



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	4
4. Zestawienie wyników badań	11
5. Sprawozdanie z ćwiczenia	11
6. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu	12

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

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, drobnoziarnistą, 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).

Korozja atmosferyczna

Źródłem korozji atmosferycznej są zanieczyszczenia pochodzące z atmosfery, zwłaszcza gazy przemysłowe, domowe oraz spaliny samochodowe. Gazy zawierają znaczne ilości SO_2 , który następnie pod wpływem tlenu i wilgoci przechodzi w kwas siarkowy. Kwas siarkowy działa szkodliwie na wapień, marmury i piaskowce o lepiszczu węglanowym, powodując przechodzenie CaCO_3 w $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gips). CO_2 z atmosfery tworzy z wodą kwas węglowy, powodując niszczenie wapieni. Niszczące działanie mają tlenki azotu.

3. Przebieg ćwiczenia

- 1) Opracować (np. na podstawie dostępu do wyszukiwarki internetowej) przykłady zastosowania materiałów kamiennych w budownictwie
- 2) Określić (uwzględniając wyniki wyszukiwania w zadaniu 1) oddziaływania zewnętrzne (użytkowe, środowiskowe) w czasie użytkowania danego materiału/wyrobu kamiennego w danym zastosowaniu budowlanym
- 3) Przyporządkować kluczowe cechy techniczne materiału kamiennego dla danego zastosowania, uwzględniając oddziaływania otoczenia (użytkowe, środowiska) na ten materiał w okresie eksploatacji
- 4) Zapoznać się z procedurą podanych badań (pkt. 3.1-3.6) oraz:
 - wykonać badanie twardości wg skali Mohsa wg. pkt. 1.4
 - wykonać obliczenia ścieralności wg pkt 1.5, zapoznać się z aparaturą badawczą,
 - określić gęstość objętościową wskazanych próbek,
 - uzupełnić tablicę 1.
- 5) Sklasyfikować wybrany materiał kamienny w świetle wymagań normowych (pkt. 3.7)

Tabl. 1 Dane do zadania

Rodzaj skały: (podaje prowadzący ćwiczenie)
Miejsce występowania: (do uzupełnienia samodzielnego)
Budowa skały: (do uzupełnienia samodzielnego)
Skład mineralogiczny: (do uzupełnienia samodzielnego)
Wymiary próbki prostopadłościennej: (do uzupełnienia samodzielnego)
Masa próbki prostopadłościennej: (do uzupełnienia samodzielnego)
Obliczona gęstość objętościowa próbki prostopadłościennej: (do uzupełnienia samodzielnego)
Wytrzymałość na ściskanie: (do uzupełnienia samodzielnego)
Ścieralność na tarczy Boehmego: $K_1 = 47,0$ mm, $K_2 = 47,0$ mm, $K_3 = 47,1$ mm, $K_4 = 47,0$ mm
Nasiąkliwość: (do uzupełnienia samodzielnego)
Mrozoodporność: (do uzupełnienia samodzielnego)
Możliwość uzyskania poleru: (do uzupełnienia samodzielnego)
Twardość wg skali Mohsa: (do uzupełnienia samodzielnego)
Odporność na działanie atmosf.: (do uzupełnienia samodzielnego)

3.1 Gęstość pozorna

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 Twardość według skali Mohsa

Twardość to odporność materiału na odkształcenia trwałe pod wpływem sił skupionych działających na jego powierzchnię.

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

Twardość	Minerał wzorcowy	Test
1	Talk ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)	minerał daje się zarysować z łatwością paznokciem
2	gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	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 ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$)	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 ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$)	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

3.3 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 .

3.4 Mrozoodporność

Oznaczanie przeprowadza się metodą bezpośrednią 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)

3.5 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

3.6 Nasiąkliwość

Oznaczanie nasiąkliwości materiałów kamiennych przeprowadza się dwoma metodami:

- zwykłą, badana pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym,
- gotowania, na próbkach poddanych gotowaniu w wodzie.

Kształt i wymiary próbek - jak przy oznaczaniu gęstości pozornej. próbki powinny być wysuszone w temperaturze $(105 \div 110)^{\circ}\text{C}$.

Oznaczanie nasiąkliwości zwykłej. Suchą próbkę należy umieścić w naczyniu i zalać wodą destylowaną o temperaturze pokojowej do $\frac{1}{4}$ wysokości próbki. Po 2h należy dodać wody do $\frac{1}{2}$ wysokości próbki, a po dalszych 3 h do $\frac{3}{4}$ wysokości próbki. W takim zanurzeniu próbka powinna pozostać jeszcze 19 h, tj. razem 24 h, licząc od chwili rozpoczęcia nasycenia wodą. Po tym czasie próbkę należy całkowicie zalać wodą tak, aby górna powierzchnia próbki znalazła się około 2 cm poniżej zwierciadła wody i pozostawić w wodzie przez następną dobę. Następnie próbkę należy wyjąć, obtrzeć lnianą ściereczką i zważyć z dokładnością do 0,1 g po czym ponownie zanurzyć w wodzie. Następne ważenie należy wykonywać co 24h. Oznaczanie wody należy uważać za zakończone, gdy dwa kolejne ważenia nie będą się różnić więcej niż o 0,2 g. Oznaczanie można wykonywać na kilku próbkach równocześnie pod warunkiem, aby próbki podczas badania nie stykały się ze sobą i nie dotykały ścianek naczynia.

Nasiąkliwość wagowa (N_w) materiału kamiennego należy obliczyć w % wg wzoru:

$$N_w = 100 \cdot (m_1 - m) / m$$

Gdzie:

m - masa próbki wysuszonej do stałej masy, g, m_1 – masa próbki nasyconej wodą, g.

Nasiąkliwość objętościową (N_0) materiału kamiennego należy obliczać w % wg wzoru:

$$N_0 = N_w \cdot \rho$$

Gdzie:

N_w - nasiąkliwość wagowa, %, ρ - gęstość pozorna badanego materiału, g/cm^3 .

W przypadku gdy znana jest objętość próbki oraz przy założeniu, że gęstość wody odpowiada w przybliżeniu $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, można obliczać nasiąkliwość objętościową w % wg wzoru:

$$N_v = (m_1 - m_2) / \rho_w \cdot V$$

Gdzie:

m - masa próbki wysuszonej do stałej masy, g, m_1 - masa próbki nasyconej wodą, g, V - objętość próbki, cm^3 ,
 ρ_w - gęstość wody, g/cm^3 .

Za wynik ostateczny oznaczania należy przyjąć w przypadku naturalnych materiałów kamiennych jednorodnych - średnią arytmetyczną trzech pomiarów, natomiast dla niejednorodnych - pięciu pomiarów, równocześnie podając wyniki wszystkich pomiarów.

3.7 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.

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
M 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

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)

4. Zestawienie wyników badań

Ocenę materiału badań (tabl. 3) należy wykonać w oparciu o wyniki badań i obliczeń oraz kryteria zawarte w pkr. 3.7.

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. Sprawozdanie 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