

Wpływ technologii przeróbki na jakość uzyskiwanego kruszywa

Jakość kruszyw mineralnych zależy głównie od jakości surowca, z którego są produkowane. Niektóre, istotne cechy kruszywa związane są z operacjami przeróbczymi stosowanymi w procesie produkcji, a nawet z rodzajem urządzeń. Od rodzaju operacji przeróbczych zależy: skład ziarnowy, zawartość pyłów mineralnych, kształt ziaren, zawartość ziaren przekruszonych, a także odporność na rozdrabnianie. Na czystość kruszyw oddziałują operacje przesiewania i płukania. Operacje kruszenia i rodzaje kruszarek wpływają na zawartość ziaren nieforemnych w produkcji. Z kolei zawartość ziaren nieforemnych oddziałuje na odporność kruszywa na rozdrabnianie. Również jakość betonu uzależniona jest od ilości ziaren nieforemnych występujących w kruszywie.

1. Wprowadzenie

Jakość kruszyw mineralnych w głównej mierze uzależniona jest od charakterystyki surowca, z którego są produkowane. Niektóre, istotne cechy kruszywa związane są z operacjami przeróbczymi stosowanymi w procesie produkcji kruszyw. Do właściwości kruszyw niezależnych od sposobu przeróbki zaliczyć można: mrozoodporność, nasiąkliwość, gęstość, skład chemiczny, skurecz przy wysychaniu, odporność kruszywa na ogrzewanie, odporność na polerowanie, odporność na ścieranie i częściowo odporność na rozdrabnianie. Do właściwości kruszyw wiążących się z rodzajami operacji przeróbczych należy: skład ziarnowy, zawartość pyłów mineralnych, kształt ziaren (wskaźnik kształtu i wskaźnik płaskości), zawartość ziaren przekruszonych i w pewnym stopniu także odporność na rozdrabnianie.

2. Zmiany właściwości kruszyw w porównaniu z właściwościami kopaliny

W procesie pozyskiwania kruszyw łamanych występują zmiany właściwości materiału kamiennego. Wielkość zmian wywołanych eksploatacją i przeróbką skał zależy od właściwości fizyczno-mechanicznych kopaliny. Są one stosunkowo

*Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie.

niewielkie dla skał o małej nasiąkliwości i dużej wytrzymałości na ściskanie. Ogólnie stwierdza się zmniejszenie gęstości i wzrost nasiąkliwości kruszywa w porównaniu z kopaliną, z której uzyskano kruszywo. Dla wapieni jurajskich przyrosty nasiąkliwości kruszywa są rzędu 60–80%, w porównaniu z nasiąkliwością kopaliny [1]. W tabeli 1 zestawiono wybrane właściwości niektórych skał i uzyskanych z nich kruszyw łamanych.

T a b e l a 1

Podstawowe właściwości fizyczno-mechaniczne skał i powstałych z nich kruszyw łamanych [1]

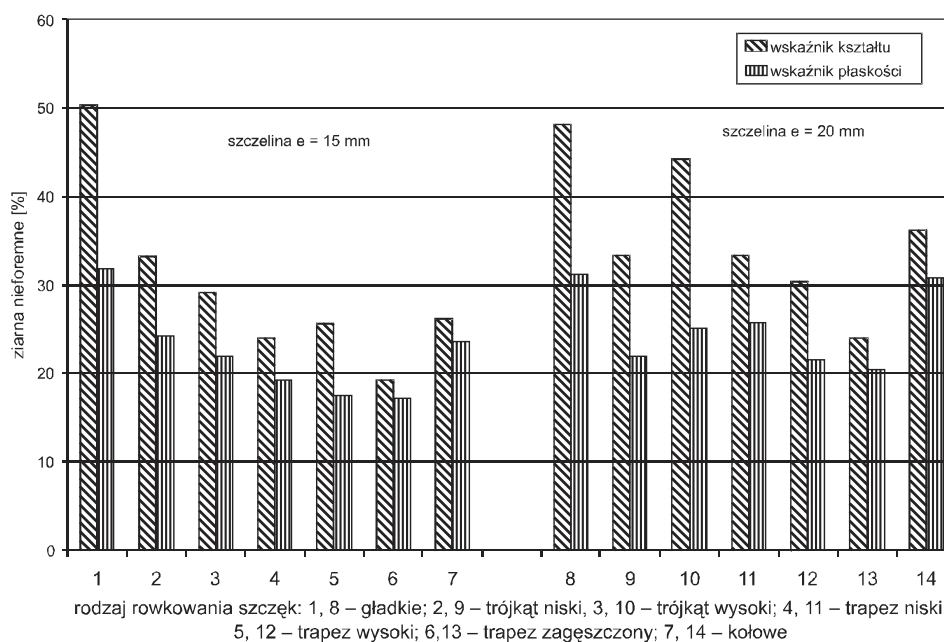
Rodzaj skały	Złoże	Kopalina			Kruszywo 8/16 mm		
		gęstość pozorna [g/cm ³]	nasiąkliwość wagowa [%]	wytrzymałość na ściskanie [MPa]	gęstość pozorna [g/cm ³]	nasiąkliwość wagowa [%]	wskaźnik rozkruszenia [%]
Gnejsy	Doboszowice	2,61	0,48	153	2,58	1,61	10,7
Piaskowce magurskie	Osielec	2,53	1,64	146	2,30	4,82	12,9
	Wierchomla	2,58	1,29	118	2,57	1,67	10,1
	Glinka-Groniczek	2,61	0,77	185	2,28	5,45	14,3
Wapień jurajskie	Morawica III	2,47	2,95	98	2,42	2,93	8,8
	Głuchowiec	2,56	1,84	103			

3. Wpływ procesu kruszenia na jakość kruszyw mineralnych

Kruszenie należy do podstawowych operacji przerobczych stosowanych w procesie produkcji kruszyw. Zwykle stosuje się kilka stopni kruszenia. W zakładach produkcji kruszyw do wstępnego kruszenia najczęściej wykorzystywane są kruszarki szczękowe, a także, chociaż rzadziej, kruszarki stożkowe. Na wtórnych stopniach kruszenia najczęściej pracują kruszarki stożkowe i udarowe. Te ostatnie w głównej mierze stosowane są na końcowych stopniach kruszenia. Z poszczególnych kruszarek (szczękowych, stożkowych i udarowych) uzyskuje się produkty o różnym składzie ziarnowym i różnym kształcie ziaren produktów. Przykładowe krzywe składu ziarnowego oraz zawartość ziaren nieforemnych w produktach kruszenia otrzymywanych z różnych kruszarek zaprezentowano w artykule zamieszczonym w „Pracach Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych” nr 41/42 [2].

Najmniejszą zawartość ziaren nieforemnych uzyskuje się po zastosowaniu kruszarek udarowych. Również kruszarki (granulatory) stożkowe dają produkt o niskiej zawartości ziaren nieforemnych. Najmniej korzystne pod tym względem są kruszarki szczękowe, w których można wpływać na zmniejszenia zawar-

tości ziaren nieforemnych, stosując płyty z odpowiednim rowkowaniem powierzchni kruszącej (ryc. 1).



Ryc. 1. Zawartość ziaren nieforemnych diabazu dla różnych wykładzin szczęk

Analizując wyniki przedstawione na rycinie 1, warto zwrócić uwagę na relację pomiędzy wskaźnikiem kształtu SI (zawartość ziaren nieforemnych określana przy pomocy suwmiarki Schulza) a wskaźnikiem płaskości kruszywa FI (zawartość ziaren nieforemnych określana przy pomocy sit prętowych szczelinowych). Wskaźnik płaskości FI dla analizowanego kruszywa wynosił: $FI = 0,6 SI \div 0,9 SI$. Zależność ta jest słuszna jedynie dla analizowanego tutaj przypadku (ten sam rodzaj skały, porównanie identycznych klas ziarnowych). Dla innych warunków zależność może być całkiem inna.

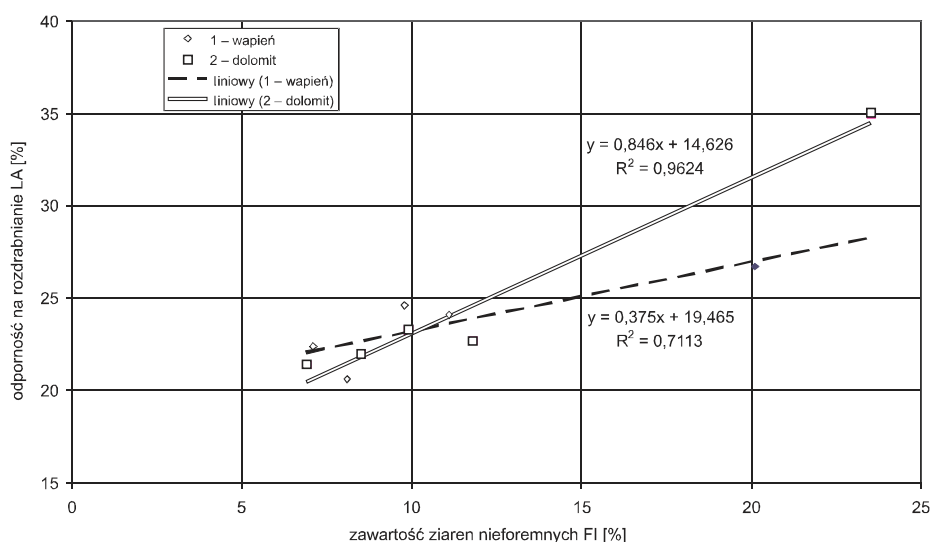
Okazuje się, że kształt ziaren ma wpływ na podatność na rozdrabnianie. W tabeli 2 podano wyniki oznaczeń odporności na rozdrabnianie LA dla kruszyw uzyskanych z tego samego surowca, ale z różnych kruszarek. Z poszczególnych kruszarek uzyskano kruszywa o różnej zawartości ziaren nieforemnych i różnej odporności na rozdrabnianie.

T a b e l a 2

Wyniki oznaczeń odporności na rozdrabnianie LA dla kruszyw o różnej zawartości ziaren nieforemnych (oznaczonych jako wskaźnik płaskości)

Badane kruszywo	Zawartość ziaren nieforemnych [%]	Odporność na rozdrabnianie LA [%]
Wapień (dewon) 6,3/12 po kruszarce szczękowej	SI = 23	31
Wapień (dewon) 6,3/12 po kruszarce szczękowej	SI = 32	34
Wapień (karbon) 4/16	SI = 18	23
Wapień (karbon) 4/16	SI = 30	25
Wapień (jura) 10/14 po kruszarce szczękowej	FI = 11	23
Wapień (jura) 10/14 po kruszarce udarowej	FI = 9	19

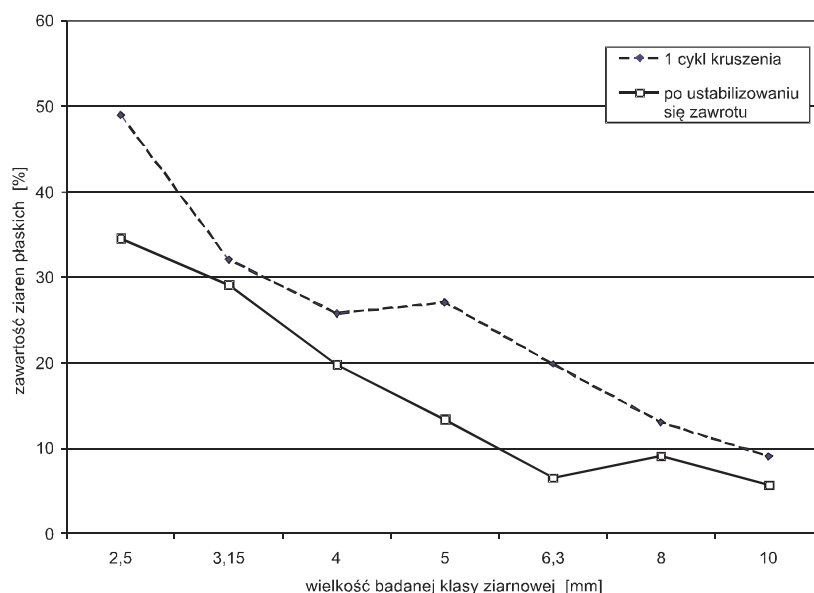
Wyniki przedstawione w tabeli 2 pochodzą z badań laboratoryjnych. Widoczna jest wyraźna zależność wskaźnika LA od zawartości ziaren nieforemnych. Na rycinie 2 zobrazowano wyniki oznaczeń zawartości ziaren nieforemnych i wskaźnika LA dla kruszyw uzyskanych w warunkach przemysłowych, w jednym z zakładów produkcji kruszyw. Prosta 1 odnosi się do kruszyw z wapienia produkowanych na linii wyposażonej w kruszarki stożkowe i udarowe. Prosta 2 przedstawia zależność uzyskaną dla kruszyw dolomitowych produkowanych w zakładzie wyposażonym również w kruszarki stożkowe i udarowe. Wyznaczone zależności regresyjne charakteryzują się dość wysokim współczynnikiem korelacji i potwierdzają zależność wskaźnika LA od zawartości ziaren nieforemnych.



Ryc. 2. Zależność odporności na rozdrabnianie LA od zawartości ziaren nieforemnych FI

Wpływ na efekty rozdrabniania posiada również sposób prowadzenia procesu technologicznego, np. ilość stadiów rozdrabniania, rozdrabnianie w cyklu zamkniętym lub otwartym. Korzystniejsze jest rozdrabnianie materiału w cyklu zamkniętym, ponieważ ziarna płaskie, słabsze fizycznie, które są zawracane do obiegu przy następnym cyklu kruszenia ulegają łatwiejszemu rozkruszeniu, co z kolei wpływa na podniesienie jakości kruszyw łamanych.

Na rycinie 3 przedstawiono zawartość ziaren nieforemnych (wskaźnik płaskości) w produkcie po jednym cyklu kruszenia w obiegu otwartym i po VI cyklu kruszenia, kiedy ustabilizowała się ilość materiału krążącego w obiegu zamkniętym. Zawartość ziaren płaskich w produkcie po VI cyklu kruszenia była niższa o 4–15%, w zależności od klasy ziarnowej, niż dla produktu kruszonego w cyklu otwartym.



Ryc. 3. Porównanie zawartości ziaren nieforemnych chalcedonitu przy kruszeniu w cyklu zamkniętym i otwartym

Duża zawartość ziaren nieforemnych należy do niekorzystnych cech kruszyw odzyskiwanych z odpadów przeróbczych. Ponieważ odpady przeróbcze wydzielane są często w początkowym stadium przeróbki, nie przechodzą one przez wtórne stopnie kruszenia, a to wpływa na niekorzystny ich kształt. Stąd ważne zadanie może posiadać dokruszanie określonych frakcji.

Kształt ziaren jest również bardzo istotny dla mineralnych materiałów drobnopięknych, stanowiących różnego rodzaju wypełniacze. Dotyczy to m.in.: gryków filtracyjnych, kruszywa drobnego do suchych mieszanek tynkarskich, suchych mieszanek na wylewki podłogowe itp. Górna granica uziarnienia tych

materiałów zwykle nie przekracza 3 mm. Właściwy skład ziarnowy i kształt ziaren jest istotny ze względu na spełnienie określonych wymagań technologicznych, np. zapewnienie dobrej reologii zaprawy. W ocenie kształtu ziaren materiałów drobnoziarnistych szczególnie przydatne są analizatory wykorzystujące zjawisko zmiany strumienia promieniowania rozproszonego przez badane cząstki (analizatory laserowe, rentgenowskie lub pracujące w podczerwieni). Ocena kształtu ziaren kruszyw drobnych jest rzadko prowadzona. Z praktyki wiadomo, że najwięcej ziaren nieforemnych otrzymuje się z kruszerek szczękowych. Wyniki pomiarów potwierdziły tę ocenę. W celu porównania wyników pomiarów otrzymanych na analizatorze z normowymi metodami badania kruszyw, oznaczono ilość ziaren, dla których stosunek najmniejszego wymiaru ziarna do największego był mniejszy od 0,33. Analiza tego wskaźnika świadczyła o tym, że trudno jest porównać ze sobą wyniki z analizatora i z przesiewania na sitach prętowych. Oprócz rodzaju urządzenia rozdrabniającego, na kształt ziaren produktów może również wpływać właściwość rozdrabnianej skały.

4. Wpływ procesu przesiewania i płukania na jakość kruszyw mineralnych

Z praktyki wiadomo, że zanieczyszczenia gliniaste koncentrują się w najdrobniejszych klasach ziarnowych. Stąd też dokładne przesiewanie prowadzi do wydzielenia żądanej klasy ziarnowej i zmniejszenia ilości zanieczyszczeń w grubszych frakcjach. Decydujący wpływ posiada sposób przesiewania, który prowadzony może być na sucho bądź na mokro, będąc połączonym z płukaniem kruszywa. Wpływ procesu płukania i przesiewania na jakość kruszyw mineralnych najlepiej prześledzić na przykładzie przesiewania kamienia odpadowego ze zwałowiska. W tabeli 3 i 4 przedstawiono wyniki przesiewania kamienia wapiennego na sucho i na mokro. W sposób graficzny zobrazowano to na rycinie 4.

T a b e l a 3

Skład ziarnowy i chemiczny frakcji kamienia wapiennego wydzielonego z odpadów przeróbczych w Miedziance (przesiew na sucho)

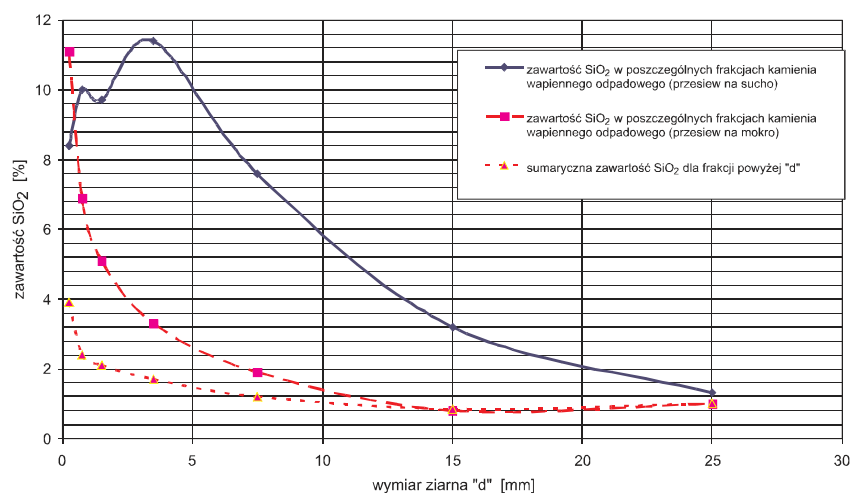
Fracja kamienia [mm]	Udział [%]	Zawartość [%]		
		CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
> 20	10	98,5	1,3	0,5
10–20	33	96,2	3,2	0,8
5–10	24	90,6	7,6	1,7
2–5	16	85,3	11,4	2,6
1–2	11	87,4	9,7	2,6
0,5–1	4	87,4	10,0	2,3
0–0,5	2	89,3	8,4	2,2

T a b e l a 4

Skład ziarnowy i chemiczny frakcji kamienia wapiennego wydzielonego z odpadów przeróbczych w Miedziance (przesiew na mokro)

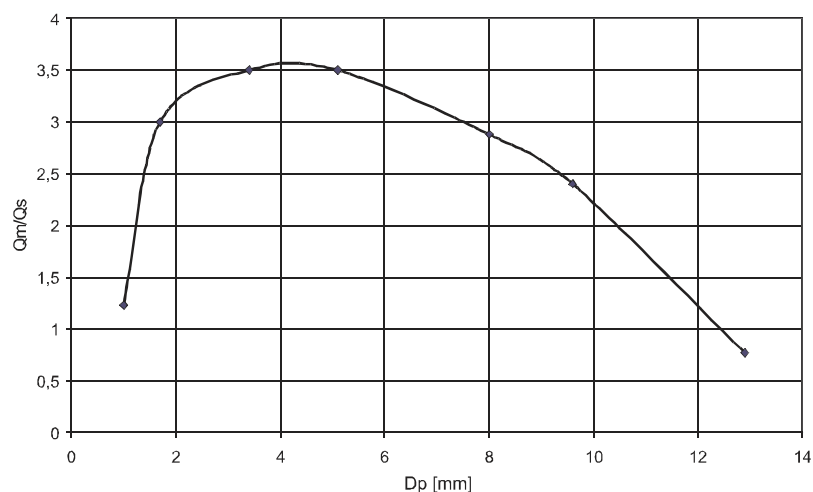
Fracja kamienia [mm]	Udział [%]	Zawartość [%]		
		CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
> 20	9	98,4	1,0	0,5
10–20	26	96,9	0,8	0,5
5–10	18	95,9	1,9	0,5
2–5	15	93,6	3,3	1,3
1–2	9	91,3	5,1	1,4
0,5–1	5	89,9	6,9	1,9
0–0,5	18	78,6	11,1	7,3

Miarą zawartości zanieczyszczeń w kamieniu wapiennym może być zawartość SiO₂. Na rycinie 4 widoczne jest zdecydowane przesunięcie koncentracji zanieczyszczeń do najdrobniejszych frakcji kamienia wapiennego w wyniku przesiewania na mokro. Przykładowo, chcąc uzyskać kamień o zawartości SiO₂ poniżej 1,5% (często stosowane wymaganie w odniesieniu do topnika używanego w hutnictwie), wystarczy wydzielić w procesie mokrego przesiewania frakcję o wymiarach ziaren powyżej 5 mm; w odniesieniu do przesiewania na sucho byłaby to frakcja o uziarnieniu powyżej 20 mm. Podobnie przedstawia się sytuacja w przypadku produkcji kruszyw, gdzie bardzo istotnym parametrem jest zawartość pyłów mineralnych o wymiarach cząstek poniżej 0,063 mm. Płukanie i przesiewanie na mokro gwarantuje maksymalny uzysk czystego kruszywa z zanieczyszczonego materiału skalnego.



Ryc. 4. Zmiany zawartości zanieczyszczeń SiO₂ w kamieniu wapiennym przy przesiewaniu na sucho i na mokro w zależności od ziarna podziałowego „d”

Proces płukania w przypadku niewielkiej ilości zanieczyszczeń może być realizowany na przesiewaczach wibracyjnych wyposażonych w instalacje natryskowe. W znacznych ilościach zanieczyszczeń gliniastych wymagane jest zastosowanie urządzeń płuczących, np. płuczek mieczowych. Na skuteczność usuwania zanieczyszczeń w procesie przesiewania na mokro wpływa wiele czynników, takich jak: ilość wody, ciśnienie wody, czas płukania, czas rozmakania zanieczyszczeń. Czynniki te oddziałują również na wydajność przesiewania. Porównanie wydajności przesiewania na mokro i na sucho Q_m/Q_s , w funkcji wielkości ziarna podziałowego D_p , przedstawiono na rycinie 5 [7].

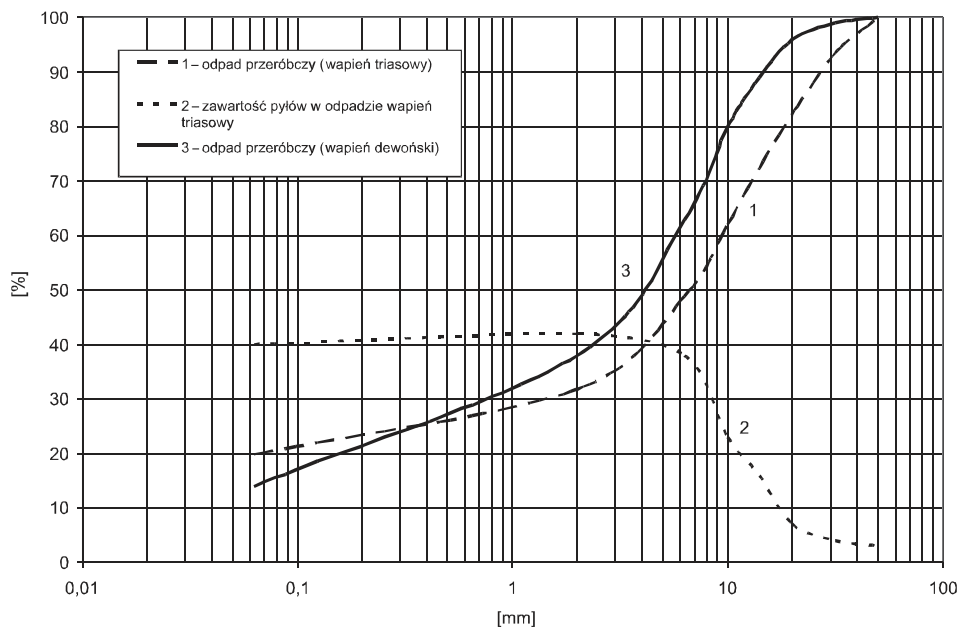


Ryc. 5. Wydajność przesiewania na mokro w stosunku do wydajności przesiewania na sucho w zależności od wielkości ziarna podziałowego; $Q_m/Q_s = f(d_p)$

Wydajność przesiewania na mokro dla drobnych klas ziarnowych (D_p w przedziale $1,5 \div 10$ mm) jest ponaddwukrotnie większa od wydajności przesiewania na sucho.

5. Odzysk kruszyw z mineralnych odpadów przeróbczych

Technologia produkcji kruszyw z odpadów przeróbczych pochodzenia mineralnego (np. w przemyśle wapienniczym) zależy od ilości występujących zanieczyszczeń ilastych. W przypadku zastosowania samej operacji przesiewania kamienia zawartego w odpadach przeróbczych bardzo trudno jest uzyskać kruszywa spełniające odpowiednie wymagania jakościowe. Szczególnie odnosi się to do zawartości pyłów mineralnych, ale pośrednio także do pozostałych parametrów. Zawartość pyłów mineralnych w poszczególnych frakcjach odpadów przeróbczych przedstawiono na przykładzie wapienia triasowego i dewońskiego (ryc. 6). Na wykresie widoczny jest zdecydowany wzrost zawartości pyłów (zanieczyszczeń gliniastych) we frakcjach < 10 mm.



Ryc. 6. Krzywa składu ziarnowego kamienia odpadowego ze zwałowiska odpadów przeróbczych (1 i 3) oraz zawartość pyłów mineralnych (2) w poszczególnych frakcjach odpadu przeróbczego

Stosując przesiewanie materiału zawierającego zanieczyszczenia gliniaste o wilgotności kilku procent, sama operacja przesiewania po krótkim czasie staje się niemożliwa, ze względu na zatykanie się pokładów sitowych. Z tego powodu wymagane jest realizowanie w praktyce operacji przeróbczych umożliwiających oddzielenie zanieczyszczeń gliniastych od ziaren kruszywa. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie procesu płukania kruszyw i przesiewania na mokro. Cenną cechą odpadów przeróbczych jest to, że materiał jest rozdrobniony i często operacja kruszenia występuje w ograniczonym zakresie (np. dokruszanie frakcji powyżej 30 mm). Do niekorzystnych cech kruszyw odzyskiwanych z odpadów przeróbczych należy duża zawartość ziaren nieforemnych. Ponieważ odpady przeróbcze wydzielane są często w początkowym stadium przeróbki, nie przechodzą one przez wtórne stopnie kruszenia, a to wpływa na niekorzystny ich kształt. W tabeli 5 podano parametry jakościowe kruszyw uzyskanych z odpadów przeróbczych w wyniku procesu płukania i przesiewania.

T a b e l a 5

Parametry jakościowe kruszyw wapiennych produkowanych z odpadów przeróbczych w Miedziance, Bogucinie i Płazie

Zakład	Fracja kruszywa [mm]	Zawartość pyłów mineralnych [%]	Zawartość ziaren nieforemnych (wskaźnik kształtu) [%]	Odporność na rozdrabnianie LA [%]
Bogucin	8/16	0,3	29	29
	4/8	0,3	25	32
Miedzianka	2/31,5	1,5–2,4	25–31	32
	8/16	0,4–0,6	28–29	29–30
	2/8	0,5–0,7	25–29	25–32
Płaza	5/25	–	28–33	29

W celu poprawy kształtu ziaren można zastosować kruszarki udarowe o niewielkiej prędkości liniowej elementów udarowych. Sama operacja dokruszania nadziarna może w wystarczający sposób poprawić kształt kruszyw produkowanych z odpadów przeróbczych. Stosunkowo niska odporność na rozdrabnianie kruszyw uzyskiwanych z odpadów przeróbczych wynika nie tyle z jakości surowca, co ze znacznej zawartości ziaren nieforemnych. Dla kruszyw uzyskiwanych z kruszarek udarowych otrzymać można odporność na rozdrabnianie LA rzędu kilkunastu procent.

6. Podsumowanie

Jakość kruszyw zależy od jakości kopaliny oraz zastosowanych operacji przeróbczych i rodzaju urządzeń technologicznych. Procesy płukania poprawiają czystość kruszyw (obniżenie zawartości pyłów mineralnych, eliminacja zanieczyszczeń lekkich). Procesy kruszenia posiadają duży wpływ na kształt ziaren kruszyw łamanych. Zastosowanie granulatorów stożkowych, a szczególnie kruszarek udarowych, umożliwi uzyskanie kruszyw o niewielkiej zawartości ziaren nieforemnych. Zawartość ziaren nieforemnych oddziałuje na odporność kruszyw na rozdrabnianie. Kruszywa o mniejszej zawartości ziaren nieforemnych charakteryzują się większą odpornością na rozdrabnianie. Ponadto, mniejsza zawartość ziaren nieforemnych w kruszywie wpływa na poprawę jakości uzyskiwanego z nich betonu.

Literatura

- [1] B r o m o w i c z J., *Zmiany własności materiału kamiennego w procesie pozyskiwania kruszyw łamanych*, „Surowce i Maszyny Budowlane” 2007, nr 4.
- [2] N a z i e m i e c Z., *Wpływ metody rozdrabniania na jakość kruszyw mineralnych*, „Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych” 2007, nr 41/42.

- [3] K o b i a ł k a R., N a z i e m i e c Z., *Płukanie surowców skalnych, rozwiązania technologiczne i ocena ich funkcjonalności*, [w:] *Nauka, technika, środowisko: VII Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław, 20–22 września 2000*, [red. nauk. W. Głapa], Oficyna Wydawnicza PW, Wrocław 2000.
- [4] N a z i e m i e c Z., G a w e n d a T., *Płukanie kruszyw*, „Surowce i Maszyny Budowlane” 2007, nr 5.
- [5] G a w e n d a T., N a z i e m i e c Z., *Ocena efektów rozdrabniania surowców mineralnych w różnych urządzeniach kruszących*, [w:] *Kruszywa mineralne: surowce, rynek, technologie, jakość, Szklarska Poręba, 26–28 kwietnia 2006 r.*, [red. nauk. W. Głapa], Oficyna Wydawnicza PW, Wrocław 2006.
- [6] N a z i e m i e c Z., G a w e n d a T., *Kruszenie w zamkniętym cyklu technologicznym*, „Surowce i Maszyny Budowlane” 2007, nr 3.
- [7] S z t a b a K., *Przesiewanie*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.

ZDZISŁAW NAZIEMIEC

INFLUENCE OF TREATMENT TECHNOLOGY ON QUALITY OF OBTAINED AGGREGATE

Quality of mineral aggregates depend mainly from quality of raw material, from which they are produced. Some, essential characteristics of aggregate are dependent on treatment operations in production process and even on type of processing machines. From kind of treatment operations depend: grain-size distribution, content of mineral powder, shape of grains, content of „over-crushed” grains, and also breaking resistance. Screening and rinsing operations affect aggregate purity. Crushing operations and type of crushing machines influence content of irregular grains in product. In turn, content of irregular grains affects breaking resistance of aggregate. Quality of concrete is also dependent on amount of misshapen grains occurent in aggregate.