyczą np. szybkości ogrzewania cieczy, czy szczegółów konstrukcyjnych przyrządów pomiarowych.

Zasada przeprowadzenia pomiaru metodą tygla otwartego polega na ogrzewaniu badanego produktu w określonych warunkach, zbliżaniu do tygla płomienia (ze stałą, niską prędkością) w temperaturach bliskich temperaturze zapłonu w odstępach co 1–2°C aż do zapalenia się par produktu.

Przy pomiarze temperatury zapłonu metodą tygla zamkniętego (rys. 12) próbkę umieszcza się w tyglu i przy ciągłym mieszaniu, podgrzewa tak, aby wzrost temperatury był stały. Źródło zapłonu wprowadza się przez otwór w pokrywie tygla w regularnych odstępach, z jednoczesnym przerywaniem mieszania. Najniższa temperatura, w której przyłożenie źródła zapłonu powoduje zapłon par badanej próbki i szerzenie się płomienia ponad powierzchnią cieczy, traktowana jest jako temperatura zapłonu.

Temperatury zapłonu tych samych cieczy, oznaczone w tych samych warunkach, ale różnymi metodami (w tyglu zamkniętym lub otwartym), mogą się różnić pomiędzy sobą. W tyglu zamkniętym wcześniej gromadzą się odpowiednie ilości par niż w tyglu otwartym, stąd mogą wynikać te różnice.





**Rys. 12.** Automat do wyznaczania temperatury zapłonu metodą Pensky-Martensa

Temperatura palenia to najniższa temperatura, w której przystawienie płomienia testowego powoduje zapalenie się próbki i jej płonięcie przez co najmniej 5 s w określonych warunkach prowadzenia pomiaru. Do pomiaru temperatury zapłonu stosuje się metodę tygla otwartego np. Clevelanda (rys. 13).



**Rys. 13.** Pomiar temperatury palenia metodą tygla otwartego Clevelanda [22]

Oznaczanie temperatur zapłonu i palenia przeprowadza się według procedur określonych w odpowiednich normach. Poniżej podano przykłady takich normy serii PN-EN:

- PN-EN ISO 2719:2007 – Oznaczanie temperatury zapłonu. Metoda zamkniętego tygla Pensky'ego-Martensa.
- PN-EN ISO 13736:2002 – Przetwory naftowe i inne ciecze. Oznaczanie temperatury zapłonu metodą tygla zamkniętego według Abela.
- PN-EN ISO 2592:2002 – Przetwory naftowe. Oznaczanie temperatury zapłonu i palenia. Pomiar metodą otwartego tygla Clevelanda.

- PN-EN ISO 1516:2007 – Oznaczanie zapłonu lub braku zapłonu. Metoda równowagowa w tyglu zamkniętym.
- PN-EN ISO 1523:2007 – Oznaczanie temperatury zapłonu. Metoda równowagowa w tyglu zamkniętym.
- PN-EN 14522:2006 – Oznaczanie temperatury samozapłonu gazów i par.

#### 4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest zapłon i temperatura zapłonu?
2. Jaki parametr w sposób znaczący wpływa na dokładność oznaczania temperatury zapłonu?
3. Jakie metody stosuje się do pomiaru temperatury zapłonu?
4. Na czym polega tzw. szybka metoda równowagowa i w jakim tyglu się ją przeprowadza?
5. Czym różni się zasada pomiaru metodą tygla zamkniętego od metody tygla otwartego?
6. Z czego wynikają różnice temperatur zapłonu tej samej cieczy oznaczonych za pomocą tygla zamkniętego i otwartego?
7. Co to jest temperatura palenia i jaką metodą się ją wyznacza?

#### 4.5.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Wykonaj pomiar temperatury zapłonu i palenia oleju za pomocą aparatu Marcussona. Uzyskane wyniki przedstaw w stopniach Celsjusza i w kelwinach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badany olej i aparat Marcussona,
- 5) wlać badany olej do metalowego tygla,
- 6) zmierzyć ciśnienie atmosferyczne,
- 7) zanurzyć termometr w badanym oleju,
- 8) ustawić odpowiednią prędkość ogrzewania,
- 9) zapalić palnik gazowy, po osiągnięciu temperatury niższej o ok. 30°C od przewidywanej,
- 10) przesuwać palnik jednostajnym ruchem nad powierzchnią oleju co 1°C,
- 11) zanotować najniższą temperaturę, w której nastąpiło zapalenie par oleju z nieznacznym wybuchem – temperaturę zapłonu,
- 12) zanotować najniższą temperaturę, w której pary oleju po oddaleniu palnika palą się przez co najmniej 5 s – temperaturę palenia,
- 13) powtórzyć pomiar kilkakrotnie,
- 14) wyniki pomiarów przedstawić w stopniach Celsjusza i w kelwinach,
- 15) uwzględnić poprawki na wskazania termometru (w zależności od ciśnienia atmosferycznego),
- 16) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 17) dokonać samooceny pracy,
- 18) uporządkować stanowisko pracy,
- 19) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badany olej,
- aparat Marcussona,
- palnik gazowy,
- termometr,
- barometr,
- kalkulator,
- zeszyt,
- tablice fizyczne,
- literatura.

#### 4.5.4. Sprawdzian postępów

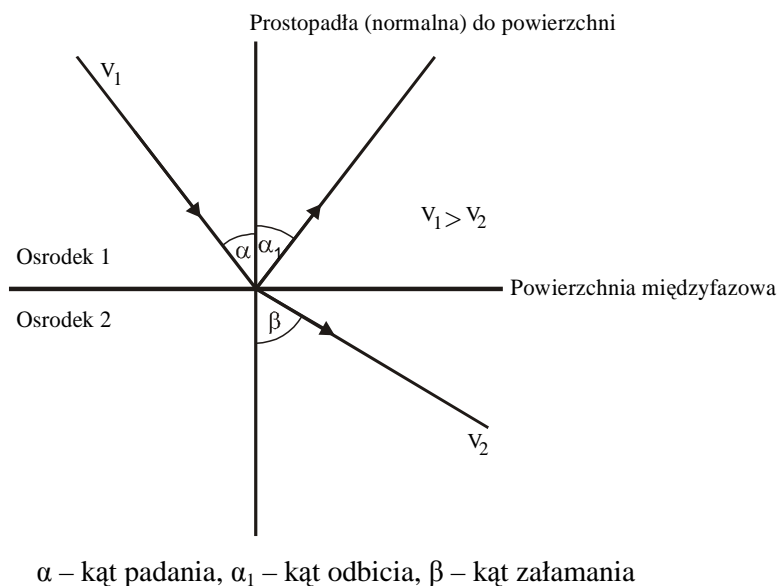
**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: temperatura zapłonu i temperatura palenia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić metody stosowane do pomiaru temperatury zapłonu i palenia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) przeprowadzić pomiar temperatury zapłonu i palenia za pomocą aparatu Marcussona w warunkach laboratoryjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować zasady pomiaru metodą tygla zamkniętego i otwartego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić przyczyny różnic w wartościach temperatury zapłonu tej samej cieczy oznaczonych metodą tygla zamkniętego i otwartego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.6. Pomiar współczynnika załamania światła

### 4.6.1. Materiał nauczania

Zachowanie się promieni świetlnych na granicy dwóch ośrodków opisują prawa odbicia i załamania światła. Światło przechodząc z jednego ośrodka do drugiego, ulega na granicy faz odbiciu, a jeżeli szybkość rozchodzenia się światła w tych ośrodkach jest różna, także załamaniu (refrakcji). Zgodnie ze schematem, przedstawionym na rys. 14, promień pochodzący z ośrodka 1, pada na granicę ośrodków, załamuje się na granicy i podąża jako promień załamany w ośrodku 2.



Rys. 14. Schemat załamania światła

Kąt pomiędzy promieniem padającym a prostopadłą (normalną) do powierzchni międzyfazowej nazywa się kątem padania, kąt pomiędzy promieniem odbitym a normalną do powierzchni – kątem odbicia, natomiast kąt pomiędzy promieniem załamanym a normalną do powierzchni – kątem załamania.

Stosunek prędkości światła w próżni do prędkości światła w badanym ośrodku, nazywany jest bezwzględnym współczynnikiem załamania światła (jest to wielkość bezwymiarowa) i jest wielkością charakterystyczną dla tego ośrodka:

$$n = \frac{c}{v}$$

gdzie:

- $n$  – bezwzględny współczynnik załamania światła,
- $c$  – prędkość światła w próżni (m/s),
- $v$  – prędkość światła w badanym ośrodku (m/s).

Iloraz bezwzględnych współczynników załamania światła dwóch ośrodków nazywany jest względnym współczynnikiem załamania światła:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

gdzie:

- $n$  – względny współczynnik załamania światła ośrodka 2 względem ośrodka 1,
- $n_1$  – bezwzględny współczynnik załamania światła ośrodka 1,
- $n_2$  – bezwzględny współczynnik załamania światła ośrodka 2.

Im większy względny współczynnik załamania światła, tym silniej załamuje się światło. Wyznacza się go z prawa Snelliusa (prawa załamania światła):

$$n_{2,1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

gdzie:

- $\alpha$  – kąt padania (rad),
- $\beta$  – kąt załamania (rad).

Zgodnie z prawem załamania światła, stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest dla danych ośrodków stały i równy stosunkowi prędkości fali w ośrodku 1 do prędkości fali w ośrodku 2 (promienie padający i załamany leżą w jednej płaszczyźnie):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

gdzie:

- $v_1$  – prędkość światła w ośrodku 1 (m/s),
- $v_2$  – prędkość światła w ośrodku 2 (m/s).

Jeżeli promień światła biegnie z ośrodka optycznie gęstszego do optycznie rzadszego, kąt załamania zwiększa się aż do momentu, w którym osiągnie wartość  $90^\circ$ , wtedy odpowiadający mu kąt padania osiąga wartość graniczną ( $\alpha_{gr}$ ) i nosi nazwę kąta granicznego. Dalsze powiększanie kąta padania powoduje, że nie obserwuje się w ogóle promienia załamanego – światło odbija się w całości od powierzchni granicznej. Zjawisko to nosi nazwę całkowitego wewnętrznego odbicia.

Wartość kąta granicznego oblicza się ze wzoru:

$$n_{1,2} = \frac{1}{\sin \alpha_{gr}}$$

W praktyce nie wyznacza się współczynnika załamania światła z pomiaru kąta padania i kąta załamania na granicy próżnia – substancja badana, ani powietrze – substancja badana, lecz bada się układ substancja – pryzmat szklany o znanym współczynniku załamania. Po odpowiednim przeliczeniu, wyznacza się współczynnik załamania światła w stosunku do powietrza.

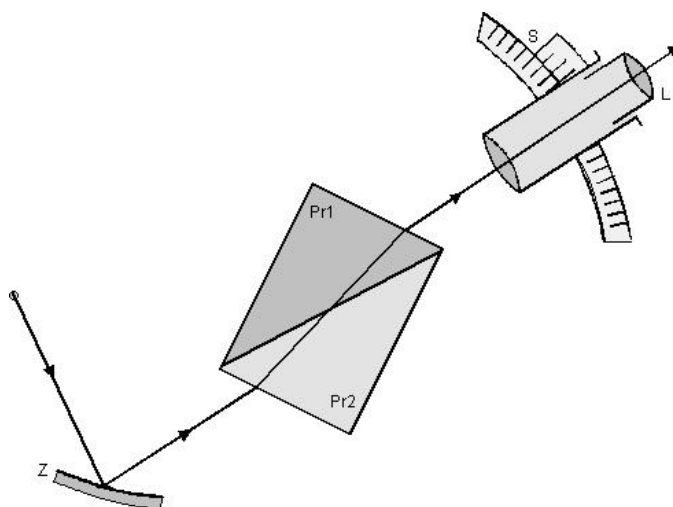
Zjawisko załamania światła na granicy faz zależy od właściwości graniczących ośrodków, a także od długości fali przechodzącego promieniowania i od warunków prowadzenia pomiarów (temperatury i ciśnienia). W przypadku zastosowania światła białego, pomiar nie jest dokładny. W dokładniejszych pomiarach stosowane jest promieniowanie o długości fali, odpowiadającej linii D widma emisyjnego sodu.

Na prędkość rozchodzenia się światła w badanych materiałach znaczący wpływ ma temperatura. Dlatego, jako normalną, przyjęto w pomiarach refraktometrycznych temperaturę  $20^\circ\text{C}$ . Współczynnik załamania światła wyznaczony w takich warunkach oznacza się  $n_D^{20}$ . Przykładowo dla wody:

$$n_D^{15} = 1,33395 \quad n_D^{20} = 1,33300 \quad n_D^{25} = 1,33252$$

Na współczynnik załamania światła wpływa także ciśnienie. W przypadku ciał stałych wpływ ten można pominąć, natomiast w przypadku cieczy i gazów jest on wyraźny.

Do pomiaru współczynnika załamania światła w różnych ośrodkach, zwłaszcza w cieczach, stosuje się refraktometry. Najbardziej popularne refraktometry, stosowane w badaniach laboratoryjnych, to refraktometry Abbego (rys. 15).



Rys. 15. Schemat refraktometru Abbego [8]

Działanie refraktometrów Abbego opiera się na wykorzystaniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia światła. Zasadniczą częścią tego typu refraktometrów jest układ dwóch pryzmatów, pomiędzy które wprowadza się warstwę badanej cieczy. Zasada działania polarymetru polega na obrocie analizatora o taki kąt, o jaki skręciła płaszczyznę polaryzacji substancja optyczna czynna wprowadzona pomiędzy pryzmaty. Promienie świetlne przechodzące przez pryzmat, padają pod różnymi kątami na warstwę cieczy. Część z nich ulega całkowitemu odbiciu na powierzchni cieczy, część zaś przenika przez drugi pryzmat bez zmiany pierwotnego kierunku. Wszystkie promienie, padające pod kątem większym od granicznego, ulegają całkowitemu odbiciu. Pole widzenia lunetki podzielone jest na dwie części: jasną i ciemną. Poprzez ustawienie lunetki tak, aby umieszczony w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu krzyż znalazł się na linii granicznej, można wprost odczytać wartość współczynnika załamania światła ze skali łukowej.

W praktyce laboratoryjnej stosowane są także refraktometry Pulfricha. Są to precyzyjne przyrządy, gwarantujące wysoką dokładność pomiarową. Refraktometry tego typu zawierają wewnętrzne źródła światła (lampę wodorową, helową i rtęciową), wymienne pryzmaty i przystawki oświetleniowe oraz lunetkę obserwacyjną.

Nowoczesne refraktometry posiadają automatyczną kompensację temperatury i mogą być wyposażone w rozbudowaną elektronikę, umożliwiającą pełną automatyzację pomiaru. Pozwalają np. na automatyczne schładzanie lub podgrzewanie próbki do określonej temperatury i automatyczny pomiar współczynnika załamania światła.

Refraktometria znajduje zastosowanie w analizie jakościowej i ilościowej, zwłaszcza w badaniach nad strukturą związków chemicznych. W pomiarach ilościowych wykorzystuje się zależność współczynnika załamania światła od stężenia roztworów i składu mieszanin, m.in. do pomiaru stężenia roztworów odczynników chemicznych lub do kontroli czystości roztworów odczynników. Zastosowanie metody refraktometrii w celach analitycznych ogranicza niekiedy fakt małej specyficzności współczynnika załamania światła, tzn. nie może być ona stosowana do kontroli czystości roztworów odczynników, w których znajdują się zanieczyszczenia o zbliżonych wartościach współczynników załamania światła.

## 4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak brzmi prawo załamania światła?
2. Co to jest kąt padania i załamania?
3. Jakim wzorem wyraża się bezwzględny współczynnik załamania światła?
4. Co to jest względny współczynnik załamania światła?
5. Jak brzmi prawo Snelliusa?
6. Co to jest kąt graniczny i w jaki sposób się go wyznacza?
7. Jakie parametry wpływają na wielkość współczynnika załamania światła?
8. Co to znaczy, że współczynnik załamania światła jest wielkością addytywną?
9. Jakie przyrządy stosuje się do pomiaru współczynnika załamania światła?
10. Na czym polega zasada działania refraktometru Abbego?
11. Jakie praktyczne zastosowania znajduje refraktometria?
12. Co ogranicza zakres zastosowań refraktometrii?

## 4.6.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Wyznacz współczynnik załamania światła kilku ciekłych substancji organicznych w temperaturze  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Wyznacz kąty graniczne dla tych substancji na podstawie średnich współczynników załamania światła.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować badane substancje i refraktometr,
- 5) przemyć pryzmaty refraktometru alkoholem etylowym,
- 6) sprawdzić dokładność przyrządu za pomocą wody destylowanej,
- 7) ustabilizować temperaturę pomiaru,
- 8) nanieść za pomocą pipety kilka kropli substancji na dolny pryzmat,
- 9) zacisnąć pryzmaty refraktometru,
- 10) zapewnić odpowiednie oświetlenie pola obserwacyjnego,
- 11) ustawić okular tak, aby zobaczyć ostry obraz krzyża i wyraźną linię rozgraniczającą półkola jasne i ciemne,
- 12) ustawić linię graniczną na środku skrzyżowanych linii,
- 13) odczytać wskazania przyrządu,
- 14) pomiary przeprowadzić w analogiczny sposób kilkakrotnie dla wszystkich badanych substancji w temperaturze  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,
- 15) obliczyć kąty graniczne dla badanych substancji,
- 16) wyniki pomiarów zestawić w tabeli,
- 17) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 18) dokonać samooceny pracy,
- 19) uporządkować stanowisko pracy,
- 20) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Substancja	Współczynnik załamania światła	Średnia wartość współczynnika załamania światła	Kąt graniczny

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- badane substancje,
- refraktometr Abbego,
- termostat,
- źródło światła,
- woda destylowana,
- alkohol etylowy,
- bibuła,
- pipeta,
- termometr,
- kalkulator,
- zeszyt,
- literatura.

## Ćwiczenie 2

Wyznacz stężenie roztworu chlorku sodu na podstawie zmierzonego współczynnika załamania światła.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować kilka roztworów chlorku sodu o znanym stężeniu,
- 5) przygotować badany roztwór i refraktometr,
- 6) wyznaczyć współczynnik załamania światła dla wody destylowanej i kilku roztworów chlorku sodu o znanym stężeniu,
- 7) wyznaczyć współczynnik załamania światła dla badanego roztworu (jak w ćwiczeniu 1),
- 8) pomiary przeprowadzić w analogiczny sposób dla wszystkich badanych roztworów w temperaturze  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,
- 9) sporządzić wykres zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu (krzywą wzorcową) za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel – zadeklarować regresję liniową,
- 10) wyznaczyć stężenie badanego roztworu z równania prostej,
- 11) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 12) dokonać samooceny pracy,
- 13) uporządkować stanowisko pracy,
- 14) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.



Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- chlorek sodu,
- refraktometr Abbego,
- termostat,
- źródło światła,
- woda destylowana,
- alkohol etylowy,
- bibuła,
- pipeta,
- termometr,
- kolbki miarowe,
- naczynka wagowe,
- lejek,
- waga laboratoryjna,
- arkusz kalkulacyjny Excel,
- zeszyt,
- literatura.

#### 4.6.4. Sprawdzenie postępów

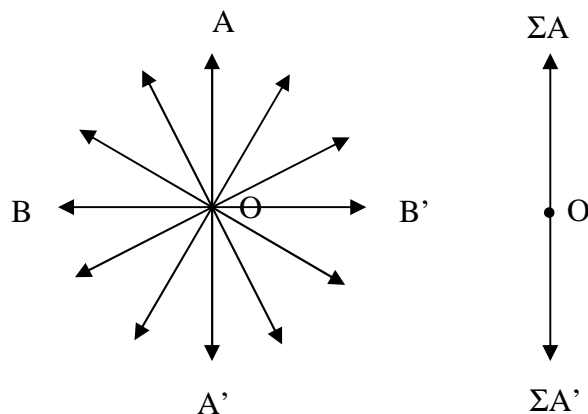
**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: współczynnik załamania światła i kąt graniczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) podać prawo załamania światła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić parametry wpływające na wielkość współczynnika załamania światła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić, na czym polega addytywność współczynnika załamania światła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) scharakteryzować przyrządy służące do pomiaru współczynnika załamania światła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) opisać zasadę działania refraktometru Abbego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wskazać praktyczne zastosowania i ograniczenia metody refraktometrii?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyznaczyć współczynnik załamania światła w warunkach laboratoryjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) obliczyć kąt graniczny na podstawie współczynnika załamania światła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyznaczyć stężenie roztworu o znanym składzie jakościowym na podstawie współczynnika załamania światła (z krzywej kalibracyjnej)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.7. Pomiar kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła

### 4.7.1. Materiał nauczania

Wiązka światła składa się z fal elektromagnetycznych, które drgają we wszystkich możliwych płaszczyznach w stosunku do osi tej wiązki. Przekrój takiej wiązki przedstawiono poglądowo na rys. 16, na którym kierunek padania wiązki jest prostopadły do płaszczyzny rysunku.



Rys. 16. Uproszczony schemat polaryzacji światła [8]

Istnieją materiały, tzw. polaryzatory, które z padającego na nie promieniowania przepuszczają tylko promieniowanie, którego drgania zachodzą w pewnej określonej płaszczyźnie. Jeżeli jest nią płaszczyzna równoległa do drgań (na rys. 16 – AOA'), a wiązka trafia na polaryzator, to drgania prostopadłe do tej płaszczyzny (na rys. 16 – BOB') zostają całkowicie zatrzymane. W rezultacie przez polaryzator przechodzi suma drgań składowych, zgodnych z płaszczyzną polaryzacji ( $\Sigma AOA'$ ). Uzyskuje się w ten sposób wiązkę promieniowania spolaryzowanego. Jeżeli na drodze tej wiązki ustawi się drugi polaryzator, tzw. analizator, i jego płaszczyzna polaryzacji będzie zgodna z płaszczyzną pierwszego, to wiązka promieniowania przejdzie przez analizator. Jeśli natomiast obróci się go o  $90^\circ$  i skrzyżuje płaszczyzny polaryzacji, to zostanie ona całkowicie zatrzymana.

Opisane zjawisko nazywane jest skręcaniem płaszczyzny polaryzacji światła. Istnieją substancje chemiczne, które posiadają zdolność skręcania płaszczyzny polaryzacji światła – nazywa się je optycznie czynnymi. Do tego typu substancji należą związki, zawierające w cząsteczce asymetryczny atom węgla (np. sacharoza, glukoza, fruktoza, laktoza). Czynność optyczna uwarunkowana jest:

- typem budowy przestrzennej kryształu danej substancji,
- specjalną budową przestrzenną cząsteczki substancji.

Jeśli substancję optycznie czynną umieści się pomiędzy skrzyżowanym polaryzatorem i analizatorem, to układ taki przestaje całkowicie zatrzymywać wiązkę promieniowania. Natężenie promieniowania wychodzącego z analizatora jest tym większe, im większą zdolność skręcania płaszczyzny polaryzacji ma substancja. Aby uzyskać ponownie całkowite zaciemnienie, należy dokonać obrotu analizatora o kąt, o który skręca płaszczyznę polaryzacji dana substancja. Kąt ten, zmierzony w odpowiednich warunkach (temperatura ma wpływ na skręcalność), jest wielkością charakterystyczną dla substancji.

Gdy pomiar kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji dokonywany jest w temp.  $20^\circ\text{C}$  dla światła monochromatycznego (linia D lampy sodowej), to uzyskuje się wielkość charakteryzującą daną substancję, tzw. skręcalność właściwą:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot \rho}$$

gdzie:

- $\alpha$  – kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez badaną substancję [rad],
- $l$  – grubość warstwy substancji, przez którą przechodzi światło spolaryzowane [cm<sup>3</sup>],
- $\rho$  – gęstość substancji [g/cm<sup>3</sup>].

Skręcalność właściwa jest indywidualną cechą substancji i wyznaczenie jej pomaga w identyfikacji substancji oraz jest podstawą oznaczenia stężenia substancji w roztworze:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

gdzie:

- $c$  – stężenie substancji w roztworze (g/cm<sup>3</sup>).

Skręcalnością właściwą nazywa się kąt, o jaki zostałyby skrócone płaszczyzna polaryzacji, gdyby spolaryzowana wiązka światła sodowego (linii D) przeszła przez roztwór związku optycznie czynnego o określonym stężeniu i grubości warstwy.

Metoda określania stężenia roztworów substancji optycznie czynnych w nieaktywnych optycznie rozpuszczalnikach, na podstawie pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji, nazywana jest polarymetrią. Stanowi ona podstawę kontroli analitycznej przemysłu cukrowniczego ze względu na zdolność skręcania płaszczyzny polaryzacji przez sacharozę. Pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dokonuje się za pomocą przyrządów pomiarowych, zwanych polarymetrami (rys. 17). Składają się one z monochromatycznego źródła światła, dwóch soczewek (polaryzatora i analizatora) oraz rurki polarymetrycznej, wypełnionej analizowanym roztworem, która znajduje się pomiędzy nimi.



**Rys. 17.** Polarymetr półautomatyczny o wysokiej dokładności [21]

Wiązka promieniowania monochromatycznego (najczęściej światło lampy sodowej) przechodzi przez polaryzator (ulega polaryzacji), następnie przez rurkę z badanym roztworem (zachodzi skręcenie płaszczyzny polaryzacji) i trafia do analizatora. Wskutek skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła, przechodzącego przez roztwór, pole widzenia rozjaśnia się. Obracając analizator znajduje się takie jego położenie, przy którym całe pole widoczne

w okularze jest jednakowo zaciemnione (oznacza to, że płaszczyzny polaryzacji światła przechodzącego przez polaryzator i analizator są wzajemnie prostopadłe). Odczytany kąt jest kątem skręcenia płaszczyzny przez warstwę roztworu. Znając wartość tego kąta oraz grubość warstwy roztworu, oblicza się stężenie oznaczanej substancji ze wzoru:

$$c = \frac{\alpha}{[\alpha]_D^{20} \cdot l}$$

Automatyczne polarymetry cyfrowe sprowadzają pomiar do kilku prostych etapów: włożenia próbki, naciśnięcia przycisku i odczytania wartości na wyświetlaczu. Są one dużo łatwiejsze w obsłudze od polarymetrów tradycyjnych i pozwalają na szybsze przeprowadzanie oznaczeń. Dzięki temu, znalazły szerokie zastosowanie w laboratoriach chemicznych oraz w przemyśle cukrowniczym, farmaceutycznym, kosmetycznym i rolno-spożywczym.

Produkuje się także przyrządy pomiarowe, zwane sacharymetrami, które po napełnieniu znormalizowanej rurki próbką, podają od razu zawartość sacharozy lub innych podobnych cukrów w tej próbce (np. w cukrze, soku buraczanym). Ich zaletą, poza możliwością bezpośredniego odczytu stężenia próbki, jest możliwość zastosowania światła białego.

#### 4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest polaryzator?
2. W jaki sposób uzyskuje się wiązkę promieniowania spolaryzowanego?
3. Na czym polega zjawisko skręcania płaszczyzny polaryzacji światła?
4. Na czy polega czynność optyczna substancji i jakie związki chemiczne ją wykazują?
5. Co to jest skręcalność właściwa i z jakiego wzoru się ją wyznacza?
6. Co to jest polarymetria?
7. Jak są zbudowane polarymetry i na czym polega zasada ich działania?
8. Do czego służą sacharymetry?

#### 4.7.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Określ zawartość sacharozy w roztworze za pomocą polarymetru.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zorganizować stanowisko pracy,
- 2) skorzystać z instrukcji stanowiskowej,
- 3) zaplanować przebieg ćwiczenia – plan zapisać w zeszycie,
- 4) przygotować refraktometr i badany roztwór sacharozy o nieznanym stężeniu,
- 5) przygotować kilka roztworów wzorcowych sacharozy o znanym stężeniu,
- 6) napełnić rurkę polarymetryczną wodą destylowaną,
- 7) odczytać wartość kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła ( $\alpha$ ),
- 8) napełnić rurkę roztworem wzorcowym i odczytać kąt  $\alpha$ ,
- 9) dla każdego roztworu wzorcowego i badanego dokonać kilkakrotnie pomiarów, po uprzednim rozregulowaniu układu,
- 10) obliczyć średnie wartości kąta  $\alpha$ ,

- 11) sporządzić wykres zależności kąta  $\alpha$  od stężenia roztworu (krzywą wzorcową) za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel – zadeklarować regresję liniową,
- 12) wyznaczyć stężenie badanego roztworu z równania prostej,
- 13) przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 14) dokonać samooceny pracy,
- 15) uporządkować stanowisko pracy,
- 16) sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja stanowiskowa,
- polarymetr,
- badany roztwór,
- sacharoza,
- woda destylowana,
- kolbki miarowe,
- naczynka wagowe,
- lejek,
- waga laboratoryjna,
- komputer,
- arkusz kalkulacyjny Excel,
- zeszyt,
- literatura.

#### 4.7.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: polaryzator i analizator?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) omówić sposób powstawania wiązki promieniowania spolaryzowanego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać przykłady związków optycznie czynnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) obliczyć skręcalność właściwą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) obliczyć stężenie roztworu na podstawie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji i skręcalności właściwej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zdefiniować pojęcia: polarymetria i polarymetr?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) omówić budowę i zasadę działania polarymetru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) oznaczyć w warunkach laboratoryjnych zawartość sacharozy w roztworze za pomocą polarymetru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ**

### **INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ**

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi.
5. Test zawiera 20 zadań. Do każdego zadania dołączone są 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa.
6. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
7. Niektóre zadania wymagają stosunkowo prostych obliczeń, które powinieneś wykonać przed wskazaniem poprawnego wyniku. Możesz skorzystać z kalkulatora.
8. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
9. Jeśli udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
10. Na rozwiązanie testu masz 45 minut.

Powodzenia!

## ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. W pomiarze pośrednim wynik
  - a) odczytuje się bezpośrednio ze wskazań przyrządu pomiarowego.
  - b) oblicza się na podstawie wartości pośrednich.
  - c) odnosi się do wielkości wzorcowej.
  - d) odnosi się do tej samej wielkości uzyskanej za pomocą innego przyrządu.
2. Jednostkami podstawowymi układu SI są
  - a) metr, stopień Celsjusza, mol, kandela.
  - b) wat, kilogram, amper, metr.
  - c) kelwin, kilogram, sekunda, wat.
  - d) kandela, sekunda, kelwin, mol.
3. Po przeliczeniu, 250  $\mu\text{m}$  wynosi
  - a) 0,0025 m.
  - b) 0,0025 cm.
  - c) 0,025 m.
  - d) 0,025 cm.
4. Najbardziej prawdopodobną przyczyną wystąpienia błędu nadmiernego w serii pomiarów jest
  - a) pomyłka w obliczeniach.
  - b) niewłaściwie skalibrowany przyrząd pomiarowy.
  - c) nieznaczne wahanie temperatury w otoczeniu przyrządu pomiarowego.
  - d) nieznaczne wahanie ciśnienia w otoczeniu przyrządu pomiarowego.
5. W przypadku, gdy dostępny jest tylko jeden wynik pomiaru
  - a) nie można oszacować niepewności standardowej.
  - b) można oszacować niepewność standardową metodą typu A.
  - c) można oszacować niepewność standardową metodą typu B.
  - d) można oszacować niepewność standardową metodą typu A i typu B.
6. Odchylenie standardowe serii pomiarów: 10 s, 12 s, 11 s, 10 s, 11 s wynosi ok.
  - a) 0,29.
  - b) 0,33.
  - c) 0,37.
  - d) 0,41.
7. Przykładem prawidłowego zapisu masy substancji, zmierzonej w serii pomiarów, jest
  - a) 100,0516(0,0043) g.
  - b) 100,0516 g.
  - c) 100,051(0,0043) g.
  - d) 100,05165(0,00431) g.
8. Najniższą temperaturą w skali bezwzględnej jest
  - a) 0°C.
  - b) 0 K.
  - c) -100°C.
  - d) -100 K.

9. W praktyce do cechowania innych termometrów najczęściej stosuje się
- termometr gazowy.
  - termometr rtęciowy.
  - termometr alkoholowy.
  - termoparę.
10. Procesem odwrotnym do parowania jest
- topnienie.
  - krzepnięcie.
  - skraplanie.
  - resublimacja.
11. Temperatura 273,15 K odpowiada temperaturze
- topnienia lodu.
  - parowania wody.
  - wrzenia wody.
  - skraplania pary wodnej.
12. Jednostką gęstości w układzie SI jest
- $\text{cm}^2/\text{g}$ .
  - $\text{cm}^3/\text{g}$ .
  - $\text{kg}/\text{m}^2$ .
  - $\text{kg}/\text{m}^3$ .
13. Jeśli masa ciała stałego w powietrzu wynosi 12 g, a w wodzie 4 g, to jego gęstość (przy założeniu, że gęstość wody wynosi  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) wynosi
- $0,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
  - $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
  - $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
  - $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
14. Do lepkościomierzy rotacyjnych zalicza się
- lepkościomierz Brookfielda.
  - lepkościomierz Ostwalda.
  - lepkościomierz Ubbelohde'a.
  - lepkościomierz Cannon-Fenske'go.
15. Lepkość kinematyczna płynu o gęstości  $13 \text{ g}/\text{cm}^3$  i lepkości dynamicznej  $3,9 \text{ kg}/\text{m}\cdot\text{s}$  wynosi
- 0,03 St.
  - 0,3 St.
  - 3 St.
  - 3,33 St.
16. Spośród przedstawionych cieczy: A ( $\nu = 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$ ), B ( $\nu = 2,5 \text{ St}$ ), C ( $\nu = 250 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) i D ( $\nu = 2500 \text{ cSt}$ ), największą lepkością kinematyczną w tych samych warunkach termicznych charakteryzuje się
- ciecz D.
  - ciecz C.
  - ciecz B.
  - ciecz A.



17. Substancję o temperaturze zapłonu ok.  $15^{\circ}\text{C}$  można badać za pomocą tygla
- Clevelanda.
  - Marcussona.
  - Martena-Pensky'ego.
  - Abela-Pensky'ego.
18. Do pomiaru współczynnika załamania światła stosuje się
- reometry.
  - refraktometry.
  - rotametry.
  - areometry.
19. Gdy promień światła biegnie z ośrodka optycznie gęstszego do optycznie rzadszego, to kątem granicznym jest
- kąt załamania, któremu odpowiada kąt padania równy  $90^{\circ}$ .
  - kąt padania, któremu odpowiada kąt załamania równy  $90^{\circ}$ .
  - kąt odbicia, któremu odpowiada kąt padania równy  $90^{\circ}$ .
  - kąt padania, któremu odpowiada kąt odbicia równy  $90^{\circ}$ .
20. W rurce polarymetrycznej, napełnionej roztworem substancji optycznie czynnej zachodzi
- skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła.
  - polaryzacja światła.
  - odbicie światła.
  - załamanie światła.

## KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

### Badanie właściwości fizycznych substancji

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
<b>Razem:</b>					

## 6. LITERATURA

1. Atkins P.W.: Chemia fizyczna. PWN, Warszawa 2002
2. Buchnowski H., Ufnalski W.: Gazy, ciecze, płyny. WNT, Warszawa 1994
3. Buchnowski H., Ufnalski W.: Podstawy termodynamiki. WNT, Warszawa 1994
4. Buchnowski H., Ufnalski W.: Roztwory. WNT, Warszawa 1995
5. Karpiński W.: Chemia fizyczna dla techników. WSiP, Warszawa 1994
6. Klepaczek-Filipiak B., Jakubiak Z., Wulkiewicz U.: Badania chemiczne. Technika pracy laboratoryjnej. WSiP, Warszawa 1993
7. Klepaczek-Filipiak B., Jakubiak Z., Wulkiewicz U.: Badania chemiczne. Pomiary wielkości fizycznych substancji. WSiP, Warszawa 1999
8. Minczewski J., Marczenko Z.: Chemia analityczna. WNT, Warszawa 2004
9. Modzelewski M., Woliński J.: Pracownia chemiczna. Technika laboratoryjna. WSiP, Warszawa 1999
10. Nędzyński L.: Ćwiczenia z chemii fizycznej dla techników chemicznych. WSiP, Warszawa 1990
11. Szydłowski H.: Niepewności w pomiarach. Międzynarodowe standardy w praktyce. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2001
12. Taylor J.R.: Wstęp do analizy błęd pomiarowego. PWN, Warszawa 1995
13. Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik GUM, 1999

### Normy

14. PN-EN ISO 3838:2005 – Ropa naftowa i ciekłe lub stałe przetwory naftowe. Oznaczanie gęstości lub gęstości względnej – Metody z użyciem piknometru z korkiem kapilarnym i piknometru dwukapilarnego z podziałką.
15. PN-EN ISO 3675:2004 – Ropa naftowa i ciekłe przetwory naftowe. Laboratoryjne oznaczanie gęstości. Metoda z areometrem.
16. PN-EN ISO 3104:2004 – Przetwory naftowe. Ciecze przezroczyste i nieprzezroczyste. Oznaczanie lepkości kinematycznej i obliczanie lepkości dynamicznej.

### Strony internetowe

17. <http://pl.mt.com>
18. <http://pl.wikipedia.org>
19. <http://www.brand.de>
20. <http://www.donserv.com.pl>
21. <http://www.e-laboratoria.pl>
22. <http://www.petrotest.com>
23. <http://www.rhl.poznan.pl>
24. <http://www.tamson.com>