

WPLYW CYKLICZNYCH ZMIAN WILGOTNOŚCI NA SKŁAD GRANULOMETRYCZNY ODPADÓW POGÓRNICZYCH

Magdalena BORYS, Piotr FILIPOWICZ

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej

Słowa kluczowe: czynniki atmosferyczne, odpady pogórnice, skład granulometryczny, wietrzenie

Streszczenie

Charakterystycznym procesem, mającym wpływ na właściwości geotechniczne odpadów pogórnich, jest ich wietrzenie. W wyniku wietrzenia może zachodzić rozpad fizyczny lub chemiczny, bądź oba te zjawiska jednocześnie. Odpady pogórnice są wrażliwe na działanie wody, ale intensywność zachodzących procesów zależy od ich składu petrograficznego i mineralogicznego, co potwierdzają wyniki badań przedstawione w literaturze.

W artykule podano ogólną charakterystykę odpadów pogórnich pochodzących z kopalni Węgla Kamiennego Bogdanka z Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Przedstawiono wyniki badań zmiany składu granulometrycznego pod wpływem cyklicznego procesu moczenia i suszenia odpadów pogórnich świeżych zagęszczonych oraz luźno usypanych. Omówiono również wyniki badań odpadów pogórnich świeżych niezagęszczonych poddanych procesowi długotrwałego moczenia.

W artykule porównano wyniki badań składu granulometrycznego odpadów zagęszczonych i niezagęszczonych poddanych procesowi cyklicznych zmian wilgotności oraz poddanych długotrwałemu stałemu moczeniu do zakresu wartości tego składu notowanego dla odpadów świeżych.

Zakresy oraz tendencja zmian zawartości procentowej poszczególnych frakcji ma duży wpływ na parametry wytrzymałościowe oraz filtracyjne odpadów pogórnich. Ma to bardzo duże znaczenie praktyczne w przypadku stosowania odpadów pogórnich do budowy nasypów stale bądź okresowo piętujących wodę.

Adres do korespondencji: doc. dr hab. M. Borys, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 232, e-mail: m.borys@imuz.edu.pl

WSTĘP

Odpady pogórnice są to okruchy skał towarzyszących pokładom węgla, powstające podczas eksploatacji kopalń oraz w procesie wzbogacania węgla. Dużą część odpadów pogórnich jest składowana na hałdach przy kopalniach. Wyróżnia się dwa rodzaje odpadów pogórnich, tj. nieprzepalone i przepalone. Odpady pogórnice nieprzepalone powstają podczas bieżącej eksploatacji kopalń oraz w procesie wzbogacania węgla w zakładach przerobczych. Do tej grupy zalicza się także odpady składowane na hałdach stosunkowo niedługo. Odpady pogórnice przepalone to materiał składowany na starych hałdach, liczących ponad 20 lat, który uległ przepaleniu podczas samozapłonów wewnątrz hałdy.

W ostatnich latach obserwuje się zwiększenie zainteresowania odpadami pogórnymi jako materiałem budowlanym, między innymi do budowy nasypów ziemnych. Zainteresowanie to wynika przede wszystkim z dużych kosztów pozyskiwania gruntów naturalnych, a także z coraz większych opłat za składowanie odpadów pogórnich. Wykorzystanie odpadów pogórnich umożliwiłoby ograniczenie rozbudowy istniejących hałd oraz zmniejszenie zapotrzebowania na nowe tereny pod składowiska odpadów.

Wykorzystanie tego materiału do budowy nasypów jest związane z koniecznością szczegółowego rozpoznania jego parametrów geotechnicznych. Równie istotne jest ustalenie zakresu ewentualnych zmian tych parametrów w czasie, zachodzących na skutek rozpadu materiału na drobniejsze frakcje w wyniku wietrzenia, które jest procesem typowym dla odpadów pogórnich [SKARŻYŃSKA, 1997]. W wyniku wietrzenia może zachodzić rozpad fizyczny lub chemiczny cząstek materiału, bądź oba te zjawiska jednocześnie. Proces wietrzenia jest wywoływany przez wiele czynników atmosferycznych (takich jak wahania temperatury powodujące cykliczne zmiany wilgotności lub zamarzanie wody w porach), a także przez działanie korzeni roślin oraz procesy chemiczne. Intensywność procesu rozpadu odpadów pogórnich w dużym stopniu zależy od ich składu petrograficznego i mineralnego.

Znajomość zakresu oraz tendencji zmian parametrów geotechnicznych pod wpływem procesu wietrzenia ma istotne znaczenie w przypadku zastosowania odpadów pogórnich do budowy nasypów stałe bądź okresowo piętujących wodę.

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule było określenie zmian w składzie granulometrycznym odpadów pogórnich pod wpływem cyklicznej zmiany wilgotności. Przedmiotem badań były nieprzepalone odpady pogórnice pochodzące z Kopalni Węgla Kamiennego Bogdanka w Lubelskim Zagłębiu Węglowym.

PODSTAWOWY SKŁAD PETROGRAFICZNY, MINERALOGICZNY I CHEMICZNY BADANYCH ODPADÓW POGÓRNICZYCH

Głównymi składnikami petrograficznymi odpadów pogórnich z Kopalni Węgla Kamiennego Bogdanka są skały ilaste, których zawartość wynosi 60–88% (tab. 1). Zawartość pozostałych skał wynosi od 5 do 20%.

Tabela 1. Skład petrograficzny karbońskich skał z KWK Bogdanka [Badania ..., 2000; CEBULAK, KOZŁOWSKI, 1980;]

Table 1. Petrographical analysis of the mining waste from the Bogdanka Mine [Badania ..., 2000; CEBULAK, KOZŁOWSKI, 1980;]

Rodzaj skał Type of rocks	Zawartość, % Content, %			
	1980	1984	1996	2000
Howce Claystone	67	60	88	70
Mułowce Mudstone	11	20	5	20
Piaskowce Sandstone	9	15	śl.	śl.
Skały węglanowe (syderyty, margle, wapienie) Carbonate rocks (siderite, marl, limestone)	13	5	7	10

Objaśnienie: śl. – ilości śladowe. Explanation: śl. – trace quantities.

Zdecydowaną większość minerałów (tab. 2) stanowią minerały ilaste z grupy kaolinitu i illitu. Zawartość minerałów ilastych wynosi od 60 do 65%. Pozostałymi minerałami, które można znaleźć w odpadach pogórnich, są: kwarc, syderyt, skalenie, piryt i kalcyt. Dominuje wśród nich kwarc, którego zawartość wynosi od 15 do 25%. W odpadach znajdują się także niewielkie ilości substancji organicznej. Zmienność w czasie zawartości poszczególnych składników jest nieznaczna (tab. 2).

Tabela 2. Skład mineralny odpadów pogórnich z KWK Bogdanka

Table 2. Mineralogical analysis of the mining waste from the Bogdanka Mine

Minerały Minerals	Zawartość, % Content, %	
	1986–1987 ¹⁾	1998–2000 ²⁾
1	2	3
Minerały ilaste Clay minerals	61–68	60–65
– kaolinit kaolinite	29–30	30–35
– illit illite	23–29	20–25
– chloryt chlorite	6–7	5–10
– smektyt smectite	2–3	śl.–10
Kwarc Quartz	15–23	20–25
Miki Mica	3–5	śl.
Skalenie Feldspars	śl.–1	śl.–5

cd. tab. 2

1	2	3
Syderyt Siderite	2–5	2–5
Kalcyt Calcite	–	śl.
Piryty Pyrite	śl.	śl.
Dolomit Dolomite	śl.–0,5	–
Substancja organiczna Organic substance	7–9	5–10

¹⁾ wg GAZDY, OLESZCZYŃSKIEGO i POLLA [1988]. ²⁾ wg Badań ..., [2000].

¹⁾ acc. to GAZDA, OLESZCZYŃSKI and POLLO [1988]. ²⁾ acc. to Badania ..., [2000].

Objaśnienie: śl. – ilości śladowe. Explanation: śl. – trace quantities.

Skład chemiczny odpadów pogórnicych ma duże znaczenie ze względu na potencjalną możliwość zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi lub toksycznymi związkami chemicznymi. Od wielu lat jest prowadzony monitoring składu chemicznego odpadów pogórnicych z KWK Bogdanka, z którego wynika, że zawartość metali ciężkich w tych odpadach nie przekracza ilości dopuszczalnych w glebach ciężkich oraz że metale ciężkie występują w nich najczęściej w formach trudno rozpuszczalnych w wodzie [Badania ..., 1996; 1998; 2000; GAZDA, OLESZCZYŃSKI, POLLO, 1988; SMUSZKIEWICZ, 1995]. Można zatem stwierdzić, że odpady te nie zawierają pierwiastków i substancji toksycznych oraz zagrażających środowisku przyrodniczemu.

METODY BADAŃ I ANALIZA WYNIKÓW

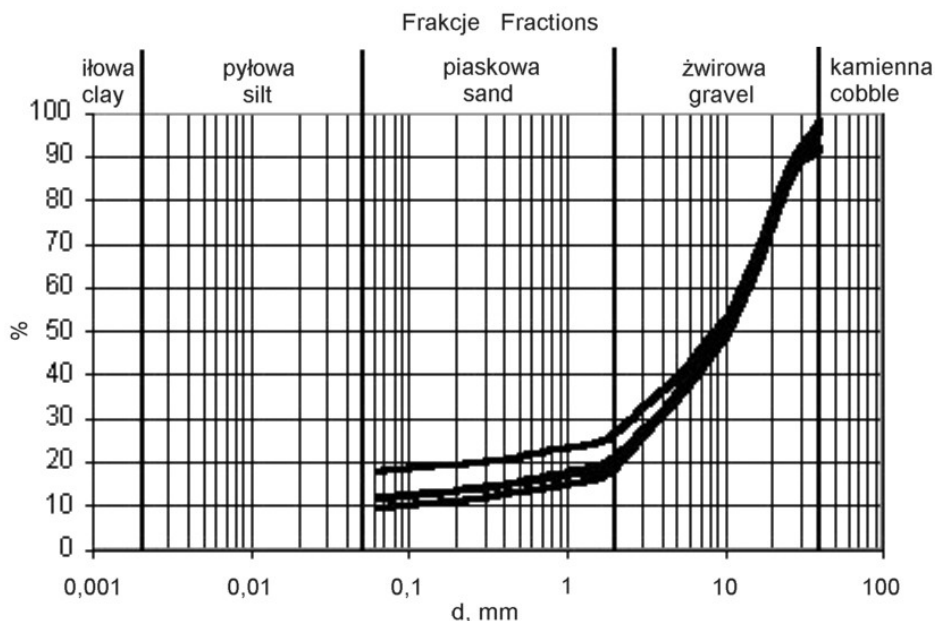
W badaniach wykorzystano próbki świeżych odpadów pogórnicych, które pobrano bezpośrednio z taśmociągu transportującego materiał z kopalni na składowisko. Były to próby o naruszonej strukturze i nienaruszonej wilgotności naturalnej o masie około 200 kg każda.

W pierwszej kolejności określono skład granulometryczny oraz parametry zagęszczania pobranego materiału, takie jak maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego i wilgotność optymalna. W następnej kolejności prowadzono badania modelowe polegające na cyklicznej zmianie wilgotności odpadów pogórnicych.

SKŁAD GRANULOMETRYCZNY ODPADÓW POGÓRNICYCH

Skład granulometryczny świeżych odpadów pogórnicych z KWK Bogdanka oznaczono na podstawie analizy sitowej 4 próbek, o masie 5 kg każda.

Z oznaczeń wynika (rys. 1), że w odpadach pogórnicych dominuje frakcja żwirowa (ziarna o średnicy d od 2 do 40 mm), której zawartość wynosi ponad 70%.



Rys 1. Uziarnienie świeżych odpadów pogórnich z KWK Bogdanka

Fig. 1. Grain size distribution of the fresh mining wastes from the Bogdanka Mine

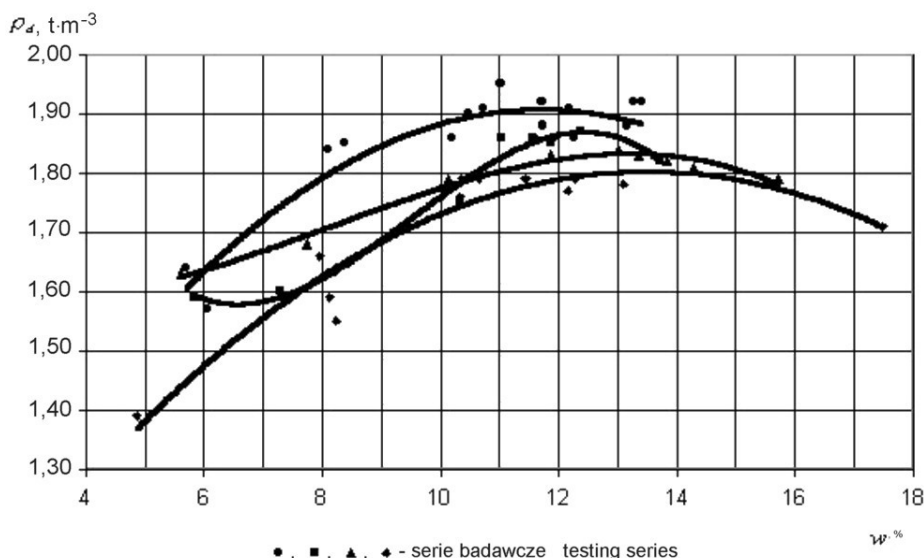
Zawartość frakcji piaskowej wynosi od 6 do 10%, a pyłowej wraz z iltową – od 8 do 18%. Zawartość frakcji kamienistej dochodzi maksymalnie do ok. 10%, co jest spowodowane występowaniem pojedynczych kamieni o wymiarach około 5 cm.

Ze względu na to, że w badanym materiale kamienie o wymiarach około 5 cm występowały bardzo rzadko, zdecydowano że parametry zagęszczenia mogą zostać określone w aparacie Proctora metodą II w dużym cylindrze.

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA I MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO

Maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego i optymalną wilgotność badanych odpadów określono w aparacie Proctora metodą II, w dużym cylindrze o średnicy wewnętrznej równej 152,4 mm [PN-88/B-04481]. Badanie wykonano w 4 powtórzeniach (rys. 2).

Wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego wynosiły od 1,790 do 1,950 t·m⁻³, a optymalnej wilgotności od 11 do 13%. Wilgotność optymalna była zbliżona do wilgotności naturalnej tych odpadów, wynoszącej od 10 do 13%.



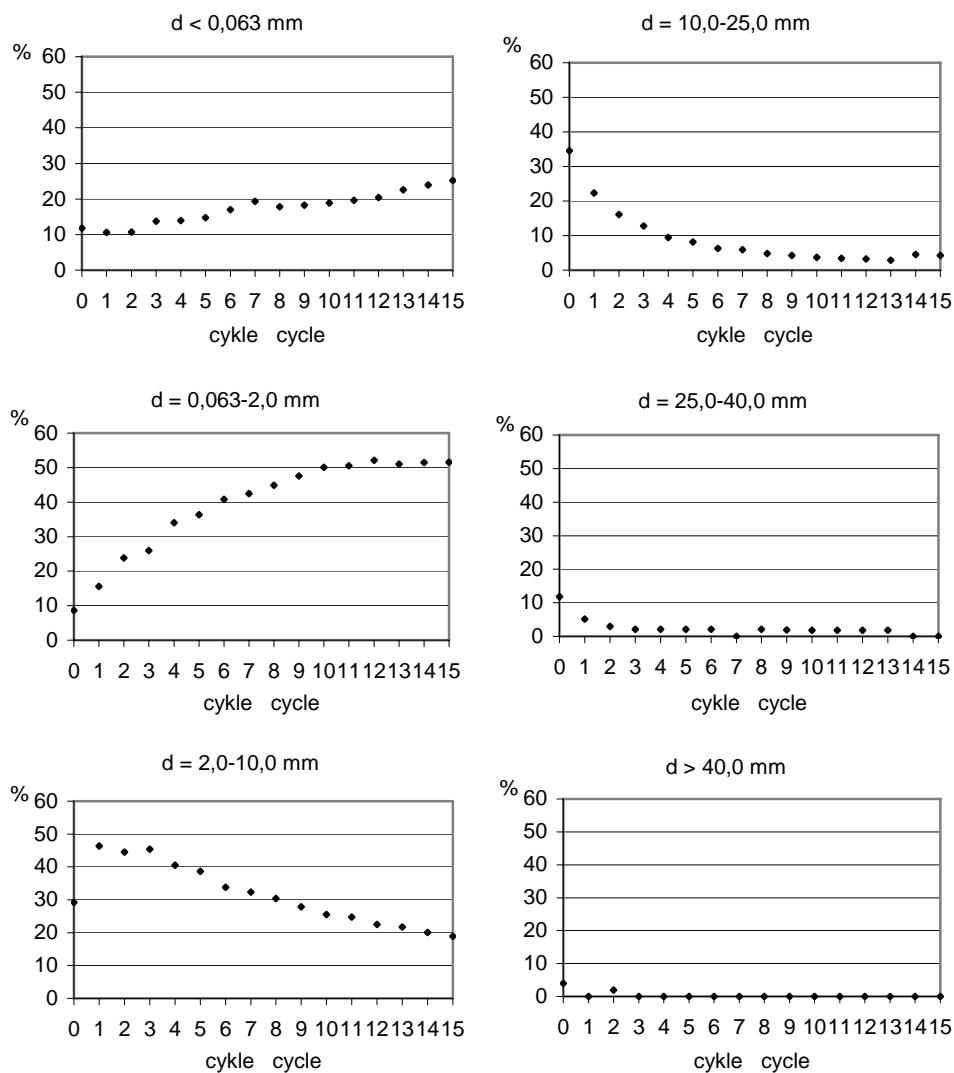
Rys 2. Krzywe zagęszczenia świeżych odpadów pogórnich z KWK Bogdanka

Fig. 2. Compaction curves of fresh mining wastes from the Bogdanka Mine

ODPADY POGÓRNICZE NIEZAGĘSZCZONE PODDANE CYKLICZNYM ZMIANOM WILGOTNOŚCI

Badania przeprowadzono na próbkach odpadów pogórnich luźno usypanych w oddzielnych pojemnikach. Do badania przygotowano 4 próbki, każda o masie 5 kg. Próbki te poddano cyklicznym zmianom wilgotności. Pojedynczy cykl badawczy polegał na moczeniu próbek przez 3 dni, a następnie suszeniu ich przez 3 tygodnie w temperaturze około 30°C. Czas suszenia próbek określono eksperymentalnie we wstępnej fazie badań, tak aby w wyniku powolnego suszenia osiągnąć ich wilgotność zbliżoną do 1%. Moczenie próbek polegało na ich całkowitym zanurzeniu pod wodą. Po każdym tak przeprowadzonym cyklu badawczym poszczególne próbki były dosuszane w temperaturze około 105°C przez 1 dobę, a następnie wykonywano ich analizę sitową. Próbki poddano 15 cyklom badawczym.

Z badań wynika, że w miarę postępujących cykli moczenia i suszenia następuje znaczne zwiększenie zawartości drobnych frakcji (rys. 3). Najwięcej ziaren o średnicy 0,063–2 mm przybyło po pierwszych dwóch cyklach badawczych. Ich zawartość zwiększyła się z 10 do 22%. Najmniejszy przyrost zawartości tej frakcji, wynoszący około 0,5%, zanotowano po 10. cyklu badawczym. Od 10. cyklu wyraźnie widoczne jest stabilizowanie się zawartości ziaren o średnicy od 0,063 do 2,0 mm w odpadach pogórnich.



Rys. 3. Zawartość frakcji ziaren d w odpadach pogórnich świeżych, niezagęszczonych, poddanych cyklicznym zmianom wilgotności

Fig. 3. Content of the d fraction of grains in fresh mining wastes, not compacted and subjected to cyclic changes of water content

Wyniki te świadczą o dość dużej intensywności procesu rozpadu odpadów pogórnich w początkowym okresie działania czynników środowiskowych, powodujących cykliczne zmiany wilgotności materiału. Najlepiej widoczne jest to w przypadku ziaren o średnicy 2,0–10,0 oraz 10,0–25,0 mm.

Największe zmniejszenie zawartości frakcji ziaren o średnicy od 10,0 do 25,0 mm, które wyniosło średnio około 10%, zaobserwowano po 1. cyklu badawczym. Stabilizacja zawartości tej frakcji w odpadach pogórnicych nastąpiła już po 6. cyklu badawczym. Wyniki kolejnych cykli potwierdzają ograniczenie rozpadu ziaren tej frakcji, o którym świadczy coraz mniejszy ich ubytek dochodzący do około 0,2%. Na przykład po 4. cyklu badawczym ubytek ziaren o średnicy od 10,0 do 25,0 mm wynosił około 3%, po 6. cyklu – około 0,5%, natomiast po 15. cyklu – zaledwie 0,2%.

Początkowe zwiększenie zawartości ziaren o średnicy od 2,0 do 10,0 mm, które wyniosło po 1. cyklu badawczym około 17%, jest wywołane bardzo intensywnym rozpadem ziaren o średnicy powyżej 10,0 mm. Potwierdzają to wyniki uzyskane w kolejnych cyklach badawczych dla ziaren o średnicy od 2,0 do 10,0 mm, których zawartość początkowo utrzymywała się na stałym poziomie, a dopiero od 4. cyklu badawczego obserwowano stały, kilku procentowy jej spadek.

ODPADY POGÓRNICZE NIEZAGĘSZCZONE PODDANE PROCESOWI CIĄGŁEGO MOCZENIA

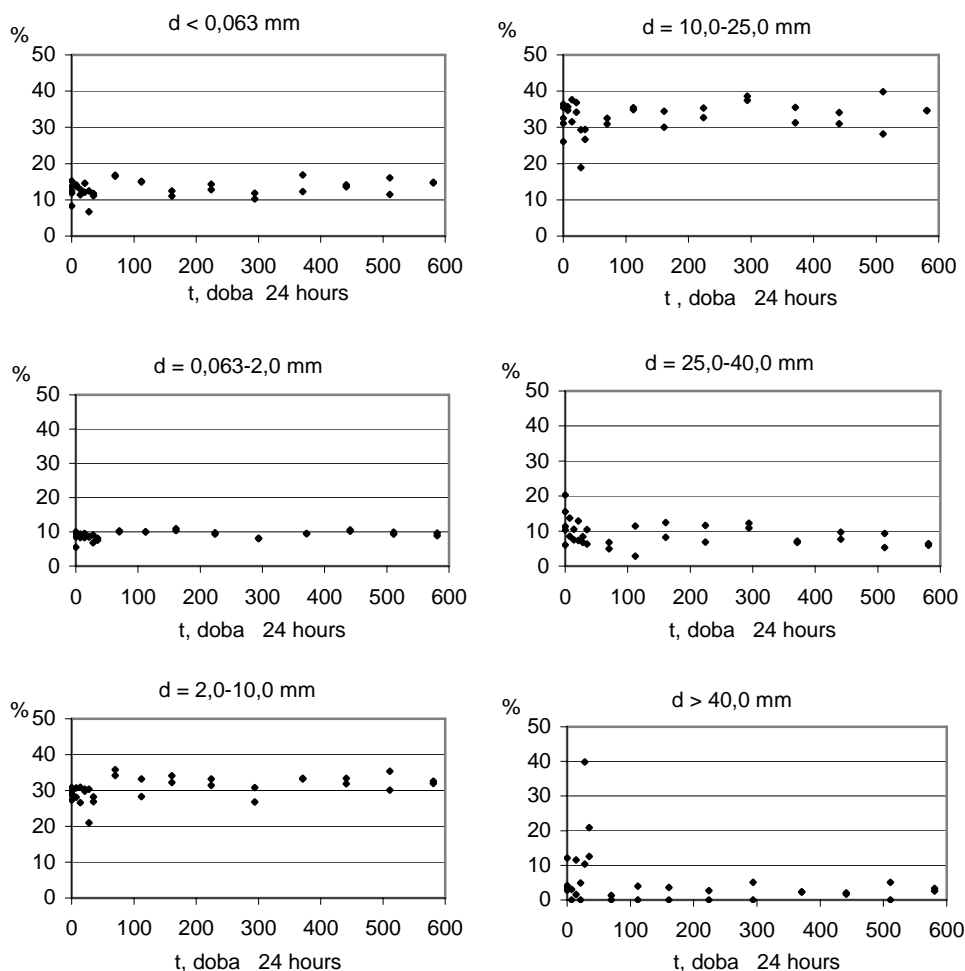
Badania przeprowadzono w dwóch powtórzeniach. Masa pojedynczej próbki wynosiła 5 kg. Cykl badawczy polegał na luźnym usypaniu próbek w oddzielnych naczyniach, a następnie zalaniu ich wodą. Czas na jaki próbki zostały poddane działaniu wody wynosił: 7, 14, 21, 28, 35, 70, 112, 161, 224, 294, 371, 441, 511, 581 dni.

Z badań wynika, że odpady pogórnicych poddane stałemu moczeniu i nienarażone na zmiany wilgotności, nie ulegają procesowi rozpadu tak intensywnemu, jak w przypadku cyklicznych zmian wilgotności (rys. 4).

ODPADY POGÓRNICZE ZAGĘSZCZONE PODDANE CYKLICZNYM ZMIANOM WILGOTNOŚCI

Badania przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Badany materiał doprowadzono do wilgotności zbliżonej do optymalnej (uzyskanej w badaniu aparatem Proctora metodą II), tj. do około 13%, a następnie zagęszczano go w aparacie Proctora metodą II, w specjalnie do tego celu przygotowanych cylindrach, do maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Cylinder badawczy miał objętość około 2,2 dm³, wysokość 12 cm i średnicę 15 cm. Podstawa cylindra oraz jego ścianki miały nawiercone niewielkie otwory umożliwiające swobodny dopływ i odpływ wody do próbki.

Pojedynczy cykl badawczy polegał na moczeniu tak przygotowanych próbek przez zalanie ich wodą na 10 dni. Zalewanie próbek wodą trwało 2 dni i polegało na stopniowym podnoszeniu poziomu zwierciadła wody o około 4 cm, tak aby ostatecznie górna krawędź próbki znajdowała się około 1–2 cm poniżej zwierciadła

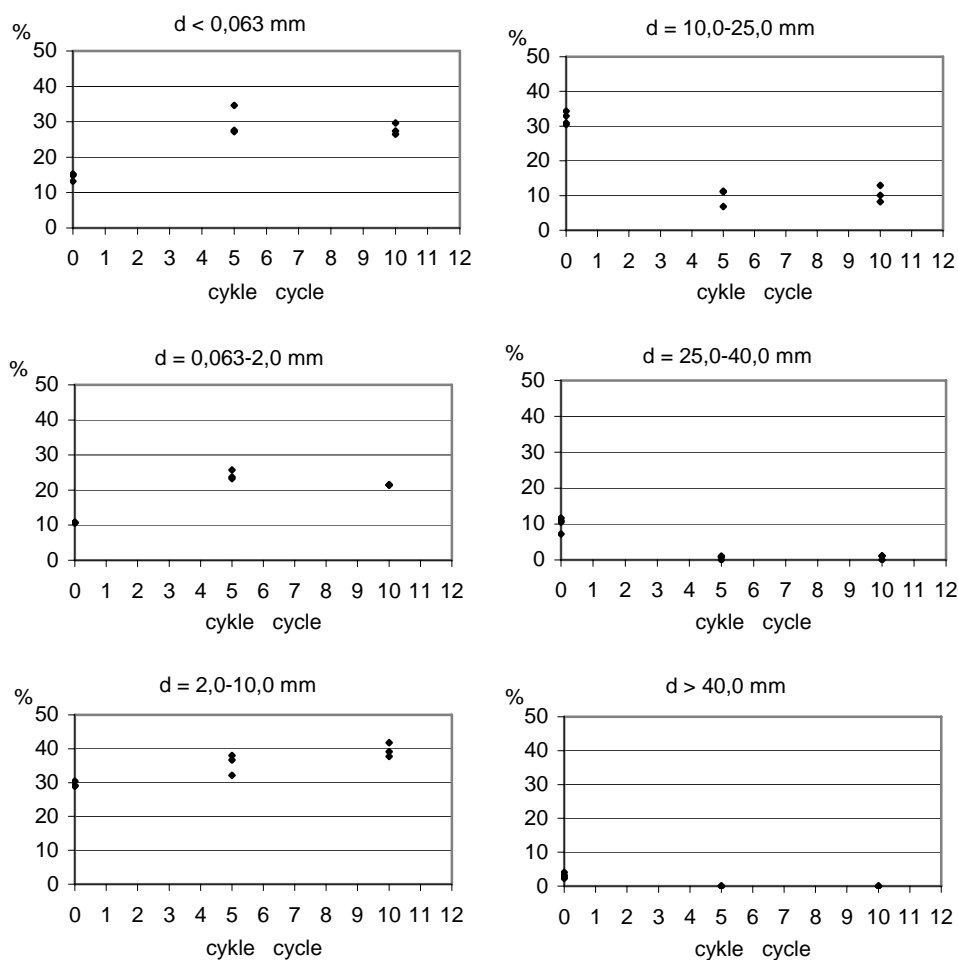


Rys. 4. Zawartość frakcji ziaren d w odpadach pogórnictwa świeżych, nie zagęszczonych, poddanych procesowi stałego moczenia

Fig. 4. Content of the d fraction of grains in fresh mining wastes, not compacted and subjected to continuous soaking

wody. Po 10 dniach poziom wody w naczyniach opuszczano tak, aby całe próbki były powyżej poziomu wody, a następnie pozostawiano je na 3 dni w celu swobodnego odcieku wody. Po 3 dniach próbki suszono przez 3 tygodnie w suszarce, w temperaturze około 30°C .

Zaobserwowano nieznaczne zmiany w zawartości poszczególnych frakcji – większe po 5 cyklach badawczych niż po 10 (rys. 5). Nastąpiło zwiększenie zawartości ziaren o średnicy mniejszej niż $2,0 \text{ mm}$ oraz zmniejszenie zawartości ziaren o średnicy $10,0-25,0 \text{ mm}$.



Rys 5. Zawartość frakcji ziaren d w odpadach pogórnicych świeżych zagęszczonych do $I_s > 0,95$ poddanych cyklicznym zmianom wilgotności

Fig. 5. Content of the d fraction of grains in fresh mining wastes compacted to $I_s > 0,95$ and subjected to cyclic changes of water content

Z badań wynika, że zmiany składu granulometrycznego zagęszczonych odpadów pogórnicych poddanych cyklicznym zmianom wilgotności są niewielkie w stosunku do zmian składu granulometrycznego odpadów luźno usypanych. Można więc sądzić, że zagęszczenie ma duży wpływ na intensywność procesu wietrzenia. Porównując wyniki badań odpadów pogórnicych niezagęszczonych i zagęszczonych można stwierdzić, że zagęszczenie odpadów pogórnicych w istotny sposób ogranicza proces rozpadu ziaren. Zawartość frakcji o średnicy ziaren od 0,063 do 2,0 mm w odpadach pogórnicych niezagęszczonych zwiększy-

ła się o około 25%, a w odpadach pogórnich zagęszczonych – zaledwie o około 15%.

WNIOSKI

1. Badane odpady pogórnice z KWK Bogdanka są materiałem, w którym dominują ziarna o średnicy od 2,0 do 40,0 mm i zgodnie z polskimi normami można je zaliczyć do gruntów gruboziarnistych.

2. Proces wietrzenia spowodowany cyklicznymi zmianami wilgotności odpadów pogórnich jest najbardziej intensywny w początkowym okresie jego działania.

3. Odpady pogórnice dobrze zagęzczone w warunkach wilgotności optymalnej są w mniejszym stopniu narażone na działanie procesu wietrzenia niż odpady pogórnice niezagęzczone.

4. Odpady pogórnice długotrwale zalane wodą lecz nienarażone na zmiany wilgotności, nie ulegają tak intensywnemu procesowi rozpadu jak odpady poddane cyklicznym zmianom wilgotności.

LITERATURA

- Badania skały płonnej z KWK Bogdanka. Dokumentacja, 1996. Katowice: Pomiar GIG maszyn.
- Badania własności fizyko-chemicznych skał karbońskich, lokowanych na składowisku nadpoziomym w Bogdance. Dokumentacja, 1998. Lublin: Pomiar GIG maszyn.
- Badania właściwości fizyko-chemicznych skał karbońskich lokowanych na składowisku w Bogdance i ocena ich przydatności do rekultywacji, 2000. Lublin: Pomiar GIG maszyn.
- CEBULAK S., KOZŁOWSKI K., 1980. Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzno-chemiczna przywęglowych skał płonnych w profilach wiertniczych Cyców-4, Łęczna-4, Łęczna-9 w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Pr. Nauk. U.Śl. Katowice nr 398 s. 47-52.
- GAZDA L., OLESZCZYŃSKI B., POLLO I., 1988. Charakterystyka mineralogiczno-chemiczna oraz analiza możliwości wykorzystania przerobczyc odpadów przywęglowych w kopalni w Bogdance. Prz. Górn. nr 11-12 s. 16-18.
- PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- SKARŻYŃSKA K.M., 1997. Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Kraków: Wydaw. AR ss. 199.
- SMUSZKIEWICZ A.M., 1995. Wpływ składowiska skał płonnych KWK „Bogdanka” na wody podziemne i powierzchniowe. Ekoinżynieria nr 2 s. 25-30.

Magdalena BORYS, Piotr FILIPOWICZ

**THE EFFECT OF CYCLIC CHANGES OF WATER CONTENT
ON THE GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF MINING WASTES**

Key words: atmospheric factors, grain size distribution, mining wastes, weathering

S u m m a r y

The mining industry produces large amounts of waste materials. Part of the mining wastes is stored next to mines in waste dumps. The rest is utilized in civil engineering (highway engineering, railway embankments, river embankments, sink fill, dykes, dams) and harbour engineering (quay engineering, area recovery). High cost of storage and the necessity to occupy new areas incline the coal mines to utilize as much of these materials as possible. Furthermore, a lack of the local soils make the mining wastes a very promising material in civil and harbour engineering.

The paper covers the petrographical, mineralogical and chemical composition of mining wastes from the Bogdanka Mine. It presents the grain size distribution of fresh mining waste taken from mine waste dump and that of fresh mining waste subjected to cyclic and continuous soaking.

The article presents also some geotechnical parameters like: water content, optimal moisture content and maximum dry density of solid particles.

Recenzenci:

dr hab. inż. Zbigniew Lechowicz

prof. dr hab. Waldemar Mioduszeowski

Praca wpłynęła do Redakcji 09.01.2004 r.

