

# Gęstość, masa usypowa, porowatość

## 2.1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie empirycznej metody określania wartości gęstości jako masy właściwej oraz gęstości pozornej i porowatości złoża materiału ziarnistego.

## 2.2. Wstęp teoretyczny

### 2.2.1 Wiadomości podstawowe

Ogólne definicje właściwości będących przedmiotem tego ćwiczenia przytoczono we wstępie do ćwiczenia pierwszego. Zatem gęstość (za równo jako masa właściwa jak i masa usypowa) będzie masą określonej objętości danej substancji. Sprowadza się to najczęściej do prostego działania jakim jest odniesienie do siebie tych dwóch wielkości, jeśli są one znane.

O ile poznanie masy niemal każdej substancji sprowadza się do umieszczenia jej na szalce wagi, o tyle nie wszystkie substancje pozwalają ich badaczowi czy użytkownikowi na łatwe określenie ich objętości. Dotyczy to szczególnie ciał stałych spotykanych w przyrodzie, zaś przede wszystkim materiałów biologicznych takich jak owoce, nasiona czy fragmenty tkanek roślinnych lub zwierzęcych. Wówczas można sięgnąć po inne precyzyjne metody określania gęstości danego materiału, takie jak metoda piknometryczna, czy metoda hydrostatyczna, opisane nieco dalej.

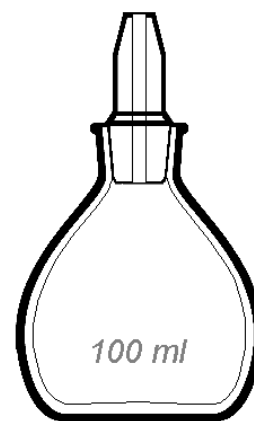
W przypadku materiałów sypkich bez większego trudu jesteśmy w stanie (z mniejszą, lub większą dokładnością) poznać objętość złoża jakie tworzą, gdyż w makroskali upodobniają się do płynów i dość chętnie przyjmują kształt naczynia w jakim się znajdują. Jak zostało już wspomniane we wstępie do ćwiczenia nr 1, znajomość tej objętości pozwala na wyznaczenie gęstości pozornej. Jednak wynik pomiaru objętości złoża, ze względu na pewne własności tego typu materiałów, może być obarczony dużym błędem (nawet rzędu 20%). Własności, które mogą wpływać na ów błąd, to między innymi **różna wielkość ziaren tworzących złoże**, ich **nieregularny kształt**, oraz **podatność na odkształcenia** (głównie w przypadku materiału biologicznego), które skutkują nieskończone wieloma kombinacjami ułożenia tych ziarn w dowolnym naczyniu użytym do określenia objętości, a co za tym idzie różne jej wartości. Na odczyt objętości zatem będą także miały wpływ wszystkie czynniki, które powodują inne ułożenie bądź zagęszczenie ziarn w złożu (np. **sposób usypywania złoża**, **wstrząsy**, **obciążenie całej warstwy** itp.). Dlatego niezbędne jest dokonywanie pomiaru wedle ściśle określonej metody, jaką narzuca np. polska norma PN-73/R-74007.

Pomiar gęstości rozumianej jako masa właściwa jest znacznie bardziej jednoznaczny, gdyż jego dokładność zależy już tylko od precyzji użytych narzędzi pomiarowych oraz staranności wykonania samego pomiaru. Metody pomiaru masy właściwej cieczy i ciał stałych, opisane są poniżej.

### 2.2.2 Metoda piknometryczna

Opiera się na wykorzystaniu naczynia o ściśle skalibrowanej objętości zwanego **piknometrem**, z którego możliwe jest odprowadzenie nadmiaru cieczy (najczęściej wody) stanowiącej nadmiar ponad tę objętość.

Dzięki tej metodzie, opierając się na powszechnie znanej i stabilizowanej wartości gęstości cieczy użytej do pomiaru (np. wody destylowanej) oraz precyzyjnie skalibrowanej objętości piknometru możemy z dużą dokładnością wyznaczyć zarówno gęstość ciał stałych o niedużych rozmiarach (w tym złoża ziarnistego) jak i cieczy.



Rys.2.1: Piknometr

Aby otrzymać wartość gęstość badanej substancji należy:

a) w przypadku cieczy:

- I. zważyć suchy piknometr,
- II. zważyć piknometr wypełniony badaną cieczą,
- III. posłużyć się poniższą formułą:

$$\rho_s = \frac{m_{ps} - m_p}{V_p} \quad (1)$$

gdzie:  $\rho_s$  – gęstość badanej substancji (cieczy) [kg/m<sup>3</sup>], [g/dm<sup>3</sup>],  
 $m_{ps}$  – masa piknometru z badaną substancją (cieczą) [g],  
 $m_p$  – masa pustego i suchego piknometru [g],  
 $V_p$  – objętość piknometru [dm<sup>3</sup>],

b) w przypadku ciała stałego lub materiału sypkiego:

- I. zważyć suchy piknometr,
- II. zważyć piknometr wypełniony cieczą o znanej gęstości (np. wodą destylowaną) w danej temperaturze,
- III. do wody włożyć (wsypać) badaną substancję pozwalając na wypłynięcie nadmiaru wody oraz wszelkich pęcherzyków powietrza,
- IV. zważyć piknometr z wodą i badaną substancją,
- III. posłużyć się poniższą formułą:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + m_{pw} - m_{ps}} \cdot \rho_w \quad (2)$$

gdzie:  $\rho_w$  – znana gęstość cieczy (np. wody) w temperaturze pomiaru [kg/m<sup>3</sup>], [g/dm<sup>3</sup>],  
 $m_{pw}$  – masa piknometru z cieczą o znanej gęstości (np. wodą) [g],

### 2.2.3 Metoda hydrostatyczna

Opiera się ona podobnie jak metoda piknometryczna na **prawie Archimedes**a, wg którego ciecz oddziałuje na zanurzone w niej ciało z siłą równą ciężarowi wypartej przez nie wody zaś skierowaną przeciwnie. Siła ta określana jest mianem siły wyporu. Wynika z tego, zależność (3) oraz jej dalsze przekształcenie:

$$F_w = (m_s - m_{sw}) \cdot g = \gamma_w \quad (3)$$

$$(m_s - m_{sw}) \cdot g = m_w \cdot g \quad (4)$$

$$(m_s - m_{sw}) = \rho_w \cdot V_w \quad (5)$$

Wiadomo, że: 
$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (6)$$

Jako, że do powodzenia tej metody konieczne jest całkowite zanurzenie badanego ciała, to:

$$V_s = V_w = V \quad (7)$$

Stąd, wyznaczając objętość z formuły (5) i podstawiając ją do równania (6) otrzymujemy:

$$\rho_s = \frac{m_s}{(m_s - m_{sw})} \cdot \rho_w \quad (8)$$

gdzie:  $F_w$  – siła wyporu działająca na ciało [N],  
 $\gamma_w$  – ciężar wypartej cieczy (wody) [N],  
 $V_w$  – objętość wypartej cieczy (wody) [m<sup>3</sup>],  
 $V_s$  – objętość badanej substancji [m<sup>3</sup>],  
 $m_w$  – masa wypartej cieczy (wody) [g],  
 $m_{sw}$  – masa ciała zważonego w wodzie [g],

Zaznaczyć należy, że w przypadku ciał stałych do obu metod wyznaczania ich gęstości należy dobrać taką ciecz, w której nie zachodzi ich rozpuszczanie ani nasiąkanie tą cieczą.

## 2.2.4 Porowatość

Jak wspomniano we wstępie do ćwiczenia 1, jest to parametr mówiący o ilości pustych przestrzeni w strukturze materiału lub między jego ziarnami. Ścisłej rzecz ujmując, jest to stosunek objętości porów do objętości całego materiału:

$$P = \frac{V_P}{V_C} \cdot 100 \quad (9)$$

gdzie:  $P$  – porowatość [%],  
 $V_P$  – objętość porów [ $\text{m}^3$ ],  
 $V_C$  – objętość całkowita materiału [ $\text{m}^3$ ],

Objętość porów można wyznaczyć, znając gęstość (masę właściwą) oraz gęstość pozorną (masę usypową) materiału, na podstawie następujących przekształceń:

$$V_P = V_C - V_M \quad (10)$$

$$V_C = \frac{m_M}{\rho_P}, \quad V_M = \frac{m_M}{\rho} \quad (11)$$

Po podstawieniu formuł (10) i (11) do równania (9), otrzymujemy:

$$P = \frac{\left(\frac{m_M}{\rho_P} - \frac{m_M}{\rho}\right)}{\left(\frac{m_M}{\rho}\right)} \cdot 100 \quad (12)$$

Po przekształceniu lewej strony, ostatecznie uzyskujemy prostą formułę, służącą do wyznaczania porowatości:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_P}{\rho}\right) \cdot 100 \quad (13)$$

gdzie:  $V_M$  – objętość materiału bez uwzględnienia porów [ $\text{m}^3$ ],  
 $m_M$  – masa materiału [kg],  
 $\rho$  – gęstość materiału (masa właściwa) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 $\rho_P$  – gęstość pozorną materiału (masa usypowa) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],

