



Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

MATERIAŁY BUDOWLANE

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

Cechy techniczne naturalnych materiałów kamiennych

Spis treści

1.Cel ćwiczenia	3
2.Podstawowe informacje	3
3.Przebieg ćwiczenia	6
4. Zestawienie wyników badań	12
5. Zakres sprawozdania z ćwiczenia	13
6. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu	13

1.Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest ocena podstawowych właściwości technicznych kamienia w świetle wymagań normowych i wskazanie jego potencjalnego zastosowania w budownictwie.

2.Podstawowe informacje

2.1 Cechy naturalnych materiałów kamiennych

- Budowa skały – zespół cech rozpoznawalnych charakterystycznych dla każdej skały i stanowiących jej skład mineralny, strukturę oraz teksturę.
- Skład mineralny – charakterystyczne dla danego typu genetycznego minerały główne.
- Struktura skały – zespół cech określających sposób wykształcenia, wielkość i formę oraz sposób współwystępowania składników skałotwórczych. Rozróżnia się między innymi strukturę:
 - krystaliczną (grubokrystaliczną, średniokrystaliczną, drobnokrystaliczną, skrytokrystaliczną, równokrystaliczną, różnokrystaliczną),
 - porfirową,
 - ziarnistą (gruboziarnistą, średnioziarnistą, drobnociarnistą, skrytoziarnistą różnoziarnistą),
 - szklistą.
- Tekstura skały - przestrzenne rozmieszczenie (ułożenie) oraz sposób wypełnienia przez składniki skałotwórcze masy skalnej. Rozróżnia się między innymi teksturę:
 - zbitą,
 - porowatą (np. mikroporowatą, komórkową, jamistą, pęcherzykową, gąbczastą),
 - migdałowcową,
 - bezładną,
 - uporządkowaną (np. warstwową, łupkową, kulistą).

2.2 Korozja atmosferyczna

Źródłem korozji atmosferycznej są zanieczyszczenia pochodzące z atmosfery, zwłaszcza gazy przemysłowe, domowe oraz spaliny samochodowe. Gazy zawierają znaczne ilości SO₂, który następnie pod wpływem tlenu i wilgoci przechodzi w kwas siarkowy. Kwas siarkowy działa szkodliwie na wapienie, marmury i piaskowce o lepiszczu węglanowym, powodując przechodzenie CaCO₃ w CaSO₄•2H₂O (gips). CO₂ z atmosfery tworzy z wodą kwas węglowy, powodując niszczenie wapieni. Niszczące działanie mają tlenki azotu.

2.3. Podział skał ze względu na ich właściwości fizyko-mechaniczne

Według PN-B011080:1984 Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie wg właściwości fizyko-mechanicznych.

Tabl. 1 Podział skał ze względu na ich właściwości fizyko-mechaniczne

Ze względu na gęstość pozorną (objętościową):

Klasyfikacja	Zakres gęstości pozornej, kg/m ³
Bardzo lekkie	<1500
Lekkie	1500-1800
Średnio ciężkie	1800-2200
Ciężkie	2200-2600
Bardzo ciężkie	>2600

Ze względu na nasiąkliwość:

Klasyfikacja	Zakres nasiąkliwości, %
Bardzo mało nasiąkliwe	<0,5
Mało nasiąkliwe	0,5-5,0
Średnio nasiąkliwe	5-20
Bardzo nasiąkliwe	>20

Ze względu na wytrzymałość na ściskanie:

Skały o wytrzymałości na ściskanie:	Wytrzymałość na ściskanie, MPa		
	W stanie powietrzno-suchym	W stanie nasycenia wodą	W stanie po badaniu mrozoodporności
Bardzo małej	<15	<12	<10
Małej	16-60	12-50	10-45
Średniej	61-120	51-100	46-80
Dużej	121-200	101-190	81-180
Bardzo dużej	>200	>190	>180

Tabl. 1 CD Podział skał ze względu na ich właściwości fizyko-mechaniczne

Ze względu na ścieralność (na tarczy Bohmego):

Skały o ścieralności:	Na tarczy Bohmego, mm	
	W stanie powietrzno-suchym	W stanie nasycenia wodą
Bardzo małej	<2,5	<5,0
Małej	2,5-5,0	5,0-7,5
Średniej	5,1-7,5	7,6-10,0
Dużej	7,6-10,0	10,1-15,0
Bardzo dużej	>10,0	>15,0

Ze względu na mrozoodporność:

Klasyfikacja	Liczba cykli zamrażania i odmrażania, po których występują uszkodzenia powierzchni, krawędzi lub naroży
Zła mrozoodporność	<15
Dostateczna mrozoodporność	15-21
Dobra mrozoodporność	21-25
Bardzo dobra mrozoodporność	>25

Ze względu na możliwość uzyskania poleru:

- dające się polerować,
- nie dające się polerować.

Ze względu na odporność skał na niszczące działanie atmosfery przemysłowej:

- całkowicie odporne – skały nie ulegające niszczeniu w środowisku silnie agresywnym (o zawartości SO₂ od 10 do 200 mg/m³);
- średnio odporne - skały nie ulegające niszczeniu w środowisku agresywnym (o zawartości SO₂ od 0,2 do 10 mg/m³);
- mało odporne - skały nie ulegające niszczeniu w środowisku mało agresywnym (o zawartości SO₂ do 0,5 mg/m³)

3.Przebieg ćwiczenia

I. Zapoznać się z procedurą podanych badań (pkt. 3.1-3.8) oraz:

- wykonać badanie według punktów 3.1-3.5;
- wykonać obliczenia w punkcie 3.6;
- uzupełnić tablicę 3.

II. Sklasyfikować badany materiał kamienny (pkt. 4) w świetle wymagań normowych (pkt. 2.3)

III. Opracować przykłady zastosowania materiałów kamiennych w budownictwie

IV. Określić (uwzględniając wyniki wyszukiwania w zadaniu III) oddziaływania zewnętrzne (użytkowe, środowiskowe) w czasie użytkowania danego materiału/wyrobu kamiennego w danym zastosowaniu budowlanym

V. Przyporządkować kluczowe cechy techniczne materiału kamiennego dla danego zastosowania, uwzględniając oddziaływania otoczenia (użytkowe, środowiska) na ten materiał w okresie eksploatacji

3.1 Gęstość pozorna próbki o kształcie regularnym

W przypadku próbek o regularnych kształtach obliczana metodą bezpośrednią. Wymiary próbek określa się w milimetrach, mm i oblicza gęstość (V), a masę (m) w gramach, g. Gęstość pozorną wyznacza się wg poniższego wzoru i wyraża w kg/m^3 (z dokładnością do 1 kg/m^3) lub g/cm^3 (z dokładnością do $0,001 \text{ g/cm}^3$).

$$\rho_p = m/V$$

3.2 Gęstość pozorna kruszywa

3.2.1 Materiały i wyposażenie do użycia

- Próbka materiału o kształcie nieregularnym,
- Waga laboratoryjna,
- Cylinder pomiarowy.

3.2.2 Wykonanie oznaczenia

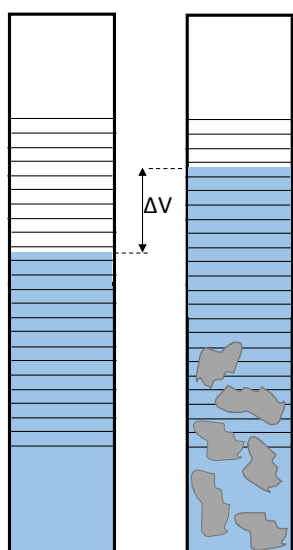
W przypadku próbki o kształcie nieregularnym objętość określa się metodą hydrostatyczną. Próbkę nasyca się do stałej masy a następnie waży się ją w powietrzu i w wodzie. Inną, mniej dokładną, metodą jest określenie objętości próbki w cylindrze pomiarowym. Aby dokonać tego pomiaru należy wypełnić cylinder wodą do określonego poziomu, np. do połowy, a następnie umieścić w nim próbkę nasyconą wodą i odczytać różnicę poziomów cieczy. Gęstość pozorną materiału obliczamy z dokładnością do 0,001 g/cm³ ze wzoru:

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

gdzie:

m – masa suchej próbki [g],

V – objętość próbki (z porami) [cm³].



Rys.1. Przebieg badania objętości próbki o kształcie nieregularnym

3.3 Gęstość nasypowa kruszywa

3.3.1 Materiały i wyposażenie do użycia

- Próbka materiału ziarnistego,
- Waga laboratoryjna,
- Pojemnik cylindryczny o określonej objętości (1, 2, 5, 10 dm³),
- Zgarniak o odpowiedniej długości.

3.3.2 Wykonanie oznaczenia

Oznaczenie polega na zbadaniu ilorazu niezagęszczonej masy suchego kruszywa wypełniającego określony pojemnik do objętości tego pojemnika. Suchą masę kruszyw wypełniających określony pojemnik oznacza się przez ważenie i oblicza się odpowiadającą jej gęstość nasypową w stanie luźnym. Kruszywo należy wysuszyć w temperaturze $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ do stałej masy. Masa każdej próbki powinna stanowić od 120% do 150% masy potrzebnej do napełnienia pojemnika.

Zważyć pusty, suchy i czysty pojemnik (masa m_1), postawić na poziomej powierzchni i napełniać go kruszywem za pomocą czerpaka aż do przesypania. Podczas napełniania pojemnika zminimalizować segregację ziaren przez oparcie czerpaka na górnej krawędzi. W żadnym przypadku krawędź czerpaka nie powinna znaleźć się wyżej niż 50 mm od brzegu pojemnika. Ostrożnie usunąć nadmiar kruszywa znajdujący się nad wierzchem pojemnika, upewniając się, czy powierzchnia jest równa. Wyrównać powierzchnię przy użyciu zgarniaka, uważając, aby nie ugnieść powierzchni. Zważyć napełniony pojemnik i zapisać jego masę (m_2). Gęstość nasypową w stanie luźnym ρ_{nl} obliczamy z dokładnością do $0,001 \text{ g/cm}^3$ ze wzoru:

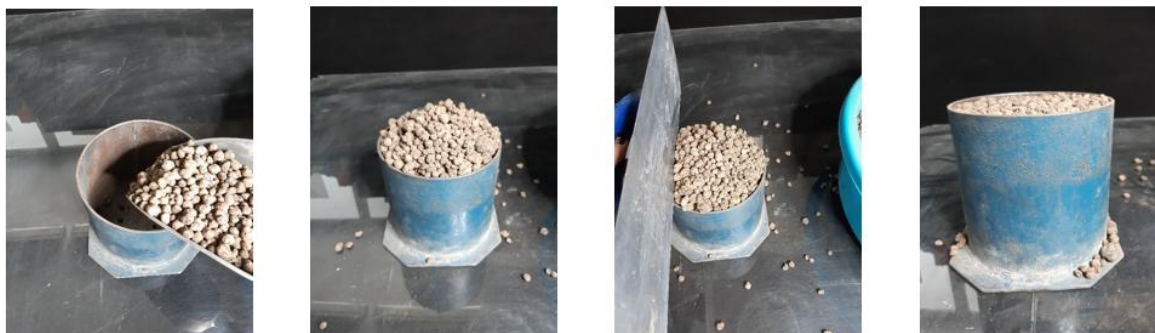
$$\rho_{nl} = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

gdzie:

m_1 – masa pojemnika pomiarowego [g],

m_2 – masa pojemnika wypełnionego próbką [g],

V – objętość pojemnika pomiarowego [cm^3].



Rys2. Przebieg badania gęstości nasypowej

3.4 Nasiąkliwość kruszywa

3.4.1 Materiały i wyposażenie do użycia

- Próbka nasączonego materiału,
- Waga laboratoryjna,
- Ręcznik papierowy.

3.4.2 Wykonanie oznaczenia

Próbka o znanej masie suchej umieszczona jest na 24 godziny przed badaniem w wodzie. Próbkę należy wyjąć z wody i osuszyć powierzchniowo z pomocą ręcznika papierowego, a następnie niezwłocznie zbadać masę próbki nasączonej. Nasiąkliwość masową obliczamy z dokładnością do 0,1% ze wzoru:

$$n_m = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100\%$$

gdzie:

m_n – masa próbki materiału w stanie nasycenia wodą [g], m_s – masa próbki materiału wysuszonego do stałej masy [g],

Nasiąkliwość objętościową obliczamy z dokładnością do 0,001 g/cm³ ze wzoru:

$$n_m = \frac{m_n - m_s}{V}$$

gdzie:

m_n – masa próbki materiału w stanie nasycenia wodą [g], m_s – masa próbki materiału wysuszonego do stałej masy [g], V – objętość próbki w stanie suchym [cm³].

3.5 Twardość według skali Mohsa

Twardość to odporność materiału na odkształcenia trwałe pod wpływem sił skupionych działających na jego powierzchnię. Skala twardości minerałów charakteryzuje odporność na zarysowania materiałów twardszych przez materiały bardziej miękkie - minerały są ustawione od najbardziej miękkiego do najtwardszego. Każdy minerał może zarysować minerał poprzedzający go na skali (bardziej miękkie) i może zostać zarysowany przez następujący w skali po nim (twardszy).

Tabl. 2 Skala Mohsa – zestawienie minerałów wzorcowych i opisu wyników testu

Twardość	Minerał wzorcowy	Test
1	Talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)	minerał daje się zarysować z łatwością paznokciem
2	gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	minerał daje się zarysować paznokciem
3	kalcyt ($CaCO_3$)	minerał daje się zarysować z łatwością miedzianym drutem
4	Fluoryt (CaF_2)	minerał daje się zarysować z łatwością ostrzem noża
5	Apatyt ($Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$)	minerał daje się zarysować z trudem ostrzem noża
6	Ortoklaz ($KAlSi_3O_8$)	minerał daje się zarysować stałą narzędziową (np. pilnikiem)
7	Kwarc (SiO_2)	rysuje szkło
8	Topaz ($Al_2SiO_4(OH, F)_2$)	rysuje szkło z łatwością
9	Korund (Al_2O_3)	tnie szkło, daje się zarysować diamentem
10	Diament (C)	rysuje korund, daje się zarysować tylko innym diamentem

3.6 Ścieralność

Oznaczenie ścieralności materiałów kamiennych przeprowadza się na tarczy Boehmego wg PN-B04111:1984. Z bryły kamienia wycina się próbki sześciennie o wymiarze boku 71 ± 1 mm, a następnie suszy się w temperaturze 105°C . Każda wysuszona próbka jest ważona z dokładnością do 0,01 g. Próbkę umocować w uchwycie maszyny i obciążyć siłą 300 N. Powierzchnię tarcia na całej długości pasa ścierania pokryć równomiernie proszkiem elektrokorundowym w ilości 20 g. Po wsypaniu proszku należy uruchomić tarczę. W czasie ruchu tarczy proszek należy zgarniać na pas ścierania. Po każdym 22 obrotach należy zatrzymać i zmieść stary materiał wraz z proszkiem. Następnie nasypać ponownie 20 g proszku ściernego na tarczę w pasie ścierania próbki i uruchomić tarczę. Po każdym 110 obrotach tarczy próbkę należy wyjąć z uchwytu i obrócić 90° wokół osi pionowej w stosunku do poprzedniego położenia. Po 440 obrotach tarczy należy zmierzyć wysokość próbki suwmiarką z dokładnością do 0,1 mm i zważyć próbkę z dokładnością do 0,01 g. Jeśli skała ma bardzo dużą ścieralność, należy po starciu się do 10mm próbki zastosować nakładki, w celu utrzymania początkowej wysokości kostki.

Na podstawie straty wysokości ścieralność materiału kamiennego S należy obliczyć w mm z dokładnością do 0,01 mm jako różnicę przed badaniem i po badaniu średniej wysokości próbki, wyliczone ze średniej arytmetycznej wysokości mierzonych w mm ze wzoru:

$$S = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) / 4 \text{ [mm]}$$

Gdzie: K_i – różnice wysokości próbki, mierzone wzdłuż prostych prostopadłych do przyjętej postawy na postawie straty masy.

Ścieralność materiału kamiennego S należy obliczyć w mm z dokładnością do 0,1 mm wg wzoru:

$S = (M/F) \cdot \rho^{-1} \text{ [mm]}$, Gdzie: M – strata masy próbki po 440 obrotach tarczy, g, F – pow. próbki poddana ścieraniu, mm^2 , ρ - gęstość pozorna próbki, g/mm^3 .



Rys3. Tarcza Boehmego

Przykład do obliczeń (wartości odczytów podaje prowadzący ćwiczenie) :

Ścieralność na tarczy Boehmego: $K_1 =$ mm, $K_2 =$ mm, $K_3 =$ mm, $K_4 =$ mm

3.7 Mrozoodporność

Oznaczanie przeprowadza się metodą bezpośrednią wg wg PN-EN12371:2002. Odporność na zamrażanie oznacza się przez całkowite nasycenie 5-ciu próbek kamienia wodą, po czym odważonych z dokładnością do 1 g. Próbki zamraża się w temperaturze -20°C w ciągu 4 godzin i kolejno przez 4 godziny odmraża się w wodzie o temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$. Po każdym cyklu zamrażania i odmrażania sprawdza się odkruszenia, ubytki, pęknięcia itp. Współczynnik odporności na zamrażanie określa się stosunkiem wytrzymałości próbki poddanej pełnej liczbie cykli zmrażania. Stosunek ten oblicza się z dokładnością do 0,001 ze wzoru:

$$U = (m_0 - m_n) / m_0$$

Gdzie:

m_0 – masa próbki nasyconej wodą przed rozpoczęciem badania

m_n – masa próbki po zakończeniu badania

($U > 25$ cykli to bardzo dobra mrozoodporność)

3.8 Wytrzymałość na ściskanie

Oznaczenie wykonuje się zgodnie z wg PN-EN1926:2001. W zależności od stanu próbki stosowanej do oznaczenia oraz wymagań norm przedmiotowych metoda oznaczania obejmuje:

- oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych lub walcowych w stanie powietrzno-suchym,
- oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych lub walcowych w stanie nasycenia wodą,
- oznaczanie wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych lub walcowych w stanie nasycenia wodą po zakończeniu badania mrozoodporności metodą bezpośredniego zamrażania i odmrażania,
- obliczanie wskaźnika zmniejszenia wytrzymałości po nasyceniu wodą (współczynnik rozmiękczenia),
- obliczanie wskaźnika zmniejszenia wytrzymałości po badaniu odporności na zamrażanie (współczynnik odporności na zamrażanie)

Kształt i wymiary próbek:

- próbka sześcienna o wymiarze boku 50 ± 3 mm
- próbka walcowa o $h = \phi = 50 \pm 3$ mm
- próbka walcowa odcięta z rdzenia odwiertu o $h = \phi$ od 135 do 160

Próbka ściskana jest w prasie hydraulicznej aż do zniszczenia. Wytrzymałość na ściskanie oblicza się wg wzoru:

$$R_c = (P_n / F) * 10 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Gdzie: P_n – największa siła zgniatająca, kN; F – pole powierzchni ściskanej, cm^2

4. Zestawienie wyników badań

Ocenę materiału badań (tabl. 3) należy wykonać w oparciu o wyniki badań i obliczeń oraz kryteria zawarte w pkt. 2.3.

Tabl. 3 Ocena wyników badań

A. Rodzaj, budowa, skład mineralogiczny			
1. Rodzaj skały			
2. Miejsce występowania			
3. Budowa skały, struktura, tekstura			
4. Skład mineralogiczny			
B. Cechy techniczne, wyniki badań, wymagania, analiza wyników			
Rodzaj oznaczenia	Wynik badania	Wymaganie normowe	Ocena, rodzaj skały
1. Gęstość pozorna, kg/m^3			
2. Nasiąkliwość wagowa, %			
3. Wytrzymałość na ściskanie, MPa			
4. Scieralność na tarczy Boehmego, cm			
5. Mrozoodporność, liczba cykli			
6. Możliwość uzyskania poleru			
7. Odporność na niszczące działanie atmosfery (zawartość SO_2 , mg/m^3)			

5. Zakres sprawozdania z ćwiczenia

Sprawozdanie powinno zawierać następujące punkty:

I. Przedmiot badań

(podstawowe informacje o badanych materiałach/wyrobach)

II. Wyniki badań

(pozyskane na zajęciach laboratoryjnych wyniki oznaczeń przedstawione w tabelach i opracowane we wskazany sposób)

III. Wnioski

(wypunktowane twierdzenia sformułowane na podstawie uzyskanych wyników)

IV. Literatura

(odniesienia do literatury wykorzystanej do przygotowania sprawozdania)

6. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu

- Chojczak W., Materiały budowlane. Właściwości techniczne, kamień naturalny, ceramika. Ćwiczenia laboratoryjne. Część 1, OWPW, 2016
- Praca zbiorowa, Budownictwo ogólne. Tom I. Materiały i wyroby budowlane. Arkady, 2010