



Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

MATERIAŁY BUDOWLANE

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

Badanie cech technicznych kruszywa do betonu zwykłego

Autorzy:

dr inż. Joanna Sokołowska

dr inż. Kamil Załęgowski

Spis treści

1. Cel ćwiczenia	3
2. Podstawowe informacje.....	3
2.1. Definicje wg PN-EN 12620: 2010.....	3
2.2. Wprowadzenie	4
3. Oznaczenia do wykonania:	6
3.1. Badanie uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego wg PN-EN 933-1: 2012	6
3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia	6
3.1.2. Wykonanie oznaczenia	6
3.1.3. Ocena wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego	8
3.1.4. Opracowanie wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego	9
3.2. Badanie wskaźnika kształtu ziaren kruszywa grubego wg PN-EN 933-4: 2008	10
3.2.1. Materiały i wyposażenie do użycia	10
3.2.2. Wykonanie badania wskaźnika kształtu ziaren kruszywa grubego.....	10
3.2.3. Ocena wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego	11
3.2.4. Opracowanie wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego	11
4. Sprawozdanie z ćwiczeni.....	12
5. Literatura	12

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie rodzajów kruszyw do celów budowlanych oraz wykonanie badania uziarnienia i wskaźnika kształtu kruszywa do betonu zwykłego.

2. Podstawowe informacje

2.1. Definicje wg PN-EN 12620 oraz PN-EN 1097-3

Kruszywo – ziarnisty materiał stosowany w budownictwie; kruszywo może być naturalne, sztuczne lub z recyklingu

Kruszywo naturalne – kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce

Kruszywo o uziarnieniu ciągłym – kruszywo będące mieszaniną kruszyw grubych i drobnych

Kruszywo sztuczne – kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację

Kruszywo z recyklingu – kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie

Kruszywo wypełniające – kruszywo, którego większość przechodzi przez sito 0,063 mm, które może być dodawane do materiałów budowlanych w celu uzyskania pewnych właściwości

Wymiar kruszywa – oznaczenie kruszywa przez określenie dolnego (d) i górnego (D) wymiaru sita, wyrażone jako d/D

Kruszywo drobne – określenie drobniejszego kruszywa, o wymiarach ziaren D równych 4 lub mniejszych

Kruszywo grube – oznaczenie kruszywa grubszego, o wymiarach ziaren D równych 4 mm lub większych oraz d równych 2 mm lub większych

Kruszywo naturalne 0/8 mm – określenie kruszywa naturalnego pochodzenia lodowcowego i/lub rzecznoego, mającego D równe 8 mm lub mniejsze

Pyły – frakcja kruszywa o wymiarach ziaren przechodzących przez sito 0,063 mm

Kategoria kruszywa – poziom własności kruszywa wyrażony jako przedział wartości lub wartość graniczna

Uziarnienie kruszywa – rozkład wymiarów ziaren, wyrażony jako procent masy przechodzącej przez określony zestaw sit

Gęstość nasypowa w stanie luźnym – iloraz niezagęszczonej masy suchego kruszywa wypełniającego określony pojemnik do objętości tego pojemnika

2.2. Wprowadzenie

Kruszywa do celów budowlanych można sklasyfikować według: pochodzenia, gęstości ziaren i zastosowania. W zależności od pochodzenia wyróżnia się kruszywo:

- Naturalne – ze złóż naturalnych pochodzenia mineralnego, poddawane jedynie obróbce mechanicznej; jest uzyskiwane z mineralnych surowców naturalnych, które występują w przyrodzie, w szczególności takich jak: żwir, piasek, żwir kruszony, kruszywo łamane ze skał, kruszywo z nadziarna i otoczków,
- Sztuczne – na ogół są to kruszywa lekkie, mineralne uzyskiwane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego obróbkę termiczną lub inną modyfikację; przykładem jest keramzyt i glinoporyt, otrzymywane w wyniku wypalania surowców ilastych,
- Z recyklingu – powstałe w wyniku przeróbki materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie np. z żelbetu, betonu; surowce do ich produkcji pozyskuje się z wyburzania,
- Mieszanki kruszyw.

W zależności od gęstości ziaren wyróżnia się kruszywa:

- Ciężkie – gęstość ziaren w stanie suchym równa lub większa niż 3000 kg/m^3 ,
- Zwykłe – gęstość ziaren w stanie suchym większa niż 2000 kg/m^3 i mniejsza niż 3000 kg/m^3 ,
- Lekkie – gęstość ziaren w stanie suchym równa lub mniejsza niż 2000 kg/m^3 lub gęstości nasypowej w stanie luźnym suchym równej lub mniejszej niż 1200 kg/m^3 .

Według normy PN-EN 12620 wymiary kruszyw do celów budowlanych są określane wymiarami dolnego (d) i górnego (D) sita i wyrażane jako d/D . Oznaczenie to dopuszcza obecność pewnej ilości ziaren, które pozostają na górnym sicie (nadziarno) i pewnej ilości ziaren, które mogą przejść przez dolne sito. W zależności od wymiarów ziaren rozróżnia się kruszywo:

- drobne – o wielkości ziaren do 4 mm ($D \leq 4 \text{ mm}$ i $d = 0 \text{ mm}$),
- grube – o wielkości ziaren od 4 do 63 mm ($D \geq 4$ i $d \geq 2 \text{ mm}$),
- wypełniające – jego większość przechodzi przez sito 0,063 mm; może być dodawane do materiałów budowlanych w celu uzyskania odpowiednich właściwości.

Kruszywa do celów budowlanych w zależności od wartości właściwości są dzielone na kategorie, określane jako poziom właściwości kruszywa wyrażony przez zakres jej wartości lub jej wartość graniczną, przy czym nie ma zależności między kategoriami określonymi dla różnych właściwości. Podział kruszyw na kategorie wskazuje na ich zróżnicowaną jakość i jest wskaźnikiem możliwości jego zastosowania. Wyróżnia się kategorie kruszyw między innymi ze względu na: uziarnienie (tab.1), wartość wskaźnika płaskości, wartość wskaźnika kształtu (tab.2), zawartość muszli w kruszywie grubym, zawartość pyłów, wartość współczynnika Los Angeles, odporności na uderzenie, odporność na ścieranie, odporność na polerowanie, mrozoodporność czy wymagania chemiczne.

Tab.1. Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia kruszywa wg PN-EN 12620

Kruszywo	Wymiar	Procent przechodzącej masy					Kategoria G
		2 D	1,4 D	D	d	d/2	
Grube	$D/d \leq 2$ lub $D \leq 11,2 \text{ mm}$	100	od 98 do 100	od 85 do 99 od 80 do 99	od 0 do 20	od 0 do 5	$G_{C85/20}$ $G_{C80/20}$
	$D/d > 2 \text{ mm}$ lub $D > 11,2$	100	od 98 do 100	od 90 do 99	od 0 do 15	od 0 do 5	$G_{C90/15}$
Drobne	$D \leq 4 \text{ mm}$ i $d = 0 \text{ mm}$	100	od 95 do 100	od 85 do 99	-	-	G_{F85}
Naturalne 0/8	$D = 8 \text{ mm}$ i $d = 0 \text{ mm}$	100	od 98 do 100	od 90 do 99	-	-	G_{NG90}
O ciągłym uziarnieniu	$D \leq 45 \text{ mm}$ i $d = 0$	100	od 98 do 100	od 90 do 99	-	-	G_{A90}
				od 85 do 99			G_{A85}

Tab.2. Kategorie maksymalnych wartości wskaźnika kształtu

Wskaźnik kształtu	Kategoria SI
≤ 15	SI_{15}
≤ 20	SI_{20}
≤ 40	SI_{40}
≤ 55	SI_{55}
> 55	$SI_{Deklarowana}$
Brak wymagania	SI_{NR}

3. Oznaczenia do wykonania:

3.1. Badanie uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego wg PN-EN 933-1: 2012

3.1.1. Materiały i wyposażenie do użycia

- Zestaw sit badawczych
- Denko i pokrywa dopasowane do sit
- Urządzenie do przesiewania
- Tace i szczotki
- Waga analityczna
- Czerpaki odpowiedniej wielkości
- Mieszanka kruszywo naturalnego zwykłego

3.1.2. Wykonanie oznaczenia

Badanie polega na rozdzieleniu mieszanki kruszywa za pomocą zestawu sit na kilka frakcji wymiarowych klasyfikowanych wg zmniejszających się rozmiarów. Wymiary otworów i liczbę sit dobiera się w zależności od rodzaju próbki i wymaganej dokładności

Masa próbki analitycznej kruszyw o gęstości objętościowej między 2000 kg/m^3 i 3000 kg/m^3 powinna być zgodna z wymaganiami podanymi w tab.3.

Tab.3. Masa próbek analitycznych kruszywa do badań uziarnienia

Wymiar ziaren kruszywa D [mm] (maksimum)	Masa próbki analitycznej [kg] (minimum)
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

UWAGA 1: W przypadku innych wymiarów ziaren minimalna masa próbki analitycznej może być interpolowana z mas podanych w tab.1

UWAGA 2: Jeżeli masa próbki analitycznej nie jest zgodna z tab.3, a uziarnienie nie odpowiada normie PN-EN 933-1, należy podać to w sprawozdaniu z badań

UWAGA 3: W przypadku kruszyw o gęstości objętościowej ziaren mniejszej niż 2000 kg/m^3 lub większej niż 3000 kg/m^3 należy przeprowadzić odpowiednią korektę masy próbki analitycznej podanej w tab.3 na podstawie stosunku gęstości, w celu przygotowania próbki analitycznej w przybliżeniu o takiej samej objętości jak kruszyw zwykłych.

Zmniejszenie próbki powinno zapewnić uzyskanie masy próbki analitycznej większej niż minimalna, lecz nie o dokładnie z góry określonej wielkości.

Próbkę analityczną kruszywa należy wysuszyć do stałej masy przez ogrzewanie w temperaturze $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, a następnie ostudzić i zważyć, a masę zapisać jako M_1 .

W przypadku niektórych kruszyw suszenie w temperaturze 110°C może spowodować silne związanie ziaren, które ograniczy ich rozdział w czasie późniejszego przemywania i/albo przesiewania. Dla takich kruszyw należy zastosować procedurę opisaną w załączniku B normy PN-EN 933-1.

Wsypać suchą próbkę na zestaw sit, składający się z kilku sit ułożonych od góry do dołu według malejących wymiarów, oraz denka i wymiarów. Zestaw sit wstrząsać mechanicznie lub ręcznie, a następnie, dla upewnienia się, czy cały materiał został przesiany, zdejmować sita jedno po drugim i wstrząsać ręcznie każdym, zaczynając od sita z największymi otworami (unikając utraty materiału!). Przenieść cały materiał, który przeszedł przez dane sito na następne sito zestawu i kontynuować przesiewanie.

Proces przesiewania można uznać za zakończony, gdy masa zatrzymanego materiału nie zmienia się więcej niż o 1,0% po 1 min przesiewania.

Dla uniknięcia przesypania sit, frakcja pozostająca na każdym sicie po zakończeniu przesiewania wyrażona w gramach, nie powinna przekraczać:

$$\frac{A * \sqrt{d}}{200}$$

gdzie: A – powierzchnia sita w mm^2 , d – wymiar wielkości otworu sita w mm .

Jeżeli jakaś frakcja przekracza tą wielkość, należy zastosować jedną z następujących procedur:

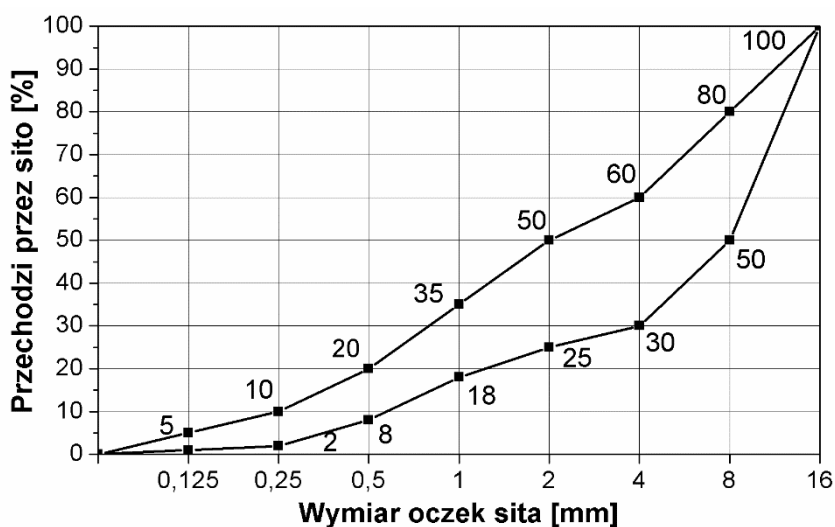
- a) Podzielić frakcje na mniejsze porcje niż wynosi maksimum i kolejno je przesiewać
- b) Podzielić przy pomocy podzielnika próbki lub kwartowania porcje próbki przechodzącej przez następne największe sito i kontynuować analizę sitową na zredukowanej próbce analitycznej, uwzględniając w późniejszych obliczeniach wyników poprawkę wynikającą ze zmniejszenia próbki.

Zważyć materiał pozostający na sicie o największych wymiarze otworów i zapisać jego masę jako R_1 . Powtórzyć tę samą operację dla każdego z sit położonych niżej, a masy na nich pozostające zapisać jako $R_2, R_3 \dots R_n$. Zważyć materiał pozostały na denku I zapisać jego masę jako P . Zapisać wszystkie masy w arkuszu danych badania – przykładowy arkusz wyników przedstawiono w tab.4.

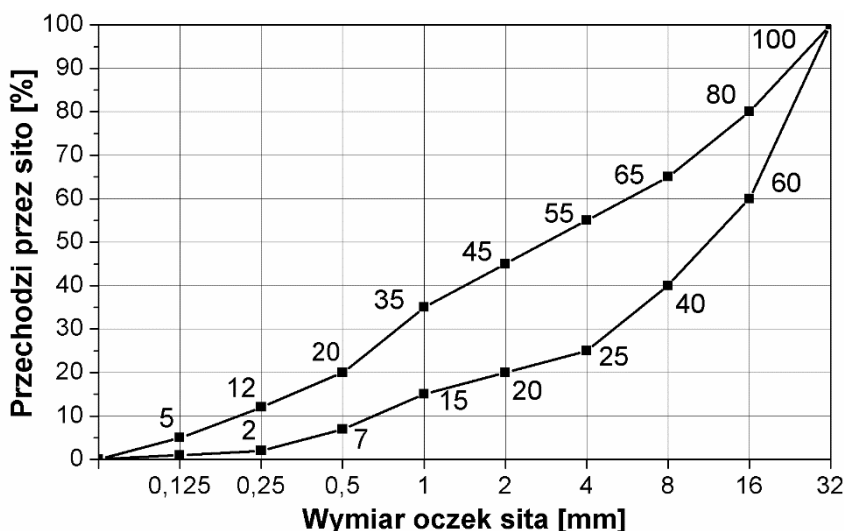
3.1.3. Ocena wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego

Obliczyć, masy pozostające na każdym sicie w procentach w stosunku do suchej masy próbki M_1 .

Obliczyć łączną procentową zawartość wyjściową suchej masy kruszywa przechodzącej przez każde sito. Uzyskane wyniki badań uziarnienia kruszywa porównać z wymaganiami odnośnie uziarnienia dla odpowiedniej kategorii kruszywa (por. tab.1) oraz wymaganiami dotyczącymi zalecanego uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego (krzywe dobrego uziarnienie, por. rys.1 lub rys.2).



Rys.1. Krzywe graniczne uziarnienia kruszywa do betonu o górnym wymiarze ziaren 16 mm zalecane w normie PN-88/B-06250



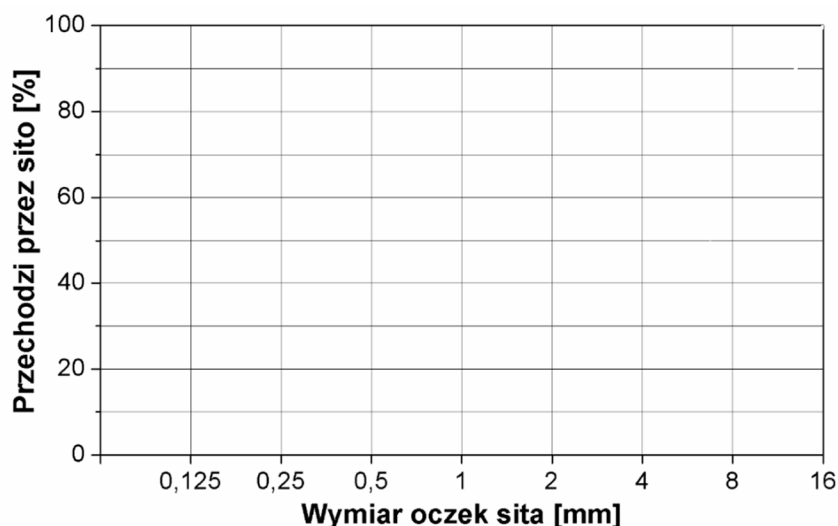
Rys.2. Krzywe graniczne uziarnienia kruszywa do betonu o górnym wymiarze ziaren 32 mm zalecane w normie PN-88/B-06250

3.1.4. Opracowanie wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego

Wyniki należy przedstawić w postaci tabeli w arkuszu wyników badania (tab.4) oraz w formie graficznej w postaci krzywej uziarnienia zgodnie z PN-EN 933-1 (wykres zależności sumy mas przechodzących przez sito w % do wymiaru oczek sita w mm, rys.3). Na przygotowany wykres nanieść odpowiednie krzywe graniczne uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego (por. rys.1 lub rys.2).

Tab.4. Wyniki badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego wg PN-EN 933-1

Metoda	Przesiewanie na sucho		
Rodzaj kruszywa			
Kategoria kruszywa			
Masa próbki M_I [g]			
Wymiar otworów sita [mm]	Masa materiału pozostającego na danym sicie [g] R_i	Procent materiału pozostającego na danym sicie [%] $R_i / M_I * 100$	Suma mas przechodzących przez dane sito [%] $100 - \sum(R_i/M_I * 100)$
31,5	$R_1 =$	$A_1 =$	$100 - A_1 =$
16	$R_2 =$	$A_2 =$	$100 - (A_2 + A_1) =$
8	$R_3 =$	$A_3 =$	$100 - (A_3 + A_2 + A_1) =$
4	$R_4 =$	$A_4 =$	
2	$R_5 =$	$A_5 =$	
1	$R_6 =$	$A_6 =$	
0,5	$R_7 =$	$A_7 =$	
0,25	$R_8 =$	$A_8 =$	
0,125	$R_9 =$	$A_9 =$	
Materiał na denku	$P =$	$A_{10} =$	
Nadziarno [%]			
Podziarno [%]			

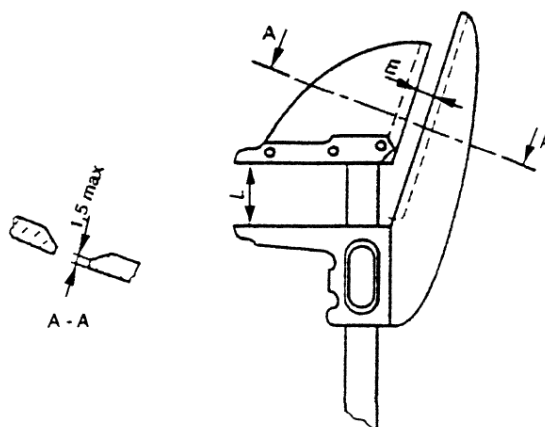


Rys.3. Wyniki badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego

3.2.Badanie wskaźnika kształtu ziaren kruszywa grubego wg PN-EN 933-4: 2008

3.2.1. Materiały i wyposażenie do użycia

- Suwmiarka Schulza (rys.4)
- Waga analityczna
- Miski
- Czerpaki odpowiedniej wielkości
- Kruszywo naturalne frakcji 8/16 mm lub 16/32 mm



Rys.4. Przykład suwmiarki Schulza do pomiaru liniowego

3.2.2. Wykonanie badania wskaźnika kształtu ziaren kruszywa grubego

Masa próbki analitycznej kruszywa o gęstości objętościowej między 2000 kg/m^3 i 3000 kg/m^3 do badania wskaźnika kształtu ziaren powinna być zgodna z wymaganiami podanymi w tab.5.

Tab.5. Masa próbek analitycznych kruszywa do badań wskaźnika kształtu

Wymiar ziaren kruszywa D [mm] (maksimum)	Masa próbki analitycznej [kg] (minimum)
63	45
32	6
16	1
8	0,1

UWAGA 1: Dla innych górnych wymiarów kruszywa D , właściwe masy próbek analitycznych można interpolować z mas podanych w tab.5.

UWAGA 2: W przypadku kruszyw o gęstości objętościowej ziaren mniejszej niż 2000 kg/m^3 lub większej niż 3000 kg/m^3 należy przeprowadzić odpowiednią korektę masy próbki analitycznej podanej w tab.5. na podstawie stosunku gęstości, w celu przygotowania próbki analitycznej w przybliżeniu o takiej samej objętości jak kruszywo zwykłych.

Zmniejszenie próbki powinno zapewnić uzyskanie masy próbki analitycznej większej niż minimalna, lecz nie o dokładnie z góry określonej wielkości.

Badanie powinno być przeprowadzone na każdej frakcji o wymiarze ziaren d/D , gdzie $D \leq 2d$. Natomiast próbki analityczne z próbek, dla których $D > 2d$ powinny być podzielone na frakcje o wymiarze ziaren d/D , gdzie $D \leq 2d$ podczas kolejnej procedury badawczej.

Oddzielić z próbki analitycznej dominującą frakcję o wymiarze ziaren d/D , gdzie $D \leq 2d$, przesiewając zgodnie z PN-EN 933-1. Odrzucić wszystkie ziarna mniejsze niż d lub większe niż D . Zanotować masę dominującej frakcji o wymiarach ziaren d/D jako M_1 . Ocenic długość L i grubość E każdego ziarna, używając przyrządu do pomiaru liniowego, tam gdzie to konieczne. Odsunąć na bok te ziarna, których stosunek wymiarów $L/E > 3$. Ziarna te są klasyfikowane jako nieforemne. Ilość ziaren wymagających indywidualnej klasyfikacji z użyciem przyrządu do pomiaru liniowego można zmniejszyć, oddzielając wstępnie ziarna o stosunku L/E znacznie różniącym się od 3. Zważyć ziarna nieforemne i zapisać ich masę jako M_2 .

3.2.3. Ocena wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego

Należy obliczyć wskaźnik kształtu SI zgodnie z następującym wzorem:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

gdzie: M_1 – masa próbki analitycznej [g], M_2 – masa ziaren nieforemnych [g].

Zapisać wskaźnik kształtu ziaren zaokrąglając do liczby całkowitej.

Oznaczony wskaźnik kształtu o należy deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab.2, właściwą dla danego zastosowania.

3.2.4. Opracowanie wyników badań uziarnienia kruszywa do betonu zwykłego

Wyniki należy przedstawić w tabeli (tab.6).

Tab.6. Przykładowa tabela z wynikami badań wskaźnika kształtu

Frakcja wymiarowa próbki badawczej	
Masa próbki analitycznej M_1	
Masa ziaren nieforemnych M_2	
Wskaźnik kształtu SI	
Kategoria maksymalnej wartości wskaźnika kształtu	

4. Sprawozdanie z ćwiczeni

Sprawozdanie powinno zawierać następujące punkty:

- I. Przedmiot badań
(podstawowe informacje o badanym kruszywie zwykłym)
- II. Wyniki badań
(pozyskane na zajęciach laboratoryjnych wyniki oznaczeń przedstawione w tabelach i opracowane we wskazany sposób)
- III. Wnioski
(wypunktowane stwierdzenia sformułowane na podstawie uzyskanych wyników)
- IV. Literatura
(odniesienia do literatury wykorzystanej do przygotowania sprawozdania)

5. Literatura

- Gantner E., Chojczak W., Materiały budowlane. Spoiwa, kruszywa, zaprawy. Ćwiczenia laboratoryjne, OWPW, 2013
- Osiecka E., Materiały budowlane. Właściwości techniczne i zdrowotne, OWPW, Warszawa 2002
- Osiecka E., Materiały Budowlane. Spoiwa mineralne, kruszywa, OWPW, Warszawa 2005
- Gantner E. i in., Materiały budowlane z technologią betonu. Ćwiczenia laboratoryjne, OWPW, Warszawa 2000
- Stefańczyk B. i in., Budownictwo ogólne t.1. Materiały i wyroby budowlane, Wyd. Arkady Warszawa 2007
- Szymański E., Materiałoznawstwo budowlane z technologią betonu. T.1, OWPW, Warszawa 2003.