



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

MATERIAŁY BUDOWLANE

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

Badania wybranych właściwości mechanicznych materiałów budowlanych

Autorzy:

dr inż. Kamil Załęgowski

Spis treści

1. Cel ćwiczenia	3
2. Podstawowe informacje.....	3
2.1. Podstawowe pojęcia	3
2.2. Wprowadzenie	4
3. Oznaczenia do wykonania.....	5
3.1. Wytrzymałość na zginanie (wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu)	5
3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia	5
3.1.2. Wykonanie oznaczenia	5
3.2. Wytrzymałość na ściskanie	6
3.2.1. Materiały i wyposażenie do użycia	6
3.2.2. Wykonanie oznaczenia	6
3.3. Udarność.....	7
3.3.1. Materiały i wyposażenie do użycia	7
3.3.2. Wykonanie oznaczenia	7
3.4. Twardość Brinella.....	8
3.4.1. Materiały i wyposażenie do użycia	8
3.4.2. Wykonanie oznaczenia	8
4. Zestawienie wyników badań	9
5. Sprawozdanie z ćwiczenia	10
6. Zalecana literatura uzupełniająca do tematu	10

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przeprowadzenie wskazanych przez Prowadzącego oznaczeń laboratoryjnych oraz obliczeń cech mechanicznych dla wybranego materiału budowlanego.

2. Podstawowe informacje

2.1. Podstawowe pojęcia

Wytrzymałość na zginanie – maksymalna wartość naprężenia jakie może przenieść badany materiał podczas próby zginania;

Wytrzymałość na ściskanie – maksymalna wartość naprężenia ściskającego jakie może przenieść badany materiał;

Udarność – zdolność materiału do przenoszenia krótkotrwałych zmiennych obciążeń dynamicznych;

Twardość – odporność materiału na miejscowe odkształcenia plastyczne, powstałe na niewielkiej powierzchni badanej próbki na skutek wciskania w nią drugiego, twardszego ciała zwanego wgłębnikiem;

Ścieralność – odporność materiału na mechaniczne uszkodzenia, które powstają w wyniku działania czynnika ścierającego;

Sprężystość – sprężystość to zdolność materiału do przyjmowania pierwotnej postaci po usunięciu siły zewnętrznej, pod wpływem której próbka materiału zmieniła swój kształt;

Plastyczność – plastyczność to zdolność materiału do zachowania odkształceń po usunięciu sił, które wywołały te odkształcenia (bez zniszczenia);

Kruchość – podatność materiału na nagłe zniszczenie pod wpływem obciążenia, bez wyraźnych odkształceń poprzedzających zniszczenie materiału;

Zaczyn – mieszanina spoiwa (cementu, gipsu, wapna) i wody;

Zaprawa – mieszanina co najmniej jednego spoiwa, kruszywa drobnego i wody, ewentualnie także dodatków mineralnych i domieszek;

Beton – materiał powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek i dodatków lub włókien (zbrojenia rozproszonego), który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu;

2.2. Wprowadzenie

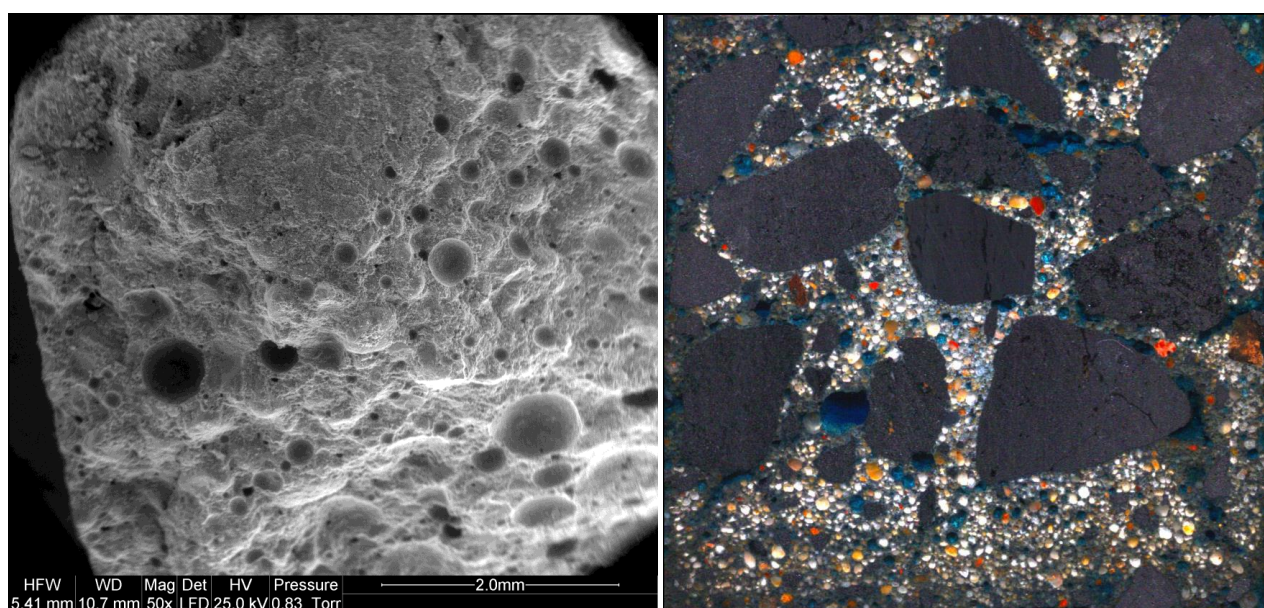
Cechy użytkowe wyrobów budowlanych zależą od właściwości materiałów, z których zostały wykonane, dlatego dobór materiałów powinien być podyktowany znajomością ich właściwości.

Właściwości materiałów budowlanych można podzielić na:

- Właściwości fizyczne;
- Właściwości chemiczne;
- **Właściwości mechaniczne.**

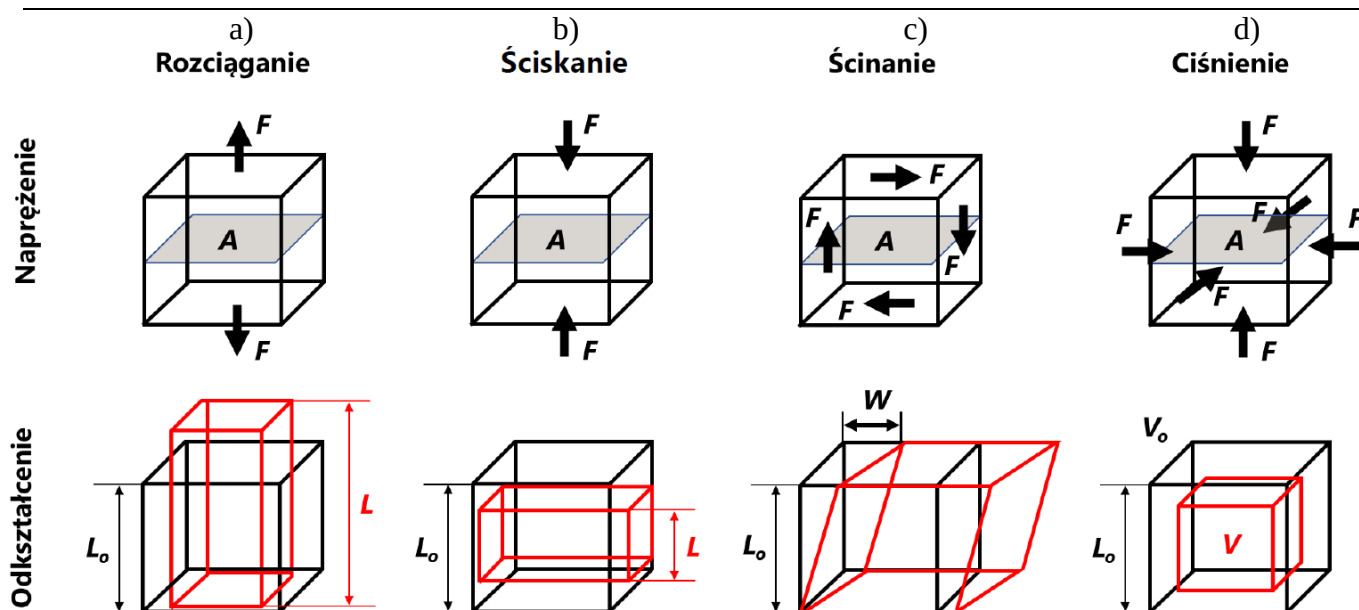
Właściwości mechaniczne są powiązane z reakcją materiału na obciążanie lub odkształcanie powodujące niszczenie jego struktury. Wartość obciążenia może być stała lub zmieniać się w sposób ciągły. Natomiast materiały mogą być obciążane lub odkształcane w niskiej lub wysokiej temperaturze, w ośrodku otaczającego je powietrza lub w ośrodku innych gazów lub cieczy.

Właściwości mechaniczne zależą od budowy wewnętrznej materiału (Rys.1), jego właściwości fizycznych, temperatury, kierunku działania sił, itd. (Rys.2).



Rys.1. Obraz mikrostruktury betonu magnetytowego wykonany przy użyciu SEM (po lewej) i skanera komputerowego (po prawej)

Reakcją materiału na przedstawione warunki obciążenia jest odkształcenie sprężyste lub plastyczne oraz pękanie (Rys.2).



Rys.2. Rodzaj odkształcenia dla różnych wariantów obciążenia

3. Oznaczenia do wykonania

3.1. Wytrzymałość na zginanie (wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu)

3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia

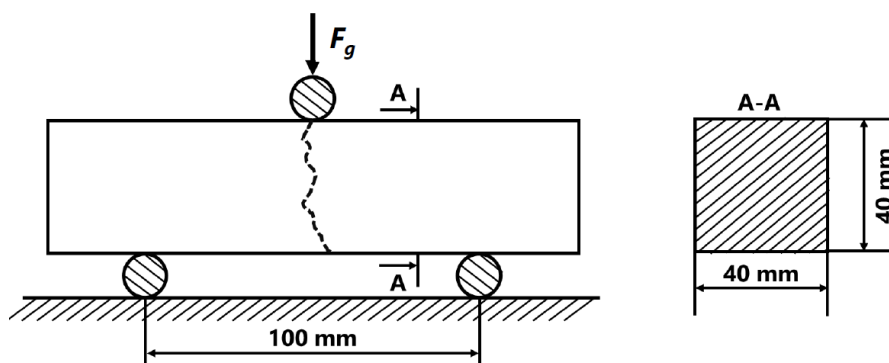
- Aparat Michelisa
- Próbki zaczynu gipsowego lub zaprawy cementowej
- Suwmiarka lub miarka

3.1.2. Wykonanie oznaczenia

Badanie wytrzymałości na zginanie spoiw budowlanych i zapraw wykonuje się przez przyłożenie siły działającej centralnie na beleczkę o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, wspartą na podporach oddalonych od siebie o 100 mm (Rys.3). Obciążenie wzrasta w sposób ciągły, jednostajny aż do złamania próbki. Wytrzymałość na zginanie (R_g) należy obliczyć na podstawie odczytanej siły niszczącej próbkę wg wzoru:

$$R_g = \frac{M}{W} = \frac{F_g l}{4W} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

gdzie: M – moment zginający, W – wskaźnik wytrzymałości przekroju zależny od wymiarów przekroju poprzecznego próbki (dla przekroju kwadratowego $W = \frac{b^3}{6}$), F_g – siła potrzebna do złamania próbki [N], l – rozstaw wałków podpierających równy 100 [mm].



Rys.3. Badanie wytrzymałości na zginanie zapraw zgodnie

3.2. Wytrzymałość na ściskanie

3.2.1. Materiały i wyposażenie do użycia

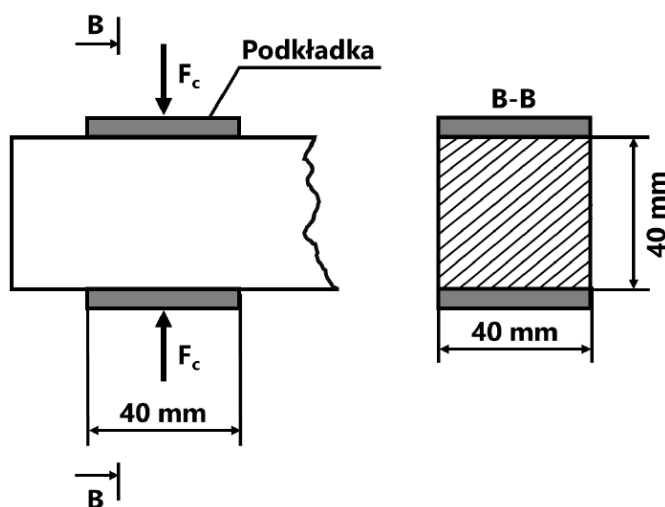
- Prasa Hydrauliczna
- Stalowe podkładki
- Próbkki zaczynu gipsowego lub zaprawy cementowej
- Suwmiarka lub miarka

3.2.2. Wykonanie oznaczenia

Wytrzymałość na ściskanie spoiw budowlanych i zapraw oznacza na połówkach beleczek po próbie zginania przez przyłożenie do nich siły ściskającej za pośrednictwem stalowych podkładek o wymiarach 40 x 40 mm². Próbkki ściska się do zniszczenia, a wytrzymałość na ściskanie (R_c) oblicza się ze wzoru:

$$R_c = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{1600} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

gdzie: F_c – siła ściskająca niszcząca próbkę [N], A – powierzchnia podkładki [mm²], 1600 – pole powierzchni ściskanej w mm² (powierzchnia podkładki stalowej).



Rys.4. Badanie wytrzymałości na ściskanie zapraw

3.3. Udarność

3.3.1. Materiały i wyposażenie do użycia

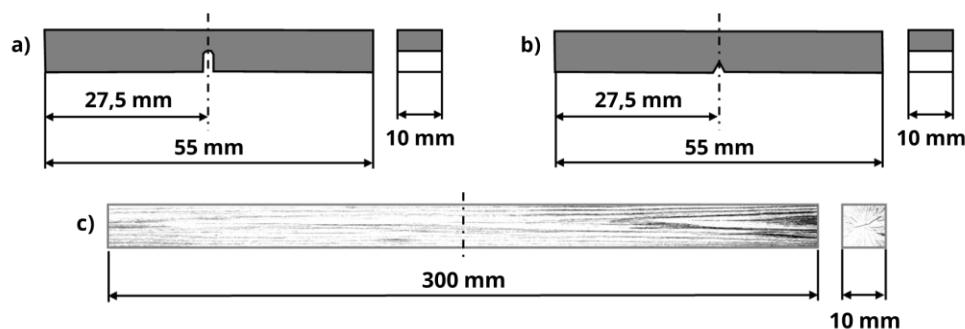
- Młot Charpy'ego
- Próbki drewna
- Suwmiarka lub miarka

3.3.2. Wykonanie oznaczenia

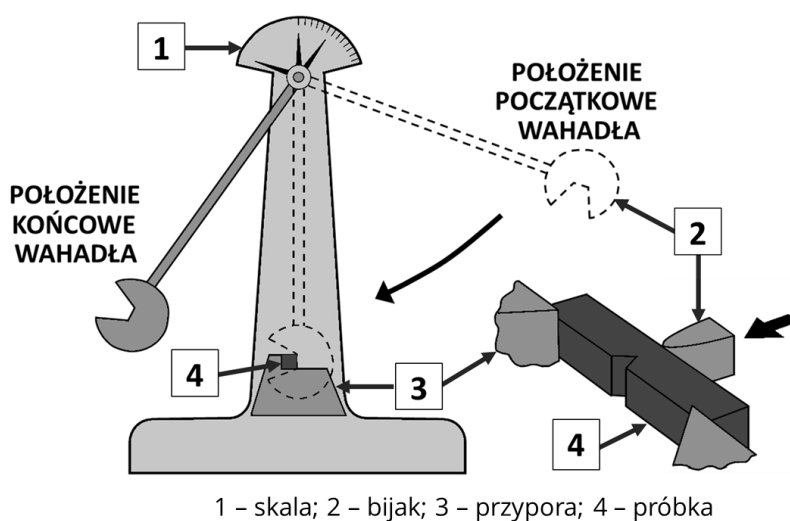
Próbkę drewna (Rys.5) o określonym polu przekroju poprzecznego układa się na przyporach, zeruje się skalę i zwalnia blokadę wahadła (Rys.6). Po uderzeniu w próbkę wahadło wychyla się pod kątem zależnym od wartości pracy wykonanej na jej złamanie. Wynik odczytuje się ze skali w kGm i oblicza udarność korzystając z zależności:

$$U = \frac{A}{a * b} * 9,81 \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{cm}^2} \right]$$

gdzie: A – praca zużyta na złamanie próbki [kGm], a, b – wymiary poprzeczne próbki w cm



Rys.5. Przykłady próbek do badań udarności: a) próbka stali z karbem w kształcie litery U; b) próbka stali z karbem w kształcie litery V; c) próbka drewna



Rys.6. Badanie udarności przy użyciu młota Charpiego

3.4. Twardość Brinella

3.4.1. Materiały i wyposażenie do użycia

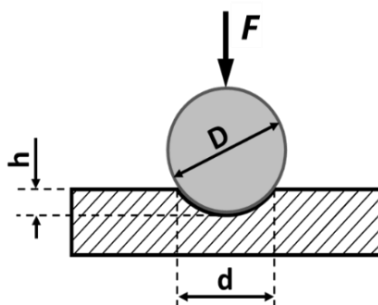
- Twardościomierz Brinella
- Próbka aluminium
- Lupa do pomiaru średnicy odcisku

3.4.2. Wykonanie oznaczenia

Badanie twardości Brinella to jedna z metod statycznych, w której za pośrednictwem kulki ze stali hartowanej (HBS) lub węglików spiekanych (HBW) obciąża się próbkę stałą siłą o ustalonej wartości, w wyniku czego kulka jest wgniatana w badany materiał (Rys.7). Po zdjęciu obciążenia mierzy się średnicę powstałego odcisku, a następnie oblicza twardość zgodnie z zależnością:

$$HBW = \frac{0,204 * F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{jedn. niemianowane}]$$

gdzie: F – siła obciążająca stalową kulkę dobierana na podstawie zależności $F = 9,807 * K D^2$ (K – współczynnik wg Tabeli 1); D – średnica kulki stalowej [mm]; d – średnica powstałego odcisku [mm].



Rys.7. Badanie twardości metodą Brinella

Tabela 1. Wartości siły obciążającej F oraz wskaźników warunków próby w zależności od współczynnika K i średnicy kulki D

Zalecana wartość K	Twardość HBW	Badany materiał
30	96 ÷ 600	stale (96 ÷ 650 HBW), żeliwo i stopy niklu, tytanu, kobaltu itp. (≥ 140 HBW), miedź i jej stopy (> 200 HBW)
15	35 ÷ 325	miedź i jej stopy (50 ÷ 300 HBW), metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe (> 35 HBW)
10	32 ÷ 200	żeliwo i stopy niklu, tytanu, kobaltu itp. (< 140 HBW), miedź i jej stopy (35 ÷ 200 HBW), metale lekkie i ich stopy (> 80 HBW)
5	16 ÷ 100	miedź i jej stopy (< 35 HBW), metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe (35 ÷ 80 HBW)
2,5	8 ÷ 35	metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe (< 35 HBW)
1	3,2 ÷ 20	cyna, ołów, stopy łożyskowe oraz inne metale i stopy (< 20 HBW)

Tabela 2. Wartości siły obciążającej F oraz wskaźników warunków próby w zależności od współczynnika K i średnicy kulki D

Współczynnik K	Średnica kulki D [mm]			
	10	5	2,5	1
	Siła obciążająca F [N]			
30	29 420	7 355	18 395	294,2
15	14 710	-	-	-
10	9 807	24 525	612,9	98,07
5	4 903	12 265	306,5	49,03
2,5	2 452	612,95	153,2	24,52
1	1 226	245,25	61,29	9,81

4. Zestawienie wyników badań

Tabela 3. Przykładowa tabela prezentująca wyniki badań laboratoryjnych

Badanie	Rodzaj materiału / próbka do badań	Urządzenie / aparatura	Dane	Obliczenia i wyniki
Wytrzymałość na zginanie $\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa}\right]$		Aparat Michelisa	$F_g =$ $l =$ $b =$	$R_g = \frac{M}{W} = \frac{F_g l}{4W} = \frac{3F_g l}{2b^3}$ $R_g = ???$
Wytrzymałość na ściskanie $\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa}\right]$		Prasa hydrauliczna	$F_{c1} =$ $F_{c2} =$ $F_{c\acute{s}r} =$	$R_{C\acute{s}r} = \frac{F_{c\acute{s}r}}{1600}$ $R_{C\acute{s}r} = ???$
Twardość Brinella [bez jednostki]		Twardościomierz Brinella	$F =$ $D =$ $d =$	$HBW = \frac{0,204 * F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $HBW = ???$
Udarność $\left[\frac{\text{J}}{\text{cm}^2}\right]$		Młot Charpiego	$A =$ $a =$ $b =$	$U = \frac{A}{a * b} * 9,81$ $U = ???$

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