

## Oznaczanie składu ziarnowego kruszyw z wykorzystaniem próbek zredukowanych

**Przesiewanie kruszyw i oznaczenie ich składu ziarnowego to podstawowe badanie, jakie jest wykonywane w laboratoriach zakładów produkcji kruszyw. Artykuł omawia procedurę oznaczania składu ziarnowego kruszyw z wykorzystaniem próbek zredukowanych, która pozwala na znaczne ograniczenie nakładu pracy na wykonanie analizy sitowej.**

Według wskazań norm PN-EN 12620, PN-EN 13043 i PN-EN 13242 oznaczenie składu ziarnowego kruszywa powinno być wykonywane minimum raz na tydzień, a w przypadku mieszanek kruszyw badanie uziarnienia musi być prowadzone raz na każde 5000 ton i nie mniej niż raz na tydzień. Przesiewanie może odbywać się na sucho lub na mokro, jednak ze względu na zanieczyszczenia pylaste występujące w kruszywie i potrzebę oznaczenia ich zawartości z reguły stosuje się przesiewanie na mokro. Ilość produkowanych frakcji kruszyw w poszczególnych zakładach jest zróżnicowana, ale może ona wynosić nawet 20-30 sortymentów. Wykonanie oznaczenia składu ziarnowego np. grysów jest stosunkowo łatwe, ale analizy sitowej mieszanek, np. 0/31 lub 0/63, już o wiele bardziej pracochłonne. Równocześnie ze wzrostem wymiaru ziaren rośnie wielkość próbki analitycznej, która musi być poddana procesowi suszenia, przemywania i przesiewania. To wszystko sprawia, że wykonanie analiz składu ziarnowego wymaga sporo pracy w laboratorium. Chcąc zmniejszyć nakład pracy na wykonanie analizy składu ziarnowego wygodnie jest wykorzystać zredukowane próbki analityczne. W normie PN-EN 933-1:200, w punkcie 7.2 podano zapis mówiący o tym, że jeżeli podczas wykonywania oznaczenia składu ziarnowego jakaś frakcja pozostająca na sicie posiada masę przekraczającą wielkość:

$$\frac{A\sqrt{d}}{200} \text{ [g]} \quad (1)$$

gdzie:

- $A$  powierzchnia sita w  $\text{mm}^2$ ,
- $d$  wymiar wielkości otworu sita w mm,

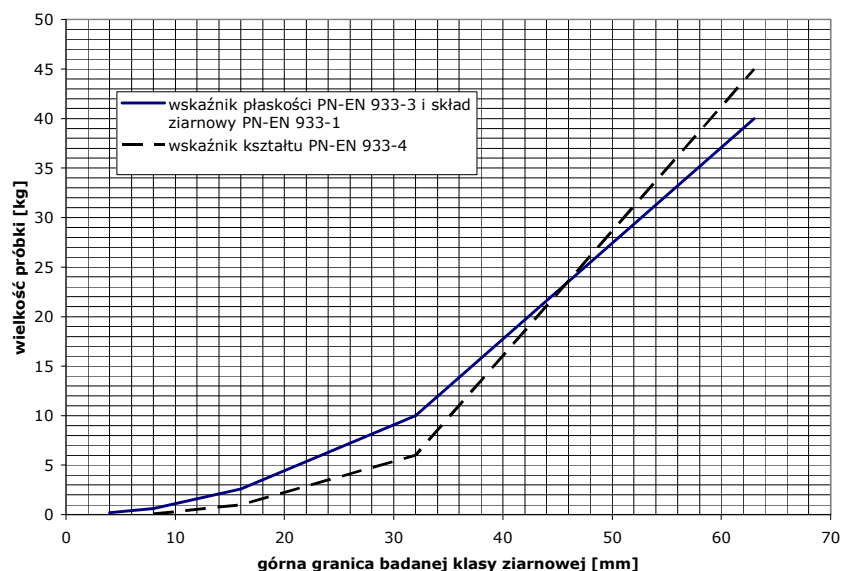
to można zastosować procedurę polegającą na tym, że przy pomocy podzielnika lub kwartowania dzieli się badaną porcję próbki i kontynuuje analizę sitową na zredukowanej próbce analitycznej. W późniejszych obliczeniach wyników należy uwzględnić poprawkę wynikającą ze zmniejszenia próbki. Z sytuacją taką będziemy mieli do czynienia przy przesiewaniu kruszyw o uziarnieniu np. 0/31,5 mm, a tym bardziej 0/63 mm. Można także podzielić frakcję pozostającą na sicie na mniejsze porcje niż wynosi maksimum i kolejno je przesiewać. Postępowanie takie jest jednak bardziej pracochłonne.

Z normy PN-EN 933-1 wynika, że minimalna wielkość próbki analitycznej do oznaczenia składu ziarnowego kruszywa o uziarnieniu 0/63 mm wynosi 40 kg. Jeżeli badaną próbkę chcemy wykorzystać równocześnie do analizy wskaźnika kształtu kruszywa, potrzebujemy próbki o jeszcze większej masie, gdyż minimalna wielkość próbki analitycznej do oznaczenia wskaźnika kształtu wynosi 45 kg. Przeprowadzenie w laboratorium procesu przesiewania na mokro tak dużej próbki kruszywa jest dość uciążliwe. Dla doświadczonego

laboranta omawiane zagadnienie nie stanowi problemu, ale dla laborantów początkujących często jest kłopotliwe.

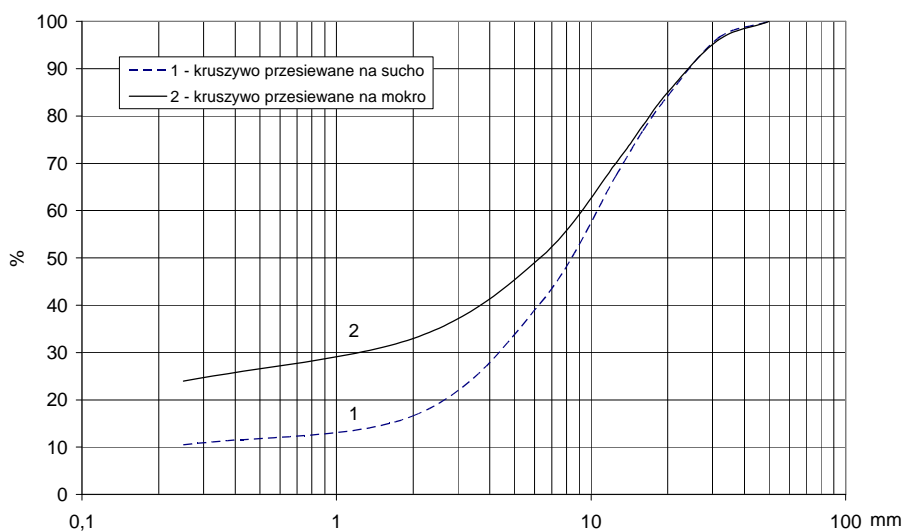
### Przesiewanie na sucho i na mokro

W procesie oznaczenia składu ziarnowego kruszywa bardzo ważne jest właściwe pobranie próbki i późniejsze jej pomniejszanie. W przygotowaniu próbek analitycznych pomocny może być wykres przedstawiony na rysunku 1. Podano na nim zależność wielkości minimalnej próbki analitycznej od górnej granicy uziarnienia badanego kruszywa.



Rys. 1. Minimalna wielkość próbek analitycznych do oznaczania składu ziarnowego kruszyw zwykłych i zawartości ziaren nieforemnych

Przy okazji warto zwrócić uwagę na różnice wyników, jakie mogą wystąpić podczas oznaczaniu składu ziarnowego kruszywa na sucho i na mokro. Na rysunku 2 przedstawiono krzywe składu ziarnowego kamienia wapiennego, zawierającego znaczne ilości zanieczyszczeń gliniastych, otrzymane przy analizie na mokro i na sucho.



Rys. 2. Skład ziarnowy kruszywa z dużą zawartością zanieczyszczeń gliniastych oznaczony przy pomocy przesiewania na mokro i na sucho

Krzywe składu ziarnowego dla ziaren poniżej 15 mm zaczynają się rozchodzić. Krzywa 1 pokazuje nam wyraźnie zaniżoną zawartość frakcji najdrobniejszych (0-1 mm), a zawyżoną zawartość frakcji rzędu 1-10 mm. Z wykresu na rysunku 2 wynika niezaprzeczalnie, że jedynie analiza wykonana metodą na mokro jest miarodajna.

### Proponowana procedura oznaczania składu ziarnowego

Dążąc do uproszczenia wykonywania analizy składu ziarnowego dużych próbek kruszywa proponuje się następujący tok postępowania, uwzględniający wymagania zawarte w PN-EN 933-1. Poniżej podano opis postępowania z próbką o uziarnieniu 0/63 mm, który bez problemu można dostosować do każdej innej frakcji kruszywa.

1. Pobrać i pomniejszyć próbkę zgodnie z normą PN-EN 932-1 i PN-EN 932-2.
2. Wsuszyć próbkę analityczną do stałej masy ( $M_1$ ).
3. Odsiać na sucho (może być ręcznie) frakcję powyżej np. 16 mm.
4. Dokładnie przemyć wydzieloną frakcję 16/63 na sicie 0,063 mm stosując sito zabezpieczające np. z oczkami 1 mm.
5. Zebrać wypłukany materiał 16/63 mm, wysuszyć i zważyć ( $M_2$ ).
6. Przesiewać próbkę 16/63 mm na wstrząsarce z wymaganym zestawem sit (np. 45, 31,5, 22,4 mm) i zważyć poszczególne frakcje ( $M_{2A}$ ,  $M_{2B}$ ,  $M_{2C}$  ...).
7. Zebrać całość materiału 0/16 mm z procesu przemywania i wysuszyć (zlewając wcześniej sklarowaną wodę).
8. Połączyć suchy materiał 0/16 mm uzyskany z przesiewania ręcznego (punkt 3), z wysuszonym materiałem 0/16 otrzymanym po przemywaniu (punkt 7).
9. Pomniejszyć całą ilość materiału 0/16 mm celem uzyskania zredukowanej próbki analitycznej. Dla frakcji 0/16 minimalna wielkość próbki analitycznej wynosi 2,6 kg. Próbkę wysuszyć i zważyć ( $M_3$ ).
10. Dokładnie przemyć zredukowaną próbkę analityczną 0/16 mm na sicie 0,063 mm (stosując sito zabezpieczające), wysuszyć wydzieloną frakcję 0,063/16 mm i zważyć ( $M_4$ ).
11. Przesiewać wydzieloną frakcję 0,063/16 na wstrząsarce z wymaganym zestawem sit (np. 11,2; 8; 4; 2; 1; 0,063 mm) i zważyć poszczególne frakcje ( $M_{4A}$ ,  $M_{4B}$ ,  $M_{4C}$ ,  $M_{4D}$ ).
12. Obliczyć udziały poszczególnych frakcji w próbce kruszywa 0/63 mm z poniższych zależności.

Zawartość frakcji 0/16 mm w próbce kruszywa 0/63 obliczamy z zależności:  $M_5 = M_1 - M_2$

Udział procentowy  $V$  frakcji 0/16 w kruszywie 0/63 mm wynosi:  $V = \frac{M_5}{M_1}$

Pozostałe wielkości obliczamy z zależności podanych w tabeli nr 1.

Tab. 1. Wyniki oznaczenia składu ziarnowego kruszywa

Lp.	Frakcja [mm]	Zawartość frakcji [g]	Udział frakcji [%]
1	> 63	$M_{2A}$	$M_{2A}/M_1$
2	45/63	$M_{2B}$	$M_{2B}/M_1$
3	31,5/45	$M_{2C}$	$M_{2C}/M_1$

4	22,4/31,5	$M_{2D}$	$M_{2D}/M_1$
5	16/22,4	$M_{2E}$	$M_{2E}/M_1$
6	11,2/16	$M_{4A}$	$\frac{M_{4A}}{M_3} V$
7	8/11,2	$M_{4B}$	$\frac{M_{4B}}{M_3} V$
8	4/8	$M_{4C}$	$\frac{M_{4C}}{M_3} V$
9	2/4	$M_{4D}$	$\frac{M_{4D}}{M_3} V$
10	1/2	$M_{4E}$	$\frac{M_{4E}}{M_3} V$
11	0,063/1	$M_{4F}$	$\frac{M_{4F}}{M_3} V$
12	Pyły (0/0,063)	$M_P = M_3 - M_4$ Plus materiał przesiany przez sito 0,063 mm, zebrany na denku	$\frac{M_P}{M_3} V$

### Przykład

Próbka kruszywa 0/63 po wysuszeniu waży 46 kg ( $M_1 = 46,0$  kg). Frakcja  $>16$  mm, wydzielona podczas przesiewania, po przemyciu i wysuszeniu waży 14,0 kg. Frakcja 0/16 mm (obejmująca materiał z przesiewania ręcznego 0/16 mm i zanieczyszczenia 0/16 usunięte z frakcji  $>16$  mm) waży:  $46,0 - 14,0 = 32,0$  kg. Procentowy udział frakcji 0/16 mm w próbce 0/63 wynosi:  $32/46 = 69,6\%$  (inaczej: 0,696).

Frakcję 0/16 mm pomniejszamy tak, aby uzyskać np. próbkę zredukowaną o masie 3 kg. Próbkę tą myjemy na sicie 0,063 mm i pozostałość  $> 0,063$  mm suszymy i ważymy. Założmy, że frakcja  $> 0,063$  mm waży 2,7 kg. Procentowe udziały frakcji 45/63, 31,5 /45 obliczamy tak, jak podano w tabelicy powyżej, czyli dzieląc masy poszczególnych frakcji przez 46 kg. Procentowe udziały frakcji z próbki zredukowanej obliczamy dzieląc np. masę frakcji 4/8 mm przez masę próbki pomniejszonej (3 kg) i wynik mnożymy przez zawartość frakcji 0/16 w całej próbce, czyli  $\times 0,696$ .

Zawartość pyłów obliczamy podobnie, czyli:  $3,0$  kg  $- 2,7$  kg =  $0,3$  kg.  $0,3$  kg dzielimy przez  $3,0$  kg i całość mnożymy przez  $0,696$ .

Sprawdzamy, czy suma wszystkich pozycji w kolumnie 4 powyższej tabeli daje nam 100%.

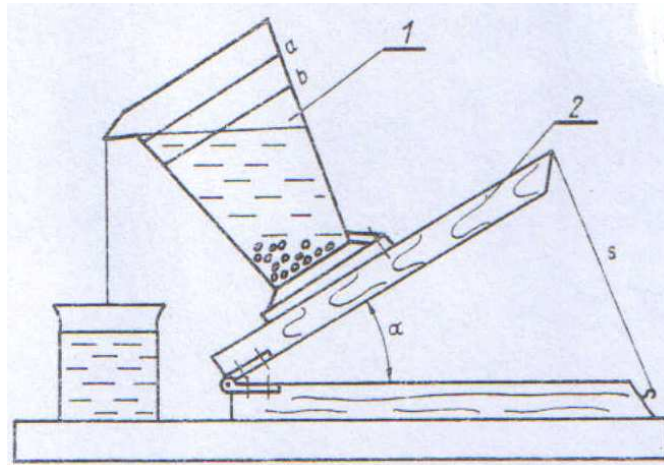
Dla ułatwienia kontroli prawidłowości prowadzonego przesiewania można zważyć materiał pozostający na poszczególnych sitach i otrzymane wyniki porównać z danymi przedstawionymi w tabeli 2. Maksymalna ilość materiału pozostającego na poszczególnych sitach obliczona została ze wzoru 1, dla sit w oprawie okrągłej o czynnej średnicy 280 mm, a więc często stosowanych w laboratoriach zakładowych.

Tab. 2. Dopuszczalne ilości materiału pozostającego na sitach podczas oznaczania składu ziarnowego

Lp.	Wymiar oczka	Maksymalna	Lp.	Wymiar oczka	Maksymalna
-----	--------------	------------	-----	--------------	------------

	sita [mm]	ilość materiału pozostającego na sicie [g]		sita [mm]	ilość materiału pozostającego na sicie [g]
1	0,063	77	12	11,2	1030
2	0,125	109	13	12,5	1088
3	0,25	154	14	14	1151
4	0,5	218	15	16	1231
5	1	308	16	20	1376
6	2	435	17	22,4	1456
7	4	615	18	31,5	1727
8	5,6	728	19	40	1946
9	6,3	772	20	45	2064
10	8	870	21	63	2442
11	10	973	22	80	2752

W przypadku oznaczania składu ziarnowego kruszyw zawierających znaczne ilości zanieczyszczeń gliniastych korzystnie jest najpierw zlewać zawieszynę zawierającą pyły mineralne z naczynia, w którym znajduje się płukane kruszywo. Zebraną zawieszynę należy następnie zlać na sito z oczkami 0,063 mm i wypłukać materiał pozostający na sicie. Materiał z naczynia również wypłukać na sicie 0,063 mm, zabezpieczonym sitem ochronnym. Materiał pozostający na sicie 0,063 mm i sicie ochronnym połączyć i wysuszyć. Do tego celu można wykorzystać naczynie podobne do pokazanego na rysunku 3, które było stosowane w oznaczaniu zawartości pyłów według wycofanej normy PN-78/B-06714.



Rys 3. Naczynie do płukania kruszywa podczas oznaczania zawartości pyłów

### Warto zapamiętać

Przedstawiona procedura oznaczania składu ziarnowego kruszyw z wykorzystaniem próbek zredukowanych pozwala na znaczne ograniczenie nakładu pracy na wykonanie analizy sitowej. Dotyczy to zwłaszcza oznaczania składu ziarnowego kruszyw o dużej rozpiętości wymiarów  $d$  i  $D$ , a więc na przykład mieszanek. Przedstawione rysunki i dane tabelaryczne mogą ułatwić przygotowanie próbek, przemywanie i przesiewanie kruszywa oraz wykonywanie obliczeń.

Podczas wykonywania oznaczeń składu ziarnowego kruszyw najpierw należy ustalić wymagany zestaw sit. Kierować się tutaj należy danymi zawartymi w odpowiednich normach. Przesiewając kruszywo o uziarnieniu  $d/D$  potrzebne będą sita o rozmiarach  $2D$ ;  $1,4D$ ;  $D$ ;  $d$ ;

d/2. W niektórych przypadkach potrzebne będą dodatkowo sita D/1,4 lub D/2. Przy oznaczaniu uziarnienia kruszywa drobnego konieczne są sita 0,063 mm, 0,25 mm, 1 mm oraz 2 lub 4 mm, zależnie od uziarnienia badanego kruszywa. Przy badaniu uziarnienia kruszywa naturalnego 0/8 będą to sita: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 1 mm, 2 mm i 8 mm. Dla kruszyw o ciągłym uziarnieniu potrzebne będą dodatkowo różne sita pośrednie.

Warto zwrócić uwagę na wymagania podane w normie PN-EN 13285:2004. Zależnie od uziarnienia mieszanek (np. 0/31,5; 0/45; 0/63) potrzebne będą różne zestawy sit tak, aby uzyskane wyniki pozwoliły na sporządzenie wykresu uziarnienia. Otrzymana krzywa uziarnienia mieszanek powinna nie tylko mieścić się w polu wyznaczonym przez krzywe graniczne, ale winien być także spełniony wymóg ciągłości uziarnienia, scharakteryzowany przez minimalną i maksymalną zawartość poszczególnych wąskich klas ziarnowych.

## **Literatura**

1. PN-EN 933-1:2000; PN-EN 933-3:1999; PN-EN 933-4:2008
2. PN-EN 12620:2004; PN-EN 13043:2004; PN-EN 13285:2004