

Właściwości fizyczne materiałów

Ćwiczenie 2 i 3

Podstawowe własności fizyczne

- **Wilgotność**
- **Nasiąkliwość**
- **Gęstość (właściwa)**
- **Gęstość objętościowa**
- **Gęstość nasypowa**
- **Porowatość**

Ćwiczenie 2

Wilgotność i nasiąkliwość

Wilgotność – procentowy stosunek masy wody zawarty w porach skały do masy próbki wysuszonej do stałej masy. Odpowiada naturalnej zawartości wody w materiale, niezależnie od ilości jaką dany materiał może wchłonąć.

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100 [\%]$$

Nasiąkliwość masowa – stosunek masy zaabsorbowanej wody przez próbkę materiału, do masy próbki wysuszonej do stałej masy.

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 [\%]$$

m_w – masa próbki wilgotnej, g

m_s – masa próbki nasyconej, g

m_d – masa próbki wysuszonej do stałej masy, g

Temperatura suszenia materiałów uzależniona jest od rodzaju materiału. Podczas suszenia nie może dochodzić do zmian fazowych materiału a jedynie do odparowania wody. W temperaturze $110 \pm 5^\circ\text{C}$ suszy się kruszywa, betony, ceramiki budowlane, natomiast w temperaturze $75 \pm 5^\circ\text{C}$ suszy się skały lite.

O wysuszeniu lub nasycaniu wodą próbki do stałej masy świadczy taki stan, kiedy w dwóch kolejnych ważeniach, w odstępach 24-godzinnych, masy próbki nie zmieniają się więcej niż o 0,1% masy początkowej.

Ćwiczenie 2

Wilgotność i nasiąkliwość

W skałach można wyróżnić trzy rodzaje wody:

Woda wolna: cząsteczki tej wody są najslabiej związane ze skałą siłami fizykomechanicznymi. Woda znajduje się w szczelinach oraz w makro- i mikroporach. Na wodę wolną nie mają wpływu cząsteczki absorbenta. Woda wolna przenika do wnętrza wskutek działania sił kapilarnych, grawitacyjnych i procesów dyfuzji. Woda wolna może powstać również w procesie kondensacji kapilarnej nasyconej pary wodnej znajdującej się w kapilarach.

Woda związana fizykochemiczne: występują dwa rodzaje wiązań: osmotyczne i adsorpcyjne. Wiązania osmotyczne wiążą wodę w mikroporach siłami zależnymi od wymianów kapilar. Woda zaabsorbowana przylega do ścian kapilar jako pierwsza warstwa zewnętrzna. Następuje przy tym wzajemne oddziaływanie adsorbentu, tj. skał o rozwiniętej powierzchni oraz cząsteczek wody. Woda zaadsorbowana różni się w dużej mierze swymi właściwościami od wody wolnej., przejście molekuł wody wolnej lub pary wodnej w wodę związaną fizykochemicznie z wydzieleniem energii, która może zmienić się np. w pracę rozsunięcia cząstek szkieletu skalnego przejawiającego się pęcznieniem skał.

Woda związana chemicznie: najsilniej związana ze skałami lub minerałami. Należy do niej woda krystalizacyjna lub też związana w inny sposób.

Woda znajduje się prawie we wszystkich minerałach i skałach jako woda wolna lub też jako woda związana. Może ona być w stanie płynnym, stałym lub w postaci pary wodnej. Całkowita ilość wody wolnej i związanej charakteryzuje ogólną wilgotność materiału. Praktycznie przyjmuje się za wilgotność ogólną ilość wody odparowanej w temperaturze $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Przy tej temperaturze oprócz wody wolnej oraz związanej fizykochemicznie, usuwana jest też częściowo woda krystalizacyjna.

Ćwiczenie 2

Wilgotność i nasiąkliwość

Wilgotność jest to względna zawartość wody w materiale będąca wynikiem stanu naturalnego (np. w ściętych drzewach) lub skutkiem działania czynników atmosferycznych lub eksploatacyjnych. Wilgotność materiału budowlanego zależy od jego właściwości sorpcyjnych.

Sorpcja jest to zjawisko związane ze zdolnością materiału do pochłaniania pary wodnej z powietrza przy czym **adsorpcja** to pochłanianie powierzchniowe pary wodnej, a **absorpcja** to wnikanie jej w głąb.

Wielkości te zależą od struktury materiału oraz temperatury i wilgotności powietrza. Zawilgocenie materiałów budowlanych i ceramicznych jest cechą niekorzystną ponieważ pogarsza ich właściwości fizyczne i mechaniczne oraz sprzyja rozwojowi drobnoustrojów (obniża np. właściwości termoizolacyjne i wytrzymałość).

Wilgotność materiału w stanie powietrzno-suchym to stan równowagi jaki ustala się w dłuższym okresie czasu w warunkach normalnej eksploatacji (np. beton komórkowy 4 do 8%, keramzytobeton 6%, silikat 3 %, beton 2%, ceramika 1%)

Ćwiczenie 2

Wilgotność i nasiąkliwość

Największą nasiąkliwością odznaczają się skały silnie porowate o bardzo drobnych porach. Występuje wtedy zjawisko włoskowatości powodujące przenikanie wody do wnętrza.

Nasiąkliwość masową można przeprowadzić jako:

- Oznaczenie nasiąkliwości zwykłej: tj. badanie wykonywane pod ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze pokojowej,
- Oznaczenie nasiąkliwości po gotowaniu: nasiąkliwość wodą badana pod ciśnieniem atmosferycznym na próbkach poddanych gotowaniu,
- Oznaczenie nasiąkliwości przy obniżonym ciśnieniu (przy użyciu pompy próżniowej).

Ze względu na nasiąkliwość masową rozróżnia się skały:

- bardzo nasiąkliwe – nasiąkliwość ponad 20%,
- średnio nasiąkliwe – o nasiąkliwości 5 – 20%,
- mało nasiąkliwe – o nasiąkliwości 0,5 – 5 %,
- bardzo mało nasiąkliwe – o nasiąkliwości poniżej 0,5%.

Ćwiczenie 2

Wpływ wilgotności na materiały porowate:

- Zwiększenie ciężaru,
- Pogorszenie parametrów wytrzymałościowych,
- Zwiększenie podatności na korozję, grzyby i pleśnie,
- Obniżenie właściwości izolacyjnych (elektrycznych i cieplnych)

Gęstość objętościowa, właściwa i porowatość

Gęstość jako podstawowy parametr materiałów wyrażony jest jako stosunek masy materiału do jego objętości w określonych warunkach temperatury i ciśnienia.

Materiały ceramiczne w ogólności mają niższe gęstości niż materiały metaliczne, chociaż jest kilka wyjątków, np. glin czy tytan i ich stopy. Większość stosowanych materiałów ceramicznych, w tym materiały naturalne w postaci skał posiada gęstość w przedziale 2 do 6 g/cm³. Dla dokładnego opisu gęstości materiału wprowadzono następujące pojęcia:

Gęstość teoretyczna (gęstość rentgenograficzna) – jest to gęstość wyliczona w oparciu o znajomość wymiarów komórki elementarnej wyznaczonej metodą dyfraktacji rentgenowskiej oraz w oparciu o znajomość ilości i rodzaju atomów tworzących komórkę elementarną

Gęstość (gęstość właściwa) – jest to stosunek masy materiału do jego objętości bez porów

Gęstość objętościowa (gęstość pozorna) – stosunek masy próbki do całkowitej jej objętości, łącznie z porami

Porównanie gęstości i gęstości objętościowej wybranych materiałów

Nazwa materiału	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość objętościowa [g/cm ³]
Beton zwykły	2,8	2,0 – 2,2
Cement	3,05 – 3,15	1,1 – 1,2
Ceramika czerwona	2,7	1,8 – 1,95
Drewno	1,55	0,45 – 0,95
Piasek	2,72	1,55 – 1,65
Smoła	1,15	1,15
Szkło	2,65	2,65
Stal budowlana	7,85	7,85
Pianizol	1,40	0,0100
Styropian	1,10	0,03

Ćwiczenie 3

Gęstość objętościowa, właściwa i porowatość

Obecność w materiałach porów w istotny sposób wpływa na właściwości fizykochemiczne, a w konsekwencji na właściwości użytkowe. Stopień, w jakim dana właściwość ulegnie zmianie, uzależniony jest od ilości, rozmiarów, kształtu i sposobu rozmieszczenia porów w tworzywie. Zawartość porów w materiałach ceramicznych zawiera się w szerokim przedziale od 0 do 90%, a ich rozmiary – od nanometrów do milimetrów.

Zależność pomiędzy porowatością a innymi właściwościami materiałów mają zwykle charakter empiryczny i odnoszą się ściśle do tworzyw o takim samym sposobie wytwarzania.

Porowatość jest charakterystyczną cechą polikrystalicznych materiałów ceramicznych, wynikających ze sposobów ich wytwarzania (spiekanie, hydratacja, natrysk plazmowy, itp.)

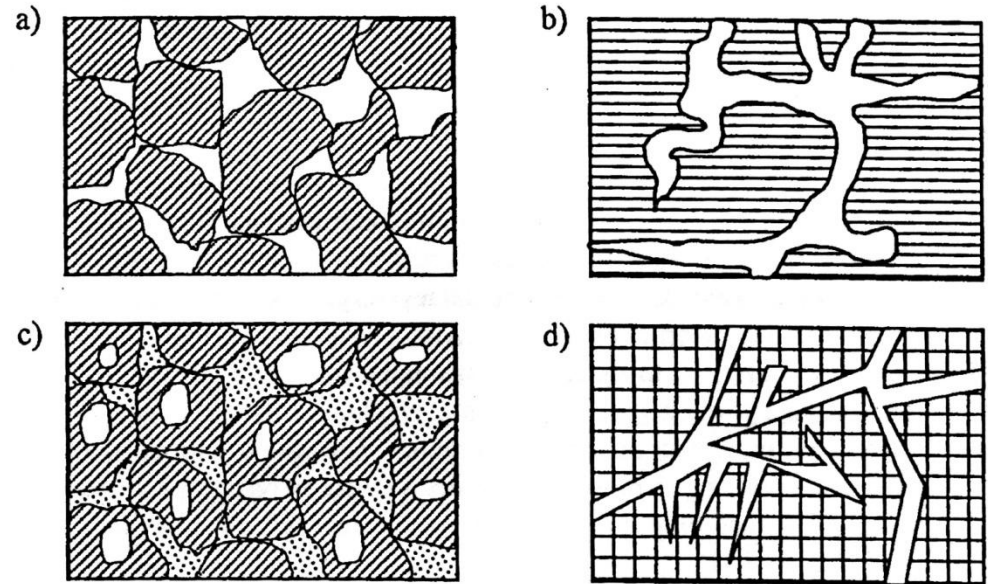
Ćwiczenie 3

Gęstość objętościowa, właściwa i porowatość

Występujące pory dzielą się na otwarte (połączone) i zamknięte. Pory otwarte łączą się ze sobą i występują w formie szczelin lub kanalików (rys b, d). Pory zamknięte są to pory otoczone ze wszystkich stron substancją, tworząca pustki w materiale (rys. a, c).

Ze względu na wielkość pory można podzielić na:

- ❖ Ultrapory lub mikropory o średnicy do 100\AA (do 10^{-5} mm),
- ❖ Pory przejściowe o średnicy $100 - 1000\text{\AA}$ (10^{-5} do 10^{-4} mm),
- ❖ Makropory o średnicy powyżej 10^{-4} mm.



Typy porowatości : a) otwarta międzyziarnowa, b) otwarta rozgałęziona, c) zamknięta wewnątrzziarnowa, d) szczelinowata (Źródło: T. Majcherczyk: Zarys fizyki skał i gruntów budowlanych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria z Lampką Górnictwem, Kraków 2000.)

Ćwiczenie 3

Gęstość objętościowa, właściwa i porowatość

Ultrapory lub mikropory są rozpoznawane metodami analizy rentgenowskiej i tworzą one obszar sorpcyjny. Pory przejściowe rozpoznawane są metodami porometrycznymi oraz przy użyciu mikroskopu elektronowego i tworzą one obszar kapilarnej kondensacji i dyfuzji gazu. Makropory dzielą się na submakropory o średnicy 10^{-4} do 10^{-3} mm, makropory właściwe o średnicy 10^{-3} do 10^{-1} mm oraz widoczne nieuzbrojonym okiem pory i szczeliny o wymiarach od 10^{-1} i wyżej.

Metoda	Zasada pomiaru	Przedmiot i zakres pomiaru
1. Wyznaczanie gęstości pozornej	oznaczenie różnicy pomiędzy objętościami właściwymi materiału zmierzonymi w helu i rtęci	sumaryczna objętość porów otwartych mniejszych od $100 \mu\text{m}$.
2. Mikroskopia optyczna	obserwacje zglądów w świetle odbitym	całkowita objętość porów, kształt i rozmiary porów większych od $0,5 \mu\text{m}$
3. Mikroskopia elektronowa	obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM)	rozmiary i kształt porów większych od $0,01 \mu\text{m}$.
4. Kondensacja kapilarna	kondensacja kapilarna	całkowita objętość porów i rozkład wielkości porów o rozmiarach $14\text{Å} \div 600\text{Å}$
5. Porozymetria rtęciowa	właczanie rtęci pod wysokim ciśnieniem	całkowita objętość porów otwartych i rozkład wielkości porów o rozmiarach $30\text{Å} \div 100 \mu\text{m}$
6. Niskokątowe rozpraszanie promieni X	analiza promieniowania rentgenowskiego	rozmiary i kształt porów o rozmiarach mniejszych od 200Å

Najczęściej stosowane metody pomiaru porowatości

Ćwiczenie 3

Gęstość objętościowa, właściwa i porowatość

Kształt porów może być różny i zależy od sposobu powstawania. Mogą mieć kształt pęcherzyków (jak po gazach wulkanicznych lub w procesach wytopu metalu z rudy), nieprawidłowych próżni (poprzez niewypełnienie przestrzeni materiałem krystalizującym lub przez ułożenie ziaren i okruchów), równomiernych i nierównomiernych kanalików o kształcie rozgałęzionym, siatkowym itp.

Na charakter porowatości wpływa nie tylko ilość porów, ale również ich kształt. Materiały o małej ilości większych porów mogą mieć tę samą porowatość co materiały o dużej ilości mniejszych porów, ale różnic się będą między sobą właściwościami.



Gęstość teoretyczna

Gęstość wyliczana w oparciu o znajomość wymiarów komórki elementarnej wyznaczanych metodą dyfrakcji rentgenowskiej oraz w oparciu o znajomość ilości i rodzaju atomów tworzących komórkę elementarną.

$$\rho = \frac{nM_A}{V_k N_A}$$

n – liczba atomów przypadających na komórkę elementarną,

M_A – masa atomowa

V_k – objętość komórki

N_A – Liczba Avogadra ($6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

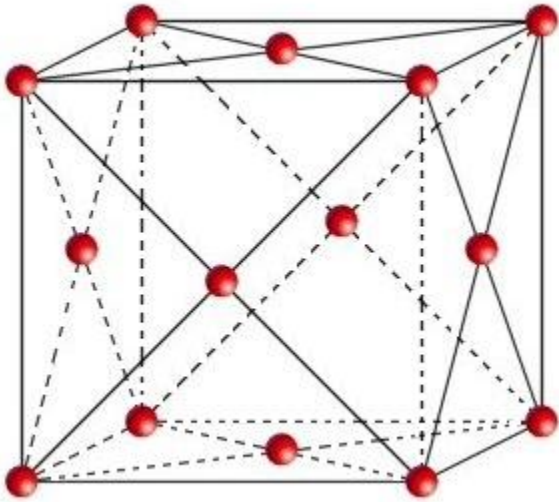
Struktura materiałów metalicznych

Prawie wszystkie pierwiastki metaliczne tworzą kryształy należące do jednej z 3 sieci:

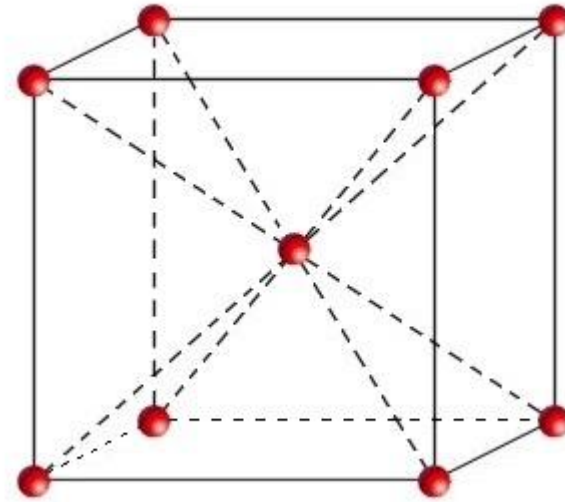
RSC – regularna ściennie centrowana (charakteryzuje się zwartym ułożeniem atomów w przestrzeni, w tej sieci krystalizują metale o najwyraźniejszych cechach metalicznych: srebro, złoto, platyna, aluminium, miedź, nikiel, ołów, żelazo γ , kobalt β)

RPC – regularna przestrzennie centrowana (strukturę tę posiadają np. wanad, molibden, wolfram, niob, żelazo α , chrom α , tytan β)

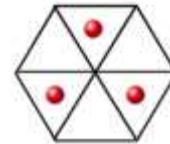
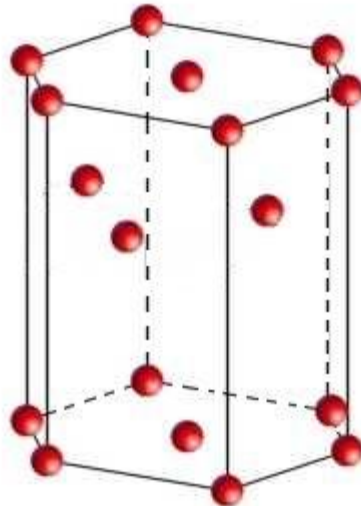
HZ – heksagonalnej zwartej (beryl, magnez, cynk, kadm)



A1 - regularna powierzchniowo centrowana - np. Cu



A2 - regularna przestrzennie centrowana np. W



A3 - heksagonalna ciasno upakowana np. Mg

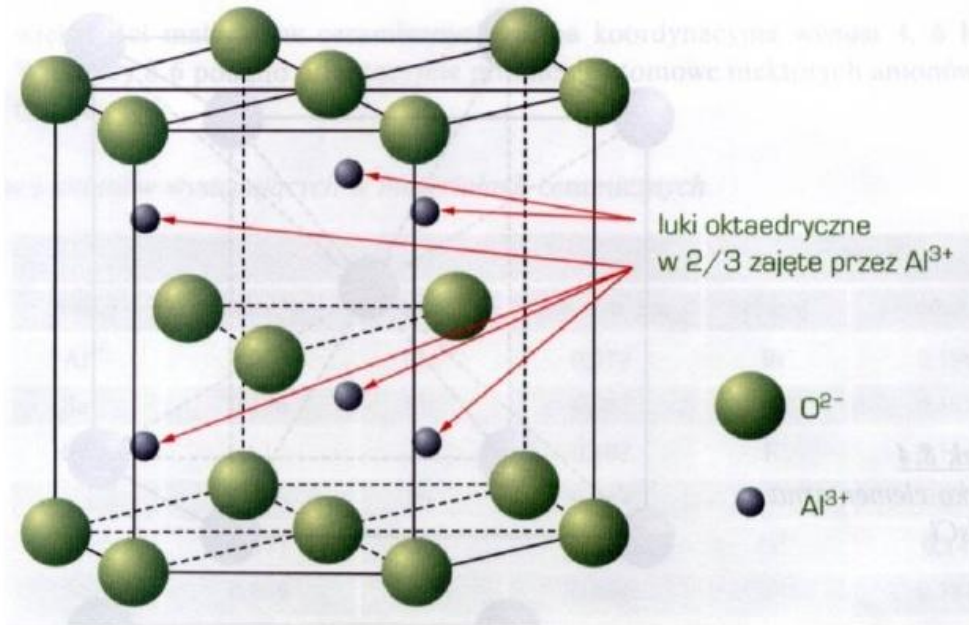
<http://metalurgia.bblog.pl>

Struktura materiałów ceramicznych

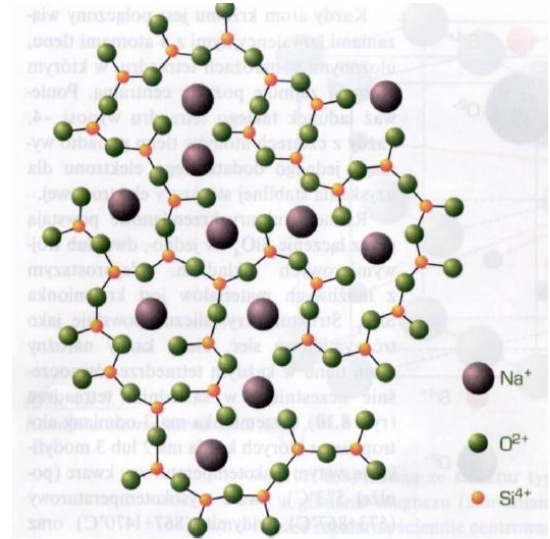
Ceramiki mają zróżnicowaną budowę. Wśród nich znajdują się ciała o budowie krystalicznej, ciała bezpostaciowe oraz szkła o ułożeniu atomów typowym dla cieczy.

Sieć przestrzenna ceramicznych o budowie krystalicznej jest bardziej złożona niż metali.

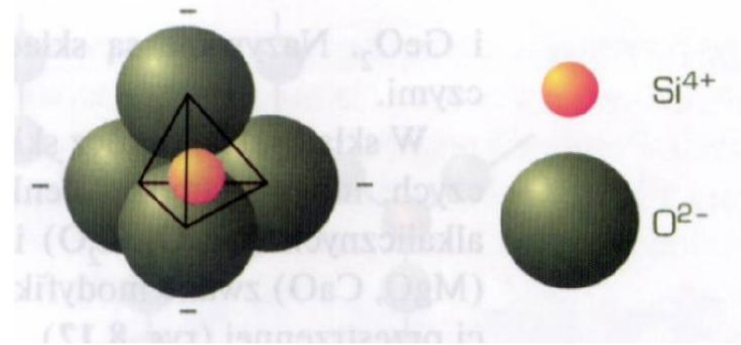
W materiałach ceramicznych występują wiązania od czysto jonowych do czysto kowalencyjnych.



Komórka elementarna sieci Al_2O_3



Schemat rozmieszczenia jonów w szkło sodowo-krzemianowym



Komórka elementarna SiO_4^{4-}

Gęstość teoretyczna – przykład obliczeniowy

Obliczyć gęstość teoretyczną żelaza α wiedząc, że masa atomowa żelaza wynosi $55,847 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ a promień atomu 124 pm .

Żelazo α ma strukturę RPC ina komórkę elementarną przypadają 2 atomy.

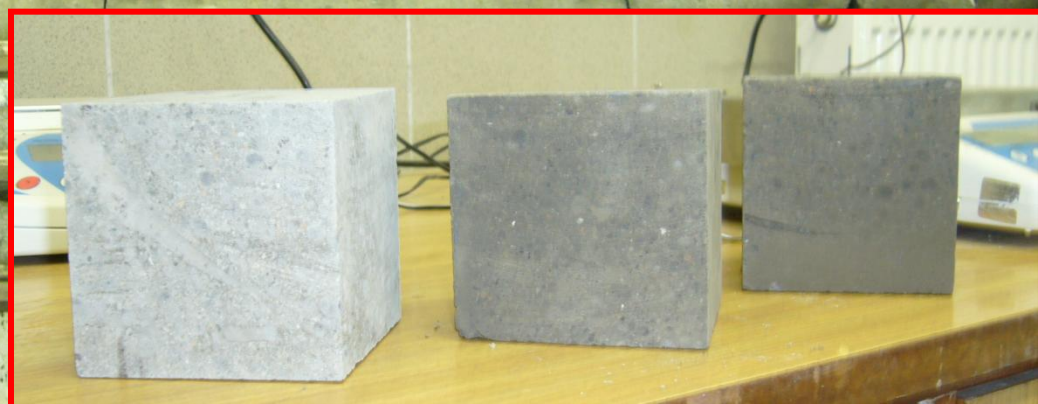
Parametr komórki a

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} = \frac{4 \cdot 124}{\sqrt{3}} = 286,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\rho = \frac{2(55,847 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1})}{(286,4 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 (6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1})} = 7,89 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho = 7,89 \text{ Mg} / \text{m}^3$$

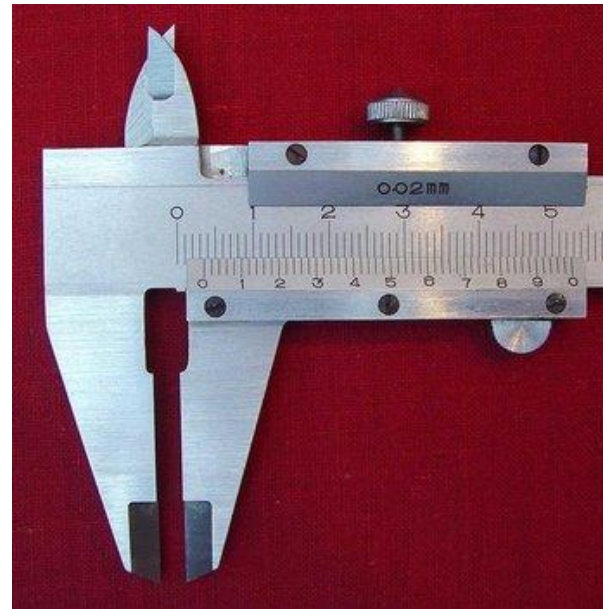
Zmierzona wartość gęstości żelaza wynosi $7,87 \text{ Mg} / \text{m}^3$



Gęstość objętościowa – metody pomiaru

- Na próbkach foremnych - metoda bezpośrednia

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{kg}/\text{m}^3]$$



V072-09



V070-02



V071-08



V073-07

Na próbkach nieforemnych – metoda hydrostatyczna

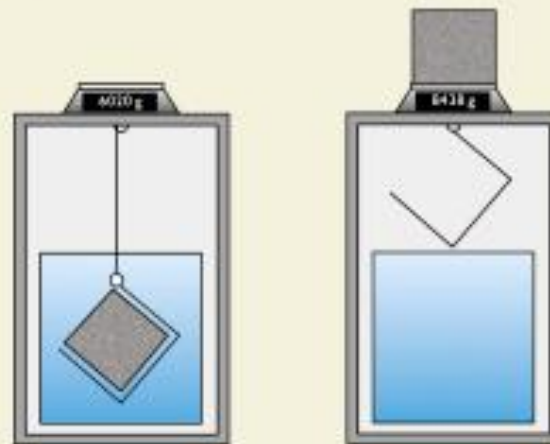
metoda hydrostatyczna opiera się na **Prawie Archimedesesa**

na każde ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu hydrostatycznego skierowana przeciwnie do ciężaru ciała, równa ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało.

$$\rho = \frac{m_d}{m_s - m_h} \cdot \rho_{rh} \quad [\text{kg/m}^3]$$

m_h – masa próbki w wodzie

1. Determine volume of sample



a)
Weigh in water (m_w)

b)
Weigh in air (m_a)

$$\text{Volume (V}_3\text{)} = \frac{m_a - m_w}{1000}$$

2. Determine density of sample

Weigh in air (m_1)

$$\text{Volume density} = \frac{m_1}{V_3} \text{ kg/m}^3$$



Gęstość (właściwa)

$$\rho_r = \frac{m_e}{V_s} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

m_e - masa suchego materiału, g, kg,

V_s – objętość absolutna (bez porów) materiału , cm^3 , m^3 .

Metody oznaczania:

- Metoda piknometryczna
- Metoda objętościomierza LeChateliera

Metoda piknometryczna

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \cdot \rho_{rh} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

- m_e – masa próbki sproszkowanej (<0,063mm) i wysuszonej do stałej masy
- m_1 – masa piknomietru wypełnionego wodą i sproszkowaną próbką
- m_2 – masa piknomietru wypełnionego wodą
- ρ_{rh} – gęstość cieczy



Metoda objętościomierza LeChateliera

$$\rho_r = \frac{m_e}{V_s} \cdot \rho_{rh} \quad [\text{kg/m}^3]$$

V_s – wartość objętości odczytana
na skali objętościomierza, cm^3

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Gęstość wody [kg/m^3]
0	999,84
4	999,97
10	999,70
15	999,10
20	998,20
25	997,04
30	995,64
100	958,35



Gęstość nasypowa

Iloraz niezagęszczonej masy suchego materiału określonej frakcji (np. kruszywo, cement, materiały proszkowe) wypełniającego określony pojemnik do objętości tego pojemnika.

$$\rho_N = \frac{m}{V_c} [kg / m^3]$$



Porowatość

Porowatość otwarta wyrażona jest jako procentowy stosunek pomiędzy objętością otwartych porów i objętością próbki do badania

$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100\%$$

Porowatość całkowita jest to procentowy stosunek objętości porów (otwartych i zamkniętych) do objętości próbki.

$$p_c = \left[1 - \frac{\rho_b}{\rho_r} \right] \cdot 100\%$$
$$p_c = 100\% - s \text{ [%]}$$

$$s = \frac{\rho_b}{\rho_r} \cdot 100\%$$

Szczelność - wyznacza się jako stosunek gęstości objętościowej do gęstości. Określa zawartość substancji w jednostce objętości.