
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 21
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VIII

Warszawa–Opole 2015

ZDZISŁAW NAZIEMIEC*

Zagospodarowanie zanieczyszczonych gliną frakcji wapieni z zakładów produkcji kruszyw łamanych

Słowa kluczowe: płukanie kruszyw, zanieczyszczone frakcje wapieni.

W zakładach produkcji kruszyw łamanych z wapieni, w wyniku procesu przeróbki, powstaje pewna część produktów zawierających znaczne ilości zanieczyszczeń gliniastych. Z uwagi na ograniczone możliwości zagospodarowania tych wapieni gromadzone są one na składowiskach. Ilość i charakterystyka zanieczyszczonych frakcji jest bardzo zróżnicowana i zależy od rodzaju eksploatowanego złoża, rodzaju produktów końcowych i stosowanej technologii przeróbki.

W artykule podano charakterystykę zanieczyszczonych drobnych frakcji wapieni powstających w wybranych zakładach produkcji kruszyw. Badano ich skład chemiczny, skład ziarnowy i inne właściwości fizyczne. W oparciu o uzyskane wyniki badań wskazano na możliwości ich zagospodarowania. Odpowiednio dobrana technologia przeróbki i przyjęty profil produkcji, dostosowany do warunków panujących w danej kopalni, umożliwi optymalne wykorzystanie eksploatowanej skały.

1. Wprowadzenie

W zakładach produkcji kruszyw łamanych ze skał zwięzłych (w tym wapieni), stosowane są procesy kruszenia, przesiewania, a w ostatnich latach coraz częściej procesy płukania. Zależnie od jakości złoża, asortymentu produkcji i technologii przeróbki, w zakładach produkcyjnych powstaje pewna część drobnych frakcji wapieni, które zawierają zwiększoną ilość zanieczyszczeń gliniastych. Zagospodarowanie tych produktów jest trudne, z uwagi na dużą zawartość pyłów mineralnych, a także wysoką zawartość zanieczyszczeń w postaci SiO_2 , Fe_2O_3 i Al_2O_3 . W minionych latach stosowane były głównie procesy przeróbki „na sucho”, to znaczy bez operacji płukania w płuczkach i na przesiewaczach. Powstające frakcje odpadowe posiadały uziarnienie rzędu kilkunastu, a nawet

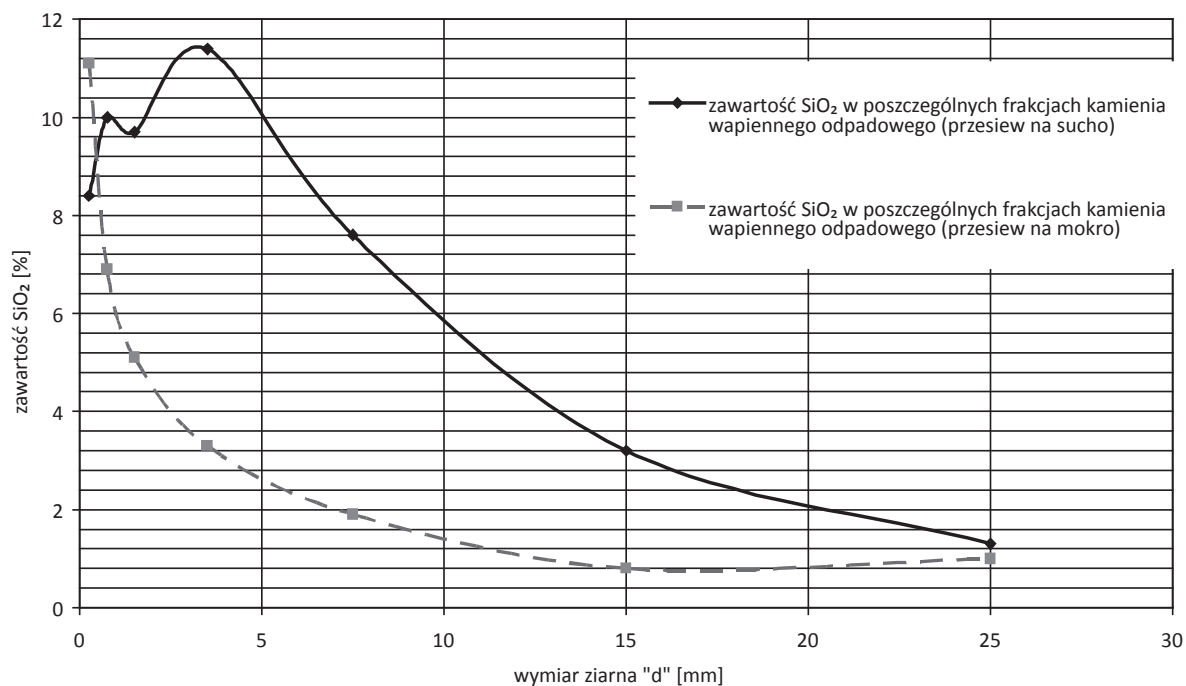
* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, z.naziemiec@icimb.pl

kilkudziesięciu milimetrów. Kiedy do zakładów przeróbczych zaczęto wprowadzać procesy płukania, materiał zgromadzony wcześniej na zwałowiskach stał się doskonałym surowcem do uzyskania kruszyw płukanych. W zakładach produkcji kruszyw płukanych pojawiły się wówczas nowe problemy, związane z zagospodarowaniem najdrobniejszych frakcji, o uziarnieniu często znacznie poniżej 1 mm. Charakterystyka tych frakcji znacznie odbiega od charakterystyki frakcji zanieczyszczonych pochodzących z zakładów przeróbki „na sucho”, posiadających uziarnienie w przedziale od zera do kilkudziesięciu milimetrów. Dodatkowym utrudnieniem w zagospodarowaniu najdrobniejszych frakcji jest znaczna zawartość wilgoci, co utrudnia transport, a w niektórych sytuacjach wymaga wprowadzenia energochłonnej operacji suszenia.

2. Proces powstawania i charakterystyka zanieczyszczonych frakcji wapieni

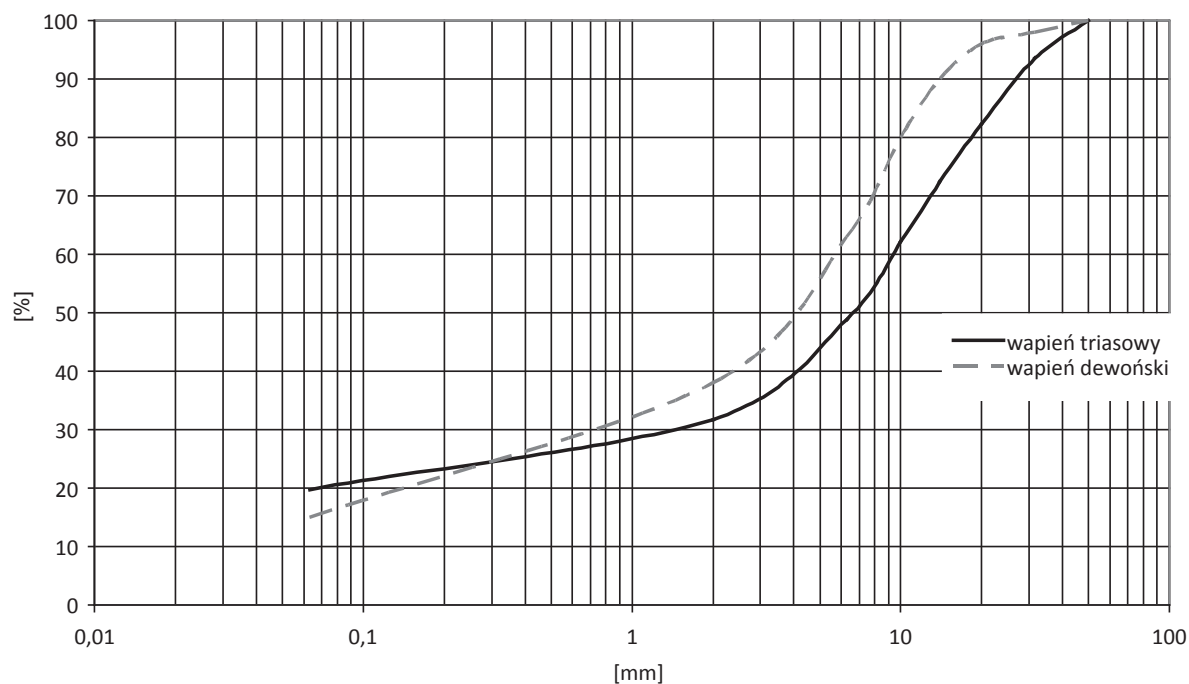
Przy stosowaniu przeróbki mechanicznej kruszyw mineralnych „na sucho”, ilość zanieczyszczonych frakcji kamienia wapiennego wywożonych na zwałowiska pod koniec ubiegłego wieku wynosiła najczęściej kilkanaście procent całego wydobycia. Uziarnienie frakcji odpadowych zamykało się w przedziale od 0 do 20 (30) mm. W ostatnich latach, po wprowadzeniu przeróbki „na mokro”, do płukania kierowane są najczęściej drobne frakcje wapieni, w których występuje koncentracja zanieczyszczeń gliniasto-ilastych. Oprócz frakcji drobnych z produkcji bieżącej, do procesów płukania kierowana jest również nadawa pochodząca ze zwałowisk frakcji odpadowych, utworzonych w poprzednich latach. Nowoczesne urządzenia przeróbcze, jak n.p. turbopłuczki, płuczki ciśnieniowe, czy prasy filtracyjne ułatwiają prowadzenie procesu płukania [1]. W zakładach płukania uzyskuje się czyste kruszywa, ale równocześnie trudne do zagospodarowania drobne frakcje o zwiększonej zawartości zanieczyszczeń gliniastych.

W przeróbce mechanicznej surowców mineralnych znana jest zasada, że koncentracja zanieczyszczeń gliniastych występuje w najdrobniejszych frakcjach. Na rysunku 1 przedstawiono zmiany zawartości zanieczyszczeń w postaci SiO_2 , występujących w różnych frakcjach wapieni, wydzielonych w procesie przesiewania „na sucho” i „na mokro”. Przedstawiona zależność będzie przyjmowała różne wartości, zależnie od rodzaju eksploatowanego surowca. Charakterystyczna jest maksymalna zawartość zanieczyszczeń (w tym przypadku obrazowana zawartością SiO_2) w najdrobniejszych frakcjach, w przypadku płukania kamienia. W odniesieniu do przesiewania „na sucho” maksimum zawartości SiO_2 przesunięte jest w stronę frakcji grubszych [4]. Jest to spowodowane obecnością grudek gliny we frakcjach o wymiarach rzędu 2–5 mm.



Źródło: Badania własne.

Ryc. 1. Zawartość SiO₂ w różnych frakcjach kamienia wapiennego (odpadu przerobczego)



Źródło: Badania własne.

Ryc. 2. Skład ziarnowy odpadów przerobczych stanowiących nadawę do procesu płukania

Na rycinie 2 przedstawiono skład ziarnowy dwóch różnych rodzajów nadawy do płukania (analizy składu ziarnowego wykonywano wg normy PN-EN 933-1,

metodą przesiewania na mokro). Do płukania kierowane są obecnie frakcje wapienia zawierające zanieczyszczenia gliniaste trudne do usunięcia w procesach przesiewania „na sucho” [3]. Podobnie do zawartości SiO₂, przebiegać będzie zawartość pyłów mineralnych w poszczególnych frakcjach kruszyw.

Dzięki procesom płukania wprowadzanym w zakładach przeróbczych, a także doskonaleniu procesów klasyfikacji, granulacja frakcji kruszyw odpadowych, zawierających nadmierne ilości zanieczyszczeń gliniastych, ulega znacznemu obniżeniu. W tabeli 1 podano krótką charakterystykę najdrobniejszych frakcji uzyskiwanych z zakładów płukania składowanych na zwałowiskach.

T a b e l a 1

Uziarnienie zanieczyszczonych frakcji z zakładów płukania

Rodzaj surowca	Technologia przeróbki	Uziarnienie nadawy do płukania [mm]	Frakcje zanieczyszczone po płukaniu	
			uziarnienie [mm]	ilość w stosunku do nadawy [%]
Wapień dewoński	płuczka mieczowa przesiewacze odwadniacze kubelkowe prasa filtracyjna	0–30	0–0,3	15
Wapień triasowy	płuczka mieczowa przesiewacze	0–40	0–2	33
Wapień i dolomit	płuczka mieczowa przesiewacze hydrocyklon prasa filtracyjna	0–30	0–0,1	30
Chalcedonit (ze spągu wyrobiska)	płuczka mieczowa przesiewacze odwadniacz kubelkowy	0–40	0–0,3	30–50

Ź r ó d ł o: Badania własne.

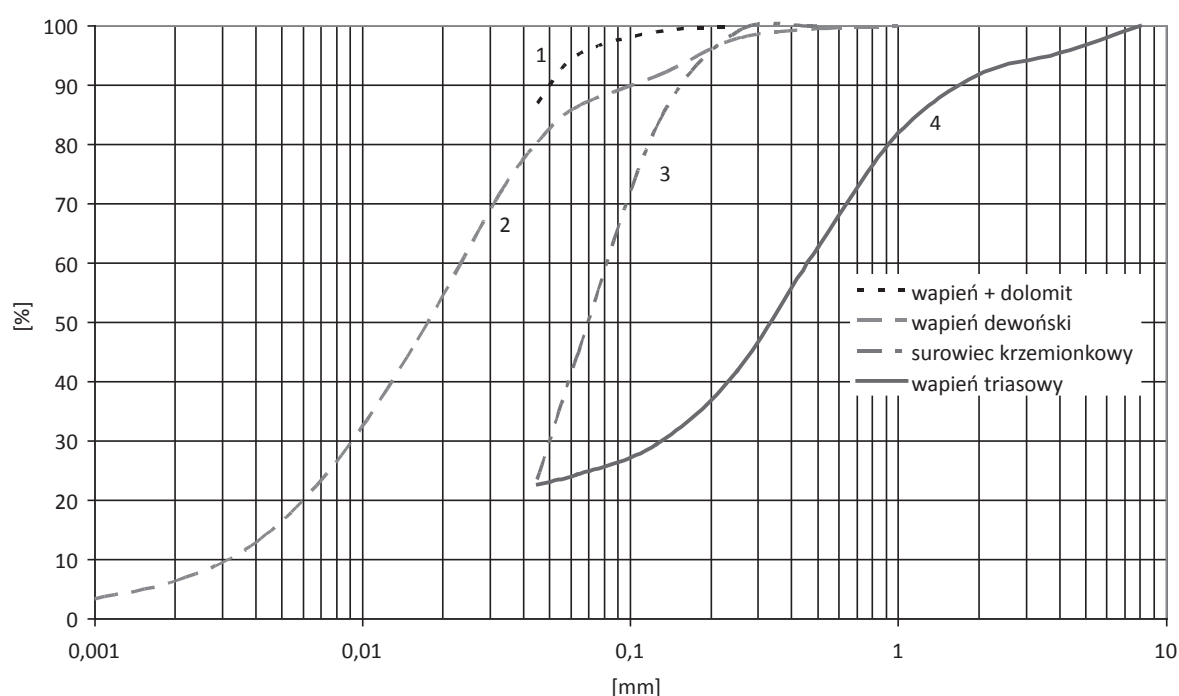
Dokładniejszą charakterystykę najdrobniejszych frakcji zawierających zwiększoną ilość zanieczyszczeń przedstawiono w tabeli 2 i na rycinie 3. W tabeli 2 podano średni skład chemiczny suchej masy szlamów powstających po procesie płukania różnego rodzaju kamienia wapiennego. Szlamy zawierające zanieczyszczenia gliniaste i pyły mineralne pochodzące z rozdrobnienia skały wapiennej poddawane były procesowi odwodnienia w prasie filtracyjnej i wywożone na składowisko (wapień dewoński, wapień z dolomitem) lub kierowane były do osadnika wprost spod sita zainstalowanego na dolnym pokładzie ostatniego stopnia przesiewania. Badania prowadzono w ciągu 1 roku pracy instalacji płukania kamienia wapiennego. Na rycinie 3 przedstawiono skład ziarnowy najdrobniejszych frakcji wydzielanych w procesie płukania i składowanych w osadniku (kamień triasowy i surowiec krzemionkowy), bądź na zwałowisku w postaci placków pofiltracyjnych (wapień dewoński oraz wapień z dolomitem).

T a b e l a 2

Skład chemiczny frakcji drobnych po procesie płukania

Badany materiał	Składnik – zawartość [%]					
	CaCO ₃ (CaO)	MgCO ₃ (MgO)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Pb
Fracja 0–0,3 mm po płukaniu wapienia dewońskiego	72,3 (40,5)	1,2 (0,6)	14,3	4,5	2,1	0,062
Fracja 0–0,2 mm po płukaniu wapienia triasowego	60,0 (33,6)	15,9 (7,6)	12,5	4,2	2,0	–
Fracja 0–0,1 mm po płukaniu wapienia i dolomitu	36,9 (20,65)	7,8 (3,73)	36,5	8,9	3,7	–

Ź r ó d ł o: Badania własne.



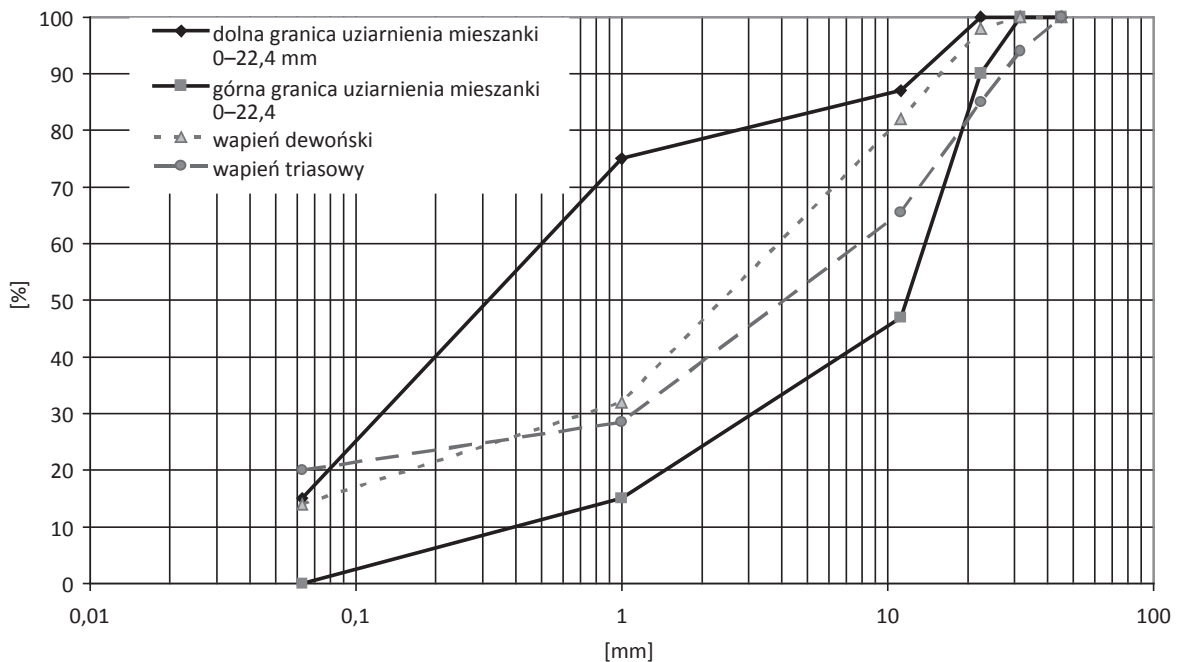
Ź r ó d ł o: Badania własne.

Ryc. 3. Skład ziarnowy szlamów powstających po procesie płukania kamienia wapiennego

3. Możliwości wykorzystania drobnych zanieczyszczonych frakcji kamienia wapiennego

Najprostszym sposobem zagospodarowania zanieczyszczonych frakcji wapieni jest ich wykorzystanie jako składnika mieszanek kruszyw mineralnych. Dotyczy to kruszyw o uziarnieniu do kilkudziesięciu milimetrów, wydzielanych „na sucho” we wstępnych operacjach przeróbczych. W budownictwie drogowym w minionych latach stosowane były mieszanki kruszyw 0–31,5 mm i 0–63 mm,

w których ilość pyłów mineralnych mogła się mieścić w przedziale 0–10%. W ostatnich latach znacznie poszerzono asortyment stosowanych mieszanek. Obecnie w budownictwie wykorzystywane są mieszanki niezwiązane o uziarnieniu 0–8; 0–11,2; 0–16; 0–22,4; 0–31,5; 0–45 i 0–63 mm. Na rycinie 4 przedstawiono skład ziarnowy zanieczyszczonych wapieni, na tle pola dobrego uziarnienia mieszanki 0–22,5 mm.

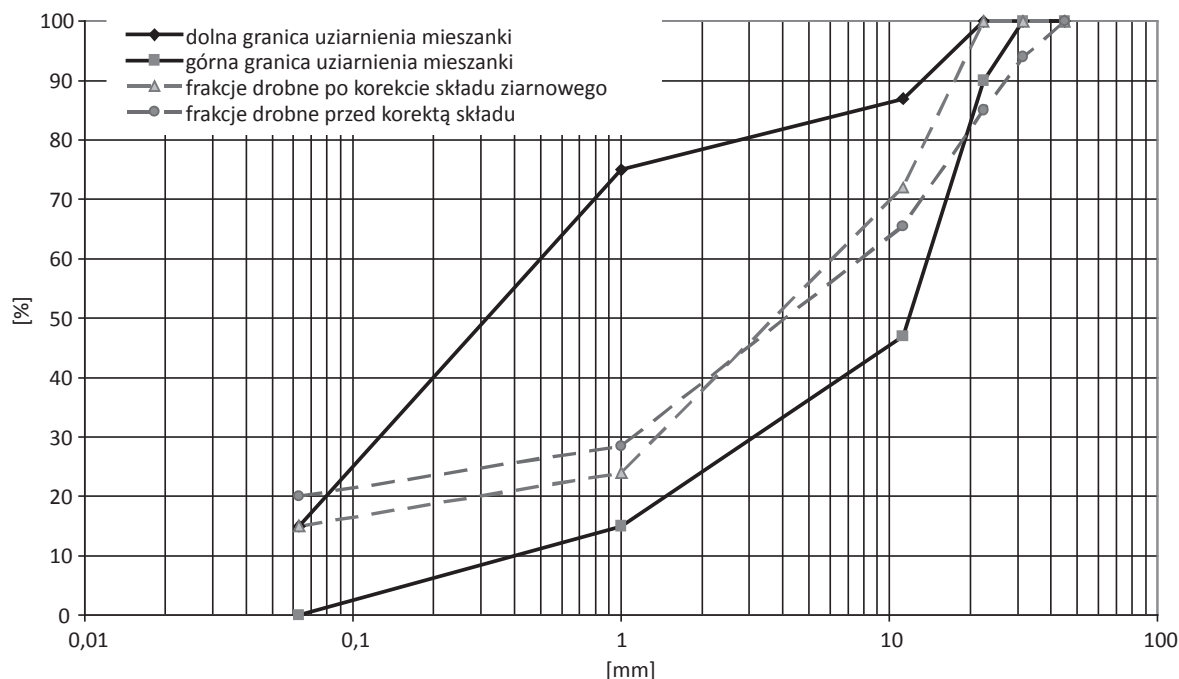


Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Skład ziarnowy zanieczyszczonych frakcji wapieni na tle uziarnienia mieszanki z kruszywa niezwiązanego

Krzywa składu ziarnowego wapienia dewońskiego mieści się w polu dobrego uziarnienia, natomiast wapień triasowy przekracza dopuszczalne granice zarówno w zakresie dolnego, jak i górnego uziarnienia. Skład ziarnowy mieszanki triasowej można skorygować stosując dokruszanie frakcji, powyżej 20 mm, jak i uzupełniając ilość frakcji grubszych. Chcąc uzyskać krzywą składu ziarnowego mieszczącą się w wymaganych granicach, do wapienia triasowego należałoby dodać 25% kruszywa grubego o składzie ziarnowym, jaki uzyskać można z kruszarki o szczelinie wylotowej ok. 20 mm. Skorygowaną w ten sposób krzywą składu ziarnowego przedstawiono na rycinie 5.

Ponieważ ceny kruszyw produkowanych jako grysy są znacznie wyższe niż ceny mieszanek, często drobne frakcje zanieczyszczonego wapienia kierowane są do procesów płukania, dzięki czemu uzyskuje się kruszywa o niskiej zawartości pyłów (najczęściej poniżej 1%). Z procesu płukania uzyskuje się jednak bardzo drobny materiał zawierający znaczne ilości frakcji iłowych i pyłowych.



Źródło: Badania własne.

Ryc. 5. Skład ziarnowy mieszanki kruszyw 0–22,4 (wapień triasowy)

4. Możliwości wykorzystania najdrobniejszych zanieczyszczonych frakcji wapieni z zakładów płukania kruszyw

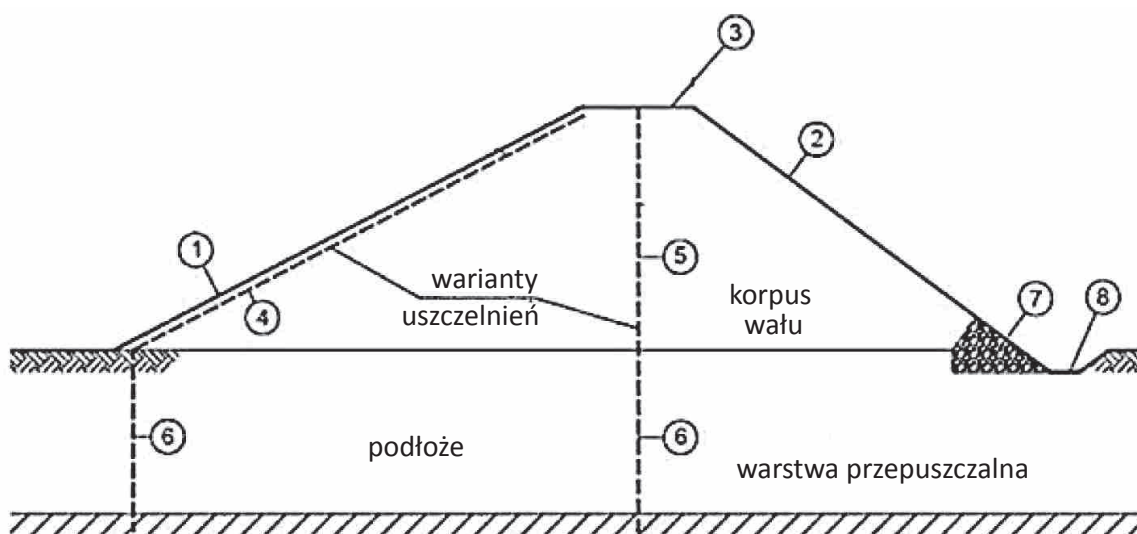
Odkąd stosowane jest płukanie surowców mineralnych, prowadzono liczne próby dotyczące wykorzystania najdrobniejszych frakcji, zawierających podwyższoną ilość zanieczyszczeń gliniastych. W Oddziale Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie badane były możliwości wykorzystania omawianych materiałów do produkcji klinkieru cementowego. Pod względem chemicznym i mineralogicznym badany materiał może być wykorzystany do produkcji klinkieru. Problemem jest jego duża wilgotność, wynosząca ponad 20%, a także potrzeba transportu, co obniża opłacalność takiego rozwiązania.

Badano również możliwości wykorzystania zanieczyszczonych frakcji wapieni jako nawozu wapniowego węglanowego dla rolnictwa. Uzyskano pozytywne wyniki zastosowania zanieczyszczonych wapieni jako składnika odkwaszającego glebę, a także poprawiającego właściwości bonitacyjne gleb zapiaszczonych. Takiemu wykorzystaniu zanieczyszczonych wapieni sprzyjało dobre ich rozdrobnienie, a także stosunkowo niskie wymagania odnośnie do ich składu chemicznego [5]. Obecnie dla nawozów wapniowych węglanowych stawiane są następujące wymagania:

- dla nawozów z przeróbki wapieni: zawartość CaO minimum 40%;
- dla nawozów pochodzących z produkcji ubocznej: CaO minimum 35% i zawartość wody maksimum 10% oraz CaO minimum 30% i zawartość wody maksimum 30%;
- skład ziarnowy: pozostałość na sicie 2 mm maksimum 10%; przesiew przez sito 0,5 mm minimum 50%;
- zawartość kadmu < 8 mg/kg CaO i zawartość ołowiu < 200 mg/kg CaO.

Powyższe wymagania spełnia jedynie badana najdrobniejsza frakcja, uzyskiwana po płukaniu kamienia wapiennego triasowego. W przypadku materiału uzyskiwanego po płukaniu wapienia dewońskiego zawartość CaO wynosi 40,5%, ale przekroczona jest dopuszczalna zawartość ołowiu. We frakcjach najdrobniejszych po płukaniu wapienia i dolomitu zawartość CaO wynosi zaledwie 20,65%.

Stosunkowo nowym rozwiązaniem jest możliwość wykorzystania najdrobniejszych frakcji po procesie płukania kruszyw do uszczelniania wałów osadników ziemnych i rzek. Aby zapobiec nadmiernej szkodliwej filtracji, obwałowania osadników, rzek, czy składowisk odpadów, powinny stanowić szczelną zapórę dla wody. Uszczelnienie wału można osiągnąć dwoma sposobami. Jednym z nich jest ekran położony w płaszczyźnie skarpy odwodnej. Drugim – szczelny rdzeń umieszczony w osi wału. Na rycinie 6 przedstawiono schemat budowy wału przeciwpowodziowego. Ponieważ filtracja przebiega nie tylko przez korpus wału, ale i przez podłoże – również ono powinno zostać uszczelnione. Najlepiej, gdy uszczelnienie to stanowi przedłużenie uszczelnienia ekranu lub rdzenia. Jeżeli warstwa nieprzepuszczalna w podłożu znajduje się niezbyt głęboko, to przesłona szczelna powinna sięgać tej warstwy [2].



Oznaczenia na schemacie: 1 – skarpa odwodna, 2 – skarpa odpowietrzna, 3 – korona wału, 4 – ekran szczelny, 5 – rdzeń szczelny, 6 – uszczelnienie podłoża, 7 – drenaż, 8 – rów odwadniający.

Ryc. 6. Schemat budowy wału przeciwpowodziowego [2]

Najlepszymi materiałami do konstrukcji wałów, biorąc pod uwagę wielkość współczynnika filtracji, powinny być wszelkiego rodzaju gliny, gdyż charakteryzuje je najmniejszy współczynnik filtracji wody (tab. 3). Jednak grunty te zaliczane są do spoistych, a więc takich, dla których daje się wyznaczyć wskaźnik plastyczności, określający procentową zmianę ilości wody w gruncie, której towarzyszy przejście gruntu spoistego ze stanu plastycznego w stan płynny. Z tego też powodu gliny nieuzdatnione nie są najlepszym materiałem do budowy korpusu obwałowań. Nadają się natomiast do budowy nieprzepuszczalnych rdzeni obwałowań zapobiegających filtracji wody [2].

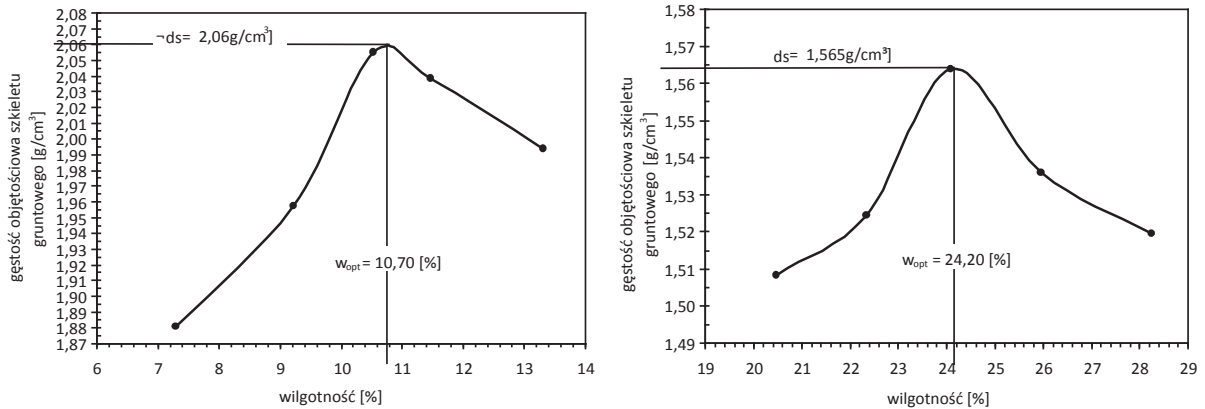
W celu oceny przydatności drobnych frakcji, stanowiących pozostałość po procesie płukania, do budowy wałów przeciwpowodziowych, wykonano badania optymalnej gęstości objętościowej (wg normy PN-B-04481) i współczynnika filtracji (badanie wg PN-55/B-04492). Wyniki oznaczeń optymalnej gęstości przedstawiono na rycinie 7. Współczynnik filtracji k_{10} (tab. 3 poz. 8 i 9) oznaczono przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,95$ i wilgotności optymalnej $w = 10,70\%$, dla wapienia triasowego i $w = 24,20\%$, dla wapienia z dolomit. Dla wapienia triasowego wykonano dwa badania przy tym samym zagęszczeniu $I_s = 0,95$. Różnica w wynikach była niewielka. Natomiast dla materiału wapień + dolomit wykonano dwa badania przy $I_s = 0,98$ i $I_s = 0,95$. Na rycinie 8 przedstawiono zależność wodoprzepuszczalności od zagęszczenia materiału, czyli dla $I_s = 0,95$ oraz $I_s = 0,98$.

T a b e l a 3

Współczynniki filtracji różnych rodzajów gruntów

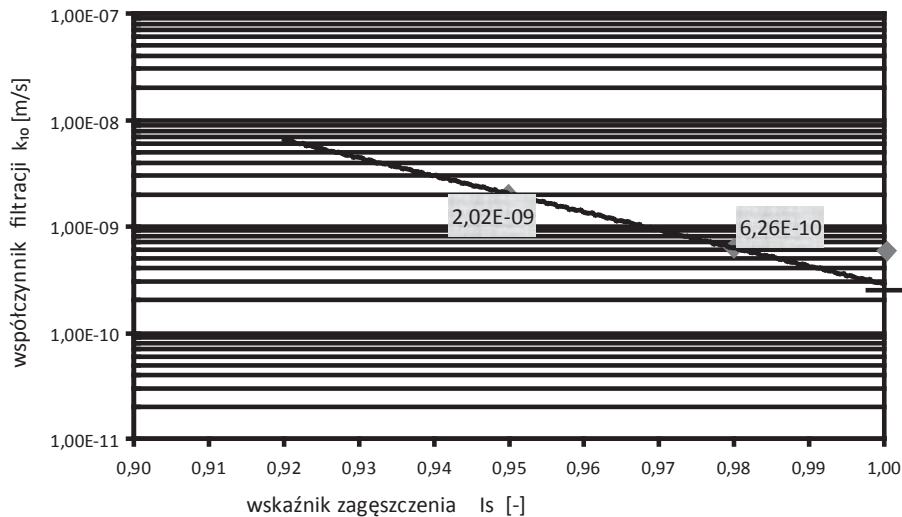
Lp.	Rodzaj gruntu	Współczynnik filtracji k_{10} (m/s)
1	otoczaki, grunt narzutowy	$10^{-1}-10^{-2}$
2	żwir	$10^{-2}-10^{-3}$
3	piasek gruboziarnisty	$10^{-3}-10^{-4}$
4	piasek drobnoziarnisty	$10^{-4}-10^{-5}$
5	piasek gliniasty	$10^{-5}-10^{-6}$
6	glina piaszczysta	$10^{-6}-10^{-7}$
7	ił	$10^{-7}-10^{-8}$
8	szlam po płukaniu wapienia triasowego	$3,0 \times 10^{-7}$
9	szlam po płukaniu wapienia i dolomitu	$2,02 \times 10^{-9}$ ($I_s = 0,95$) $6,26 \times 10^{-10}$ ($I_s = 0,98$)

Ź r ó d ł o: Lp. 1-7 [2]; lp. 8-9 – badania własne.



Źródło: Badania własne.

Ryc. 7. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności: po lewej – wapień triasowy, po prawej – wapień i dolomit



Źródło: Badania własne.

Ryc. 8. Zależność wodoprzepuszczalności od zagęszczenia materiału (wapień i dolomit)

Wyniki badań wskazują, że zarówno drobne frakcje po płukaniu wapienia triasowego, jak i po płukaniu wapienia z dolomitem, nadają się do budowy obwałowań. Widoczny jest znacznie mniejszy współczynnik filtracji dla materiału drobniejszego (wapień z dolomitem). Ponadto uzyskano znaczny spadek współczynnika filtracji dla materiału bardziej zagęszczonego. Z uwagi na niski współczynnik filtracji możliwe jest także wykorzystanie badanych drobnych frakcji wapieni do uszczelniania różnego rodzaju składowisk, czy wyrobisk poeksploatacyjnych.

5. Podsumowanie

Stosowanie procesów płukania w zakładach produkcji kruszyw umożliwia uzyskanie czystych kruszyw, ale równocześnie znacznie podnosi ich koszt wytworzenia. Tam gdzie to możliwe, należy dążyć do maksymalnego wykorzystania kruszyw uzyskiwanych z procesów przeróbki „na sucho”, np. w postaci mieszanek kruszyw, w których mogą znajdować się znaczne ilości pyłów mineralnych pochodzących z rozdrobnienia przerabianej skały, jak i z zanieczyszczeń gliniastych. Najdrobniejsze frakcje uzyskiwane z procesu płukania wapieni stanowią materiał o bardzo zróżnicowanym składzie ziarnowym i chemicznym. Ich skład zależy od rodzaju płukanego surowca, jak i od stosowanej technologii. Forma występowania tego materiału w postaci osadów lub placków filtracyjnych o dużej zawartości wilgoci, utrudnia możliwości jego zagospodarowania. Jednym z możliwych kierunków zagospodarowania najdrobniejszych frakcji uzyskiwanych z procesu płukania jest ich użycie jako materiału do uszczelniania osadników, wałów przeciwpowodziowych i składowisk odpadów.

Literatura

- [1] Ł a g o w s k i J., L u b i e n i e c k i T., S a r a m a k D., *Ocena przebiegu procesu płukania kruszyw w zależności od ciśnienia roboczego w płuczce wysokociśnieniowej*, „Inżynieria Mineralna” 2013, nr 1, s. 49–54.
- [2] B e d n a r c z y k S. i in., *Vademecum ochrony przeciwpowodziowej*, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Gdańsk 2006.
- [3] N a z i e m i e c Z., *Wpływ technologii przeróbki na jakość uzyskiwanego kruszywa*, „Prace Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych” 2009, nr 3, s. 183–193.
- [4] N a z i e m i e c Z., *Efektywność płukania kruszyw w różnych urządzeniach płuczających*. „Prace Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych” 2010, nr 5, s. 163–176.
- [5] G a j e k F., N a z i e m i e c Z., *Przydatność dla rolnictwa mączek wapiennych z odpadów wapieni dewońskich*, „Cement, Wapno, Gips” 1991, nr 7, s. 192–194.

ZDZISŁAW NAZIEMIEC

UTILIZATION OF CLAY CONTAMINATED FRACTIONS OF LIMESTONE
FROM A BROKEN AGGREGATE PROCESSING PLANT

Keywords: aggregates washing, contaminated fractions of limestone.

In limestone broken aggregate processing plants, the fine fractions with a considerable content of clay contaminations are produced. Due to the limited possibilities of utilization of these limestones they are stored on a waste

deposits. The amount and characteristics of the contaminated fractions is highly variable and depends on the type of exploited deposit, as well as the type of the final products and processing technology applied.

In this paper characteristics of the contaminated fine limestone fractions, arised in the selected aggregate processing plants, were presented. Particle size distribution, chemical composition and chosen physico-mechanical properties were under investigations. Based on the above results, some possibilities of their utilization were proposed. A properly selected and approved processing technology and adopted profile of production adjusted to conditions in the mine, enables an optimal utilization of exploited rocks.