



**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA**



Wydział Inżynierii Zarządzania  
Politechniki Białostockiej

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

*Podstawy techniki i technologii*

Kod przedmiotu: IS02123

**Ćwiczenie 3**

**WYZNACZANIE GĘSTOSCI SYPKICH CIAŁ  
STAŁYCH**

**Autorzy:**

**dr hab. prof. PB Andrzej Wasiak  
dr inż. Olga Orynych**

## Podstawy teoretyczne

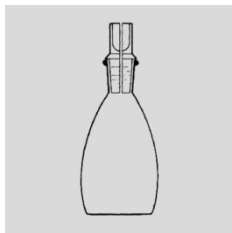
**Gęstość** (masa właściwa) jest jedną z podstawowych charakterystyk substancji. Określa się ją jako stosunek masy do objętości ciała.

**Gęstość**  $\rho$  [kg/dm<sup>3</sup>] wyraża się więc wzorem:

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

gdzie:  $m$  oznacza masę próbki [kg], zaś  $V$  objętość próbki [dm<sup>3</sup>].

Gęstość jest istotną, chociaż nie jednoznaczną, cechą charakteryzującą substancję. Jej znajomość, jako jednej z cech, pozwala na identyfikację substancji, na określenie stężenia składników mieszaniny, a także jest niezbędna do oceny np. zapotrzebowania na środki transportu, czy też oceny przydatności materiału do określonego zastosowania.



Wyznaczenie gęstości sprowadza się więc albo do oddzielnych pomiarów masy i objętości próbki, albo do bezpośredniego pomiaru gęstości (np. kolumna z gradientem gęstości).

Metody wyznaczania gęstości nieco różnią się w zależności od stanu skupienia próbki.

### Rys. 1. Piknometr

Źródło: <http://www.equimed.pl/>

## Wyznaczanie gęstości ciał stałych

Gęstość brył foremnych można łatwo określić korzystając z definicji na podstawie bezpośredniego pomiaru ich masy oraz wymiarów, na podstawie których wylicza się objętość, a następnie gęstość próbki. W przypadku brył nieforemnych lub próbek rozdrobnionych problemem jest wyznaczenie objętości stosuje się wówczas metody pośrednie<sup>1</sup>:

- wagę hydrostatyczną,
- kolumnę z gradientem gęstości,

---

<sup>1</sup> Poszczególne metody będą szczegółowo omówione na wykładzie

- badanie zachowania materiału zanurzanego w różnych cieczach o znanej (różnej) gęstości. (praktycznie w granicach od 2,6 g/cm<sup>3</sup> do 3,6 g/cm<sup>3</sup>),
- metodę flotacyjną,
- metodę piknometryczną.

### **Gęstość pozorna materiału - gęstość nasypowa**

Jest wielkością charakteryzującą stosunek sumarycznej masy ziaren, materiału ziarnistego (piasek, pył, ziarna zbóż, itp.) lub porowatego w stosunku do zajmowanej przez nią objętości. Objętość ta zależy od kształtu, rozmiarów, zróżnicowania rozmiarów, a także stanu upakowania ziaren. Gęstość nasypowa jest mniejsza od gęstości pojedynczego ziarna, gdyż pomiędzy poszczególnymi ziarnami znajdują się wolne przestrzenie wypełnione powietrzem.

#### **A) Oznaczanie gęstości nasypowej**

W celu oznaczenia gęstości nasypowej badany materiał wsypać luźno do szklanego cylindra o znanej masie i pojemności 10 cm<sup>3</sup> i całość zważyć. Wyznaczyć: objętość materiału w szklanym cylindrze  $V_1$  [cm<sup>3</sup>], masę materiału  $m$  [g]. Gęstość nasypową materiału obliczyć ze wzoru:

$$p_n = m/V_1$$

Gęstość nasypowa z usadem - jest to stosunek masy materiału do jego objętości po utrząsaniu. Aby ją wyznaczyć zastosować cylinder z poprzedniego oznaczenia – poddać go 50 wstrząsom. Po zakończeniu wstrząsania odczytać na podziałce cylindra objętość materiału po badaniu. Podczas badania oznaczyć:

- objętość granulatu po utrząsaniu w cylindrze szklanym  $V_2$  [cm<sup>3</sup>],
- masę materiału  $m$  [g].

Gęstość nasypową z usadem obliczyć ze wzoru:

$$pn_u = m/V_2$$

## B) Wyznaczanie gęstości rzeczywistej materiału ziarnistego za pomocą piknometru

1. Jeżeli piknometr nie został przygotowany wcześniej, należy go przemyć cieczą piknometryczną i wysuszyć.
2. Zważyć piknometr wraz z korkiem za pomocą wagi laboratoryjnej z dokładnością co najmniej 0,01 [g].
3. Wsypać do piknometru badaną próbkę w takiej ilości, aby jej warstwa zajęła około 1/3 pojemności kolby pomiarowej; starannie oczyścić szyjkę i zewnętrzne ścianki piknometru z pyłu.
4. Zważyć piknometr z próbką i korkiem.
5. Zalać ostrożnie próbkę w piknometrze cieczą piknometryczną, uważając aby nie zaburzyć warstwy próbki; swobodna powierzchnia cieczy powinna sięgać  $1,0 \div 1,5$  [cm] ponad powierzchnię próbki, a jednocześnie co najmniej 1 [cm] poniżej szyjki naczynia.
6. Odczekać chwilę, ewentualnie delikatnie wstrząsając, do uwolnienia pęcherzyków powietrza.
7. Dolać cieczy piknometrycznej na wysokość do podstawy szyjki piknometru, włożyć powoli korek wylewając nadmiar cieczy piknometrycznej (kanalik wydrążony w korku musi być całkowicie wypełniony), dokładnie osuszyć piknometr i wyznaczyć jego masę wraz z cieczą i próbką; (uwaga: jeżeli próbka w piknometrze została wzburzona, to wraz z nadmiarem cieczy z naczynia zostanie usunięta część próbki; aby tego uniknąć, należy odczekać aż próbka ulegnie sedymentacji – opadnie na dno).
8. Usunąć ciecz i pył (wylać do butelki ze zlewkami), przepłukać dokładnie piknometr wodą.
9. Obliczyć gęstość na podstawie wzoru:

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \rho_{rh},$$

gdzie:

$m_e$  – masa próbki sproszkowanej i wysuszonej do stałej masy,

$m_1$  – masa piknometru wypełnionego cieczą (np. wodą) i sproszkowaną próbką,

$m_2$  – masa piknometru wypełnionego cieczą (np. wodą),

$\rho_{rh}$  – gęstość cieczy (wody).

10. Na podstawie przynajmniej trzech pomiarów wyliczyć średnią i ocenić błąd.

W celu wyznaczenia dokładnej objętości piknometru należy wykonać dodatkowy pomiar. Napełnić piknometr cieczą piknometryczną; włożyć powoli korek wylewając nadmiar cieczy, dokładnie osuszyć piknometr i wyznaczyć jego masę z cieczą piknometryczną. Wylczyć objętość zgodnie z opisem podanym w ćwiczeniu 1.

### **Sprawozdanie powinno zawierać:**

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Opis stanowiska badawczego.
3. Metodyka badań i przebieg realizacji eksperymentu.
4. Analiza otrzymanych wyników i przyczyny powstawania błędów.
5. Wnioski.

### **Literatura:**

1. Lech J. (2005), *Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki*, Częstochowa, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej.
2. Łapsa K. (2008), *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
3. Wróblewski A.K., Zakrzewski J.A. (1991), *Wstęp do fizyki*, Warszawa, PWN.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. (2006), *Podstawy Fizyki t.1*, Warszawa, PWN.
5. Blicharski M. (2012), *Wstęp do inżynierii materiałowej*, Warszawa, WNT.

### **Przykładowe normy związane z tematyką ćwiczeń:**

- PN-76/B-06714/03: *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie gęstości w piknometrze.*
- PN-76/B-06714/05: *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie gęstości pozornej na wadze hydrostatycznej.*
- PN-77/B-06714/07: *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie gęstości nasypowej.*
- PN-EN 1097-3:2000: *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości.*
- PN-74/Z- 04002: *Ochrona czystości powietrza – Badania fizycznych własności pyłów.*

- PN-74/Z-04002/02: *Ochrona czystości powietrza - Badania fizycznych własności pyłów - Oznaczanie gęstości pozornych oraz statycznych porowatości warstwy pyłu.*
- PN-74/Z-04002/01: *Ochrona czystości powietrza - Badania fizycznych własności pyłów - Oznaczanie bezwzględnej gęstości pyłu.*
- PN-ISO 7971-2:1998 *Ziarno zbóż -- Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej "masą hektolitra" - Metoda rutynowa.*
- PN-EN ISO 7971-3:2009 - *wersja angielska - Ziarno zbóż - Oznaczania gęstości w stanie zsypanym, zwanej masą hektolitra - Część 3: Metoda rutynowa.*
- PN-EN 15326+A1:2010P *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Pomiar gęstości i gęstości względnej: metoda z zastosowaniem piknometru z korkiem kapilarnym.*

## **WYMAGANIA BHP**

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe.

Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.