

ZMIANA W CZASIE WYBRANYCH PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH ODPADÓW POWĘGLOWYCH WBUDOWANYCH W NASYPY

Piotr FILIPOWICZ, Magdalena BORYS

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

Słowa kluczowe: nasypy, odpady powęglowe, uziarnienie, wietrzenie, wytrzymałość na ścinanie

Streszczenie

W artykule przedstawiono zakres zmienności wybranych parametrów geotechnicznych odpadów powęglowych, pochodzących z kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka” w Lubelskim Zagłębiu Węglowym, wbudowanych w stare nasypy. Wytypowano 4 nasypy w wieku od 4 do 22 lat w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni, wybudowane z wykorzystaniem odpadów powęglowych. W wybranych obiektach wytypowano po dwa przekroje badawcze, w których określono wskaźnik zagęszczenia odpadowego oraz pobrano próby do szczegółowego oznaczania parametrów geotechnicznych metodami laboratoryjnymi.

W wyniku badań stwierdzono, że zakres składu granulometrycznego odpadów powęglowych wbudowanych w stare nasypy zmienia się wraz z głębokością ich zalegania. Wbudowane odpady powęglowe w stare nasypy zawierają najczęściej frakcji żwirowej (ok. 60%). Warstwy położone głębiej zawierają więcej ziaren grubych, a mniej należących do frakcji pyłowej i ilowej. Skład granulometryczny wbudowanego materiału w dużym stopniu zależy również od warunków hydrogeologicznych danego obiektu.

Na podstawie przeprowadzonych badań odpadów powęglowych wbudowanych w stare nasypy stwierdzono, że odpady te mają stosunkowo dobre właściwości jako materiał do budowy nasypów ziemnych, w tym również stale lub okresowo piętrzących wodę. Cechuje je większa wrażliwość na zmiany klimatyczne w porównaniu z gruntami mineralnymi. Zastosowanie do budowy nasypów materiału zagęszczonego do wartości wskaźnika zagęszczenia I_s , przekraczającej 0,92, oraz odpowiednich warstw zabezpieczających wbudowany materiał odpadowy powinno zmniejszyć niekorzystny wpływ czynników atmosferycznych, powodujących wietrzenie fizyczne, chemiczne i biologiczne odpadów powęglowych.

Adres do korespondencji: mgr inż. P. Filipowicz, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej, al. Hrabstwa 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31, e-mail: p.filipowicz@imuz.edu.pl

WSTĘP

Przemysł jest nierozłącznie związany z powstawaniem dużych ilości materiałów odpadowych. Podczas działalności gospodarczej człowieka powstają między innymi odpady powęglowe. Część z nich jest składowana na hałdach, natomiast pozostałe wykorzystuje się w budownictwie oraz do rekultywacji terenu. Możliwość wykorzystania materiałów odpadowych, pochodzących z bieżącej produkcji oraz składowanych na hałdach, do budowy nasypów hydrotechnicznych, a więc budowli stale lub okresowo piętrzących wodę, łączy się z koniecznością szczegółowego rozpoznania ich parametrów geotechnicznych. Równie istotne jest określenie zakresu ewentualnych zmian wartości tych parametrów w odpadach powęglowych w czasie na skutek działania procesu wietrzenia. Odpady te w naturalny sposób podlegają temu procesowi, powodującemu rozpad grubych ziaren na drobniejsze. Wywołują go różne czynniki atmosferyczne, takie jak: wahania temperatury powodującej cykliczne zmiany wilgotności czy zamarzanie wody w porach, działanie korzeni roślin, a także procesy chemiczne [KLIMASZEWSKI, 2005; TWARDOŚKA, 1981]. Znajomość zakresu oraz tendencji zmian parametrów geotechnicznych spowodowanych procesem wietrzenia – w przypadku zastosowania odpadów powęglowych do budowy nasypów stale bądź okresowo piętrzących wodę – ma istotne znaczenie praktyczne dla ich prawidłowej eksploatacji.

W artykule przedstawiono zakres zmienności wybranych parametrów geotechnicznych odpadów powęglowych pochodzących z kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka” w Lubelskim Zagłębiu Węglowym wbudowanych w przeszłości w korpusy nasypów. Wytypowano 4 obiekty położone w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni, wykonane z wykorzystaniem odpadów powęglowych. Na tych obiektach wyznaczono po dwa przekroje badawcze, w których określono wskaźnik zagęszczenia wbudowanego materiału odpadowego. Pobrano również próby tego materiału w celu szczegółowego określenia jego parametrów geotechnicznych. W pobranych próbach określono w laboratorium m.in.: uziarnienie, wilgotność naturalną, wilgotność optymalną, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, współczynnik filtracji, kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH OBIEKTÓW

Do badań szczegółowych wytypowano 4 obiekty, którymi były nasypy wykonane z odpadów powęglowych pochodzących z KWK Bogdanka. Okres eksploatacji nasypów w momencie badań terenowych przeprowadzonych w 2003 r. szacowano na 4–22 lata. Wybrane obiekty znajdują się w powiecie Łęczna w województwie lubelskim.

Obiekt 1 – nasyp drogowy po 5 latach eksploatacji, położony bezpośrednio przy hałdzie odpadów powęglowych z KWK Bogdanka. Został on wykonany na

przełomie lat 1997 i 1998. Na nasypie wybudowano drogę, wykorzystywaną przez ciężki sprzęt transportujący odpady powęglowe. Nawierzchnia drogi jest wykonana z płyt betonowych perforowanych, ułożonych na warstwie piasku średniego grubości 0,20 m. Poniżej występuje warstwa odpadów powęglowych, których miąższość szacuje się na ok. 0,5 m. Do budowy wykorzystano odpady powęglowe świeże, transportowane prosto z kopalni. Pod warstwą odpadów powęglowych znajduje się warstwa piasku średniego szarego z gładzikami wapienia. Wbudowane odpady powęglowe zostały zagęszczone za pomocą statycznego walca okołkowanego bez określania grubości zagęszczanej warstwy oraz liczby przejazdów po tym samym śladzie.

W wytypowanych dwóch przekrojach wykonano niwelację poprzeczną przez nasyp. Przekrój I na tym obiekcie pokazano na rysunku 1.



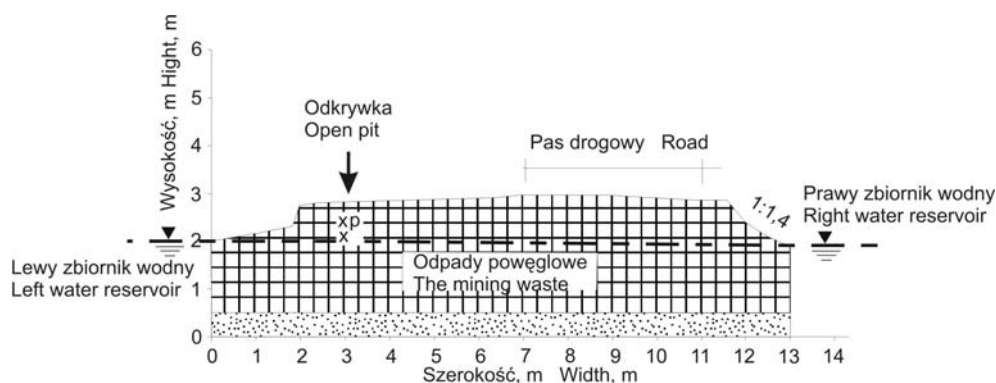
Rys. 1. Przekrój poprzeczny I przez nasyp na obiekcie 1: x – miejsce pobrania dużych próbek do szczegółowych badań w laboratorium, p – miejsce określenia gęstości objętościowej wbudowanych odpadów powęglowych

Fig. 1. Characteristic cross-section I of embankment on the object 1: x – place to take large samples for detailed lab studies, p – place to determine bulk density of built-in coal mine wastes

Obiekt 2 – grobla międzystawowa po 10 latach eksploatacji. Pełni ona jednocześnie rolę drogi. Wykonano ją na przełomie lat 1993 i 1994 z odpadów powęglowych świeżych transportowanych prosto z kopalni. Korpus nasypu wykonano, usypując odpady powęglowe, a następnie zagęszczając je spycharką. Miąższość wbudowanych odpadów wynosi ok. 2,5 m. Zwierciadło wody po obu stronach grobli i w korpusie w momencie badań układało się ok. 1,0 m poniżej korony. Droga na grobli jest użytkowana okresowo przez samochody osobowe.

Wykonano instalację poprzeczną w dwóch przekrojach – na rysunku 2. pokazano przekrój poprzeczny II przez groblę.

Obiekt 3 – droga na torfach po 4 latach eksploatacji. Wykonany w 1999 r. odcinek drogi ma długość ok. 780,0 m. Miąższość wbudowanych odpadów powę-



Rys. 2. Przekrój poprzeczny II przez groblę – obiekt 2: x, p – jak pod rys. 1

Fig. 2. Characteristic cross-section II of embankment – object 2: x, p – as in Fig. 1

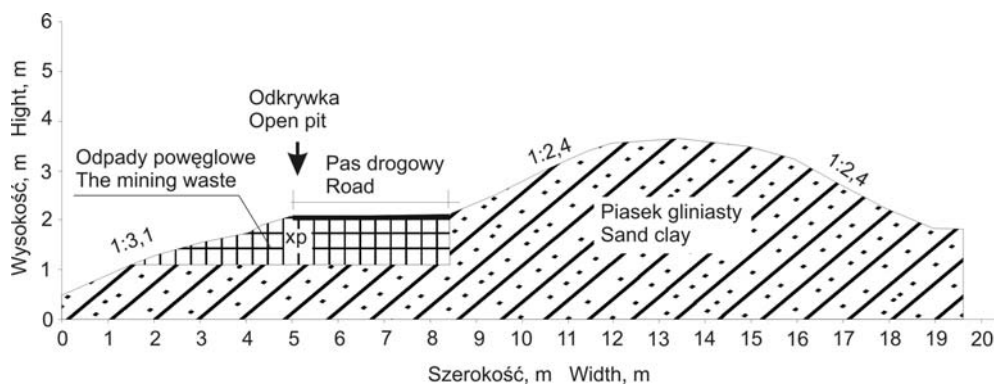
głowych wynosi ok. 3 m. Drogi wykonano, usypując materiał bez zagęszczania. Znajduje się ona na terenie, w którego podłożu występują torfy oraz wysoki poziom wody gruntowej, dlatego niemożliwe było wykorzystanie maszyn do dogęszczenia każdej z wbudowywanych warstw odpadów powęglowych. Na podstawie wywiadu przeprowadzonego z wykonawcą oraz wśród okolicznych mieszkańców wiadomo, że układano poszczególne warstwy odpadów powęglowych o przypadkowej miąższości, a następnie oczekiwano, aż osiadą pod własnym ciężarem. Po tym jak pierwsza warstwa odpadów osiadła, układano kolejną. Układane w ten sposób odpady wypierały torf i tonęły pod własnym ciężarem. Po ustabilizowaniu się osiadania kolejnej warstwy front robót przesuwno do przodu.

Zwierciadło wody gruntowej w wytypowanych do badań dwóch przekrojach badawczych znajdowało się ok. 0,6 m poniżej powierzchni terenu. Na rysunku 3. pokazano przykładowo przekrój II drogi na torfach.

Obiekt 4 – ławeczka lewego obwałowania kanału Wieprz–Krzna po 22 latach eksploatacji. Ławeczka została wykonana w 1981 r. Początkowy jej odcinek o długości ok. 200 m pełni rolę drogi dojazdowej do posesji, jest ona także intensywnie używana przez ciężki sprzęt transportowy. Dalszy odcinek pełni rolę drogi przy obwałowaniu kanału Wieprz–Krzna.

Pierwszy wytypowany przekrój znajdował się na odcinku rzadziej użytkowanym, a miąższość wbudowanych tam odpadów dochodziła do 0,9 m (rys. 4).

Drugi przekrój wytypowano na odcinku ławeczki obwałowania użytkowanej przez właścicieli posesji oraz ciężki sprzęt transportowy. Wbudowane tam odpady powęglowe zostały wymieszane z popiołem oraz piaskiem średnim zaglinionym, co stwierdzono po wykonaniu odkrywki badawczej, dlatego zrezygnowano z tego przekroju i nie pobierano próbek do badania w laboratorium. Uznano, że domieszki, znajdujące się w odpadach powęglowych, mogłyby wpłynąć na jego parametry geotechniczne.

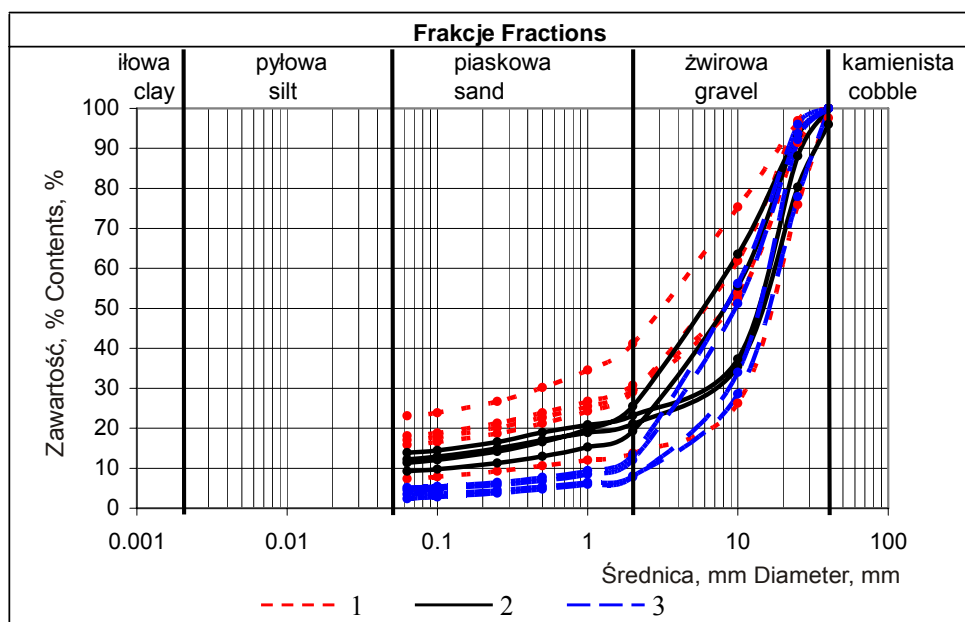
Rys. 3. Przekrój II przez drogę wykonaną na torfach – obiekt 3: x, p – jak pod rys. 1Fig. 3. Characteristic cross-section II of the road on peat – object 3: x, p – as in Fig. 1Rys. 4. Przekrój I przez ławeczkę lewego obwałowania kanału Wieprz-Krzna – obiekt 4: x, p – jak pod rys. 1Fig. 4. Section I of the bench of left embankment of the Wieprz-Krzna canal – object 4: x, p – as in Fig. 1

WŁAŚCIWOŚCI GEOTECHNICZNE BADANYCH ODPADÓW POWĘGLOWYCH

UZIARNIENIE

Uziarnienie odpadów powęglowych oznaczono metodą sitową po wstępnym namoczeniu, powodującym odklejenie się cząstek, należących do frakcji pyłowej i ilowej, od grubszych. We wszystkich próbkach największy udział miała frakcja żwirowa – ponad 60%. Jej udział zwiększał się wraz z głębokością wbudowania odpadów w nasyp.

Próbki pobrane z drogi na torfach, gdzie występowała największa miąższość odpadów powęglowych spośród badanych obiektów, poddano analizie zmian uziarnienia wraz z głębokością. Próbki odpadów powęglowych pobrane powyżej zwierciadła wody gruntowej, z głębokości 0,3 m, zawierały nieznacznie więcej cząstek o średnicy $<0,063$ mm w porównaniu z pobranymi z warstwy tuż nad zwierciadłem wody gruntowej (0,5 m). Zdecydowaną różnicę w zawartości procentowej tych cząstek można zauważyć w odpadach pobranych z głębokości 0,3 m i 1,0 m (rys. 5). Próbki pobrane z głębokości 1,0 m były w pełni nasycone wodą, ponieważ zwierciadło wody gruntowej układało się na głębokości 0,6 m poniżej terenu. Odpady powęglowe w stanie pełnego nasycenia wodą zawierały zdecydowanie mniej cząstek należących do frakcji pyłowej i ilowej niż pobrane powyżej zwierciadła wody.



Rys. 5. Krzywe uziarnienia odpadów powęglowych pobranych z różnej głębokości na obiekcie 3 – przekrój I; 1 – 0,3 m, 2 – 0,5 m, 3 – 1,0 m

Fig. 5. Grain size distribution curves of coal mine wastes taken from different depths on object 3 – section I; 1 – 0.3 m, 2 – 0.5 m, 3 – 1.0 m

Podobne wyniki uzyskano na podstawie badań odpadów powęglowych pobranych z grobli międzystawowej, w której zwierciadło wody oznaczono na głębokości 1,0 m poniżej korony nasypu. Położenie zwierciadła wody gruntowej ma ścisły związek z poziomem wody w zbiornikach po obu stronach grobli.

Określono skład granulometryczny badanego materiału po różnym czasie zalegania w nasypie. W związku z tym, że nie jest znane uziarnienie odpadów przed ich wbudowaniem w omawiane nasypy, a badany materiał pochodzi z samej kopalni, można założyć, że początkowo skład granulometryczny odpadów był zbliżony. Przyjmując takie założenie, można analizować tendencję zmian uziarnienia odpadów powęglowych w czasie.

Odpady powęglowe wbudowane w nasypy zawierają wraz z upływem czasu coraz więcej drobnych cząstek. Materiał najstarszy, mający 22 lata, zawierał więcej cząstek należących do frakcji pylastej i ilowej o ok. 10% w porównaniu z odpadami 4-letnimi (tab. 1).

Tabela 1. Uziarnienie odpadów powęglowych pobranych z korpusów nasypów z głębokości 0,5 m z wytypowanych obiektów w terenie

Table 1. Grain size distribution of coal mine wastes taken from embankment at a depth of 0.5 m from selected field objects

Obiekt Object	Udział frakcji, % Particles content, %			
	pyłowa z ilową silt with clay ($<0,063$ mm)	piaskowa sand ($0,063-2,0$ mm)	żwirowa gravel ($2,0-40,0$ mm)	kamienista cobble ($>40,0$ mm)
1	9,0–19,9	4,9–15,4	63,7–82,5	0,0–11,2
2	7,7–20,9	6,3–11,7	66,9–79,6	0,0–12,8
3	8,7–13,9	4,7–14,1	72,5–85,2	0,0–9,7
4	10,7–25,6	8,9–15,6	55,8–71,1	1,5–10,7

Objaśnienie: 1 – nasyp drogowy, 2 – grobla międzystawowa, 3 – droga na torfach, 4 – ławeczka lewego obwałowania kanału Wieprz–Krzna.

Explanations: 1 – road embankment, 2 – dike between ponds, 3 – road on peat, 4 – bench of the left embankment of the Wieprz–Krzna canal.

W odpadach pobranych ze wszystkich obiektów z głębokości 0,5 m zaobserwowano zmniejszanie się udziału frakcji żwirowej wraz z czasem zalegania odpadów w nasypie. Na przykład materiał 22-letni zawierał ok. 18% mniej cząstek należących do frakcji żwirowej niż materiał 4-letni. Zaobserwowane tendencje zmiany uziarnienia badanych odpadów powęglowych są podobne do stwierdzonych przez SKARŻYŃSKĄ i in. [1987] w odpadach z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, które wbudowano w korpusy nasypów.

WILGOTNOŚĆ

Wilgotność naturalna badanych odpadów powęglowych wynosiła od 8 do 13% (tab. 2). W próbkach pobranych z drogi na torfach (obiekt 3) z przekrojów I i II

z głębokości 1,0 m nie oznaczono wilgotności naturalnej, ponieważ pobrane próby znajdowały się całkowicie poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Uzyskane wyniki badań odpadów powęglowych zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wilgotność naturalna badanych odpadów powęglowych

Table 2. Natural water content in studied coal mine wastes

Obiekt Object	Przekrój Section	Głębokość pobrania próbek, m Sampling depth, m	Wilgotność naturalna, % Natural water content, %
1	I	0,5	9
	II	0,5	8
2	I	0,3	10
		0,5	13
		1,0	12
	II	0,5	10
		1,0	11
3	I	0,3	8
		0,5	8
		1,0	–
	II	0,3	8
		0,5	9
		1,0	–
4	I	0,5	9

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA I MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO

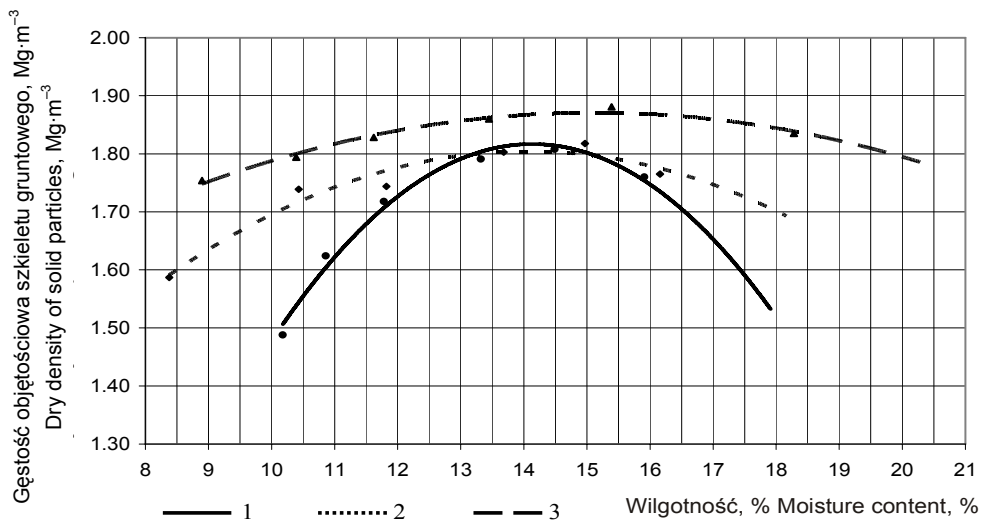
Parametry zagęszczania określano w laboratorium w aparacie Proctora metodą II wg PN-88/B-04481. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że wartości maksymalnej gęstości objętościowej oraz wilgotności optymalnej różniły się nieznacznie w poszczególnych próbkach odpadów powęglowych. Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego wynosiła od 1,802 do 1,967 Mg·m⁻³, natomiast wilgotność optymalna od 11 do 15% (tab. 3). Przykładowe zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności odpadów pobranych z różnych głębokości z przekroju I na grobli międzystawowej (obiekt 2) przedstawiono na rysunku 6.

Na podstawie wyników badań odpadów powęglowych wbudowanych we wszystkie korpusy nasypów można stwierdzić, że ich parametry zagęszczania nie różnią się znacząco, mimo różnic czasu eksploatacji nasypów.

Tabela 3. Wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu badanych odpadów powęglowych zalegających na głębokości 0,5 m**Table 3.** Optimum water content and maximum dry density of solid particles in studied coal mine wastes at a depth of 0.5 m

Obiekt Object	Wilgotność optymalna Optimum water content %	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego Maximum dry density of ground skeleton $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$
1	14–15	1,852–1,935
2	14–15	1,818–1,824
3	12–13	1,867–1,923
4	15	1,850

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.



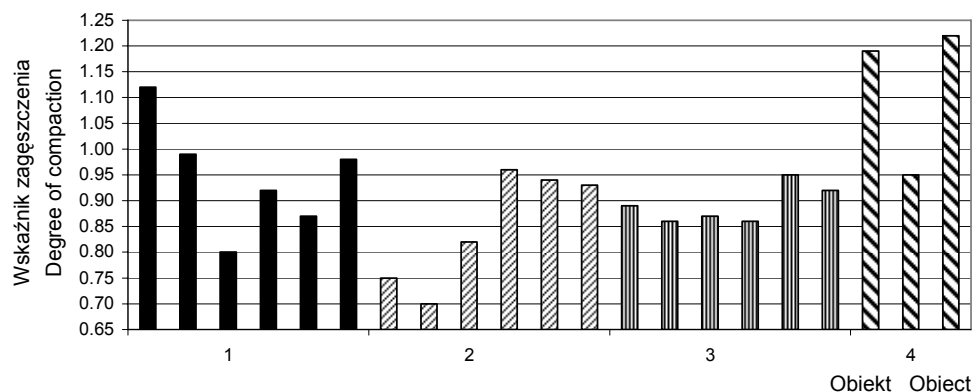
Rys. 6. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności odpadów pobranych z różnych głębokości z przekroju I na obiekcie 2; 1 – 0,3 m, 2 – 0,5 m, 3 – 1,0 m

Fig. 6. The relationship between dry density of ground skeleton and water content in wastes taken from different depths from section I on object 2; 1 – 0.3 m, 2 – 0.5 m, 3 – 1.0 m

WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA

Gęstość objętościową odpadów powęglowych wbudowanych w korpusy nasypów badano metodą próbných wykopów za pomocą piasku kalibrowanego. W tym celu w odkrywkach o objętości wynoszącej od 1,5 do 2 m³ wykonywano ręcznie otwory o objętości od 2500 do 4500 cm³. Na podstawie masy wybranego gruntu z otworów i jego wilgotności naturalnej obliczono gęstość objętościową, a następnie gęstość objętościową szkieletu gruntowego odpadów, która posłużyła do okre-

ślenia wskaźnika zagęszczenia (rys. 7). Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że najlepsze zagęszczenie miały odpady powęglowe 5- i 22-letnie z nasypu drogowego przy hałdzie odpadów powęglowych oraz ławeczki lewego obwałowania kanału Wieprz–Krzna. Tak duże wartości wskaźnika zagęszczenia są wynikiem intensywnego ruchu samochodowego na tych obiektach, w wyniku którego prawdopodobnie zostały dogęszczone przypowierzchniowe warstwy odpadów powęglowych.



Rys. 7. Wskaźnik zagęszczenia odpadów powęglowych wbudowanych w korpusy nasypów, na głębokości 0,5 m na obiektach 1, 2, 4 oraz na głębokości 0,3 m na obiekcie 3; obiekty, jak w tabeli 1

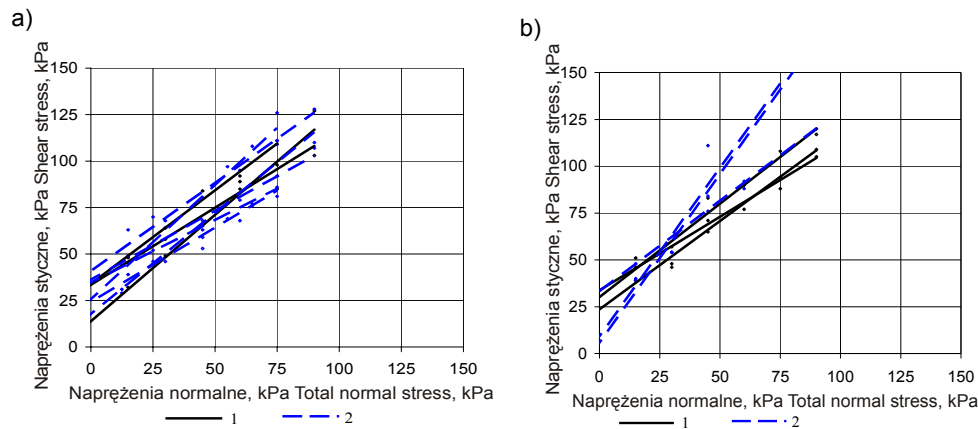
Fig. 7. Degree of compaction of coal mine wastes in embankment's body at a depth of 0.5 m on objects 1, 2, 4 and at a depth of 0.3 m on object 3; objects as in Tab. 1

Uzyskane wartości wskaźnika zagęszczenia, przekraczające 1,0, w badanych odpadach powęglowych potwierdzają, że jest to dość specyficzny materiał. Wykorzystanie ciężkiego sprzętu budowlanego do wbudowywania odpadów powęglowych w korpusy nasypów powoduje rozpad grubych okruchów skalnych na drobne cząstki, w związku z czym wskaźnik zagęszczenia może przekraczać 1,0 [SKARŻYŃSKA, BURDA 1988].

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE

Wytrzymałość na ścinanie określono w laboratorium w aparacie bezpośredniego ścinania w próbkach o wymiarach 120 x 120 x 60 mm. Badaniu poddano próbki zagęszczone w warunkach wilgotności naturalnej i gęstości objętościowej szkieletu gruntowego odpowiadających wartościom oznaczonym w odpadach wbudowanych w korpusy nasypów oraz w warunkach wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu oznaczonej w tych odpadach w aparacie Proctora (tab. 4).

Zależność naprężeń stycznych od naprężeń normalnych w odpadach powęglowych zagęszczonych do gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu przedstawiono graficznie na przykładzie próbek pobranych z nasypu drogowego – obiekt 1 (rys. 8).



Rys. 8. Zależność naprężeń stycznych od naprężeń normalnych w próbkach odpadów powęglowych z dwóch przekrojów nasypu drogowego zagęszczonych w różnych warunkach; a – przekrój I, b – przekrój II; 1 – wilgotność naturalna i gęstość objętościowa szkieletu odpowiadające wartościom oznaczonym w odpadach wbudowanych w korpusy nasypów, 2 – wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu oznaczona w aparacie Proctora

Fig. 8. The relationship between shear stresses and normal stresses in samples of coal mine wastes from two sections of road embankment compacted in different conditions; a – section I, b – section II, 1 – natural water content and dry density of skeleton referring to the values determined in wastes built in embankment's body, 2 – optimum water content and maximum dry density of skeleton analysed in the Proctor's apparatus

Zakres wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności odpadów pobranych z korpusów nasypów zamieszczono w tabeli 5.

Odpady powęglowe zagęszczano w warunkach wilgotności optymalnej w taki sposób, aby uzyskać wskaźnik zagęszczenia równy 0,92, natomiast w warunkach wilgotności naturalnej, tak aby uzyskać wskaźnik zagęszczenia wynoszący od 0,76 do 1,12. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że odpady zagęszczane zarówno w warunkach wilgotności naturalnej, jak i optymalnej miały podobną wytrzymałość na ścinanie. Większe wartości kąta tarcia wewnętrznego zaobserwowano tylko w próbkach z jednego przekroju, zagęszczanych w warunkach wilgotności optymalnej niż w zagęszczanych w warunkach wilgotności naturalnej. Wartości spójności w próbkach zagęszczanych w warunkach wilgotności optymalnej były w większości przypadków większe niż w zagęszczanych w warunkach wilgotności naturalnej.

Tabela 5. Kąt tarcia wewnętrznego i spójność odpadów powęglowych badanych w aparacie bezpośredniego ścinania i zagęszczonych w warunkach wilgotności naturalnej ($I_s = 0,76-1,2$) i optymalnej ($I_s = 0,92$)

Table 5. Angle of sheering resistance and cohesion of coal mine wastes tested in the apparatus of direct shearing and condensed at a natural ($I_s = 0.76-1.2$) and optimum water content ($I_s = 0.92$)

Obiekt Object	Przekrój Section	Kąt tarcia wewnętrznego, ° Angle of shering resistance, °		Spójność, kPa Cohesion, kPa	
		$I_s = 0,76-1,12$	$I_s = 0,92$	$I_s = 0,76-1,12$	$I_s = 0,92$
		1	I	39-48	33-51
	II	38-44	44-60	24-34	6-33
2	I	27-40	31-38	12-30	29-39
	II	43-46	38-50	23-31	20-51
3	I	36-39	34-41	33-34	32-62
	II	34-40	38-44	33-42	34-57
4	I	36-48	34-51	27-43	30-36

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Badając odpady powęglowe z Górnosląskiego Zagłębia Węglowego, KOZIELSKA-SROKA [1995] stwierdziła, że im dłużej są one wbudowane w korpusy nasypów, tym mają mniejszy kąt tarcia wewnętrznego, natomiast spójność nie zmienia się wyraźnie.

Zaobserwowane zmiany wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności badanych odpadów powęglowych, związane z warunkami zagęszczania, są podobne do stwierdzonych przez GRUCHOTA [2001]. Podał on, że wraz ze zwiększeniem wartości wskaźnika zagęszczenia zwiększa się ogólna wytrzymałość na ścinanie odpadów powęglowych, przy czym można zaobserwować wyraźne zwiększenie spójności, natomiast kąt tarcia wewnętrznego może zmieniać się w niewielkim zakresie w obu kierunkach. W trakcie procesu zagęszczania może bowiem nastąpić rozdrobnienie materiału.

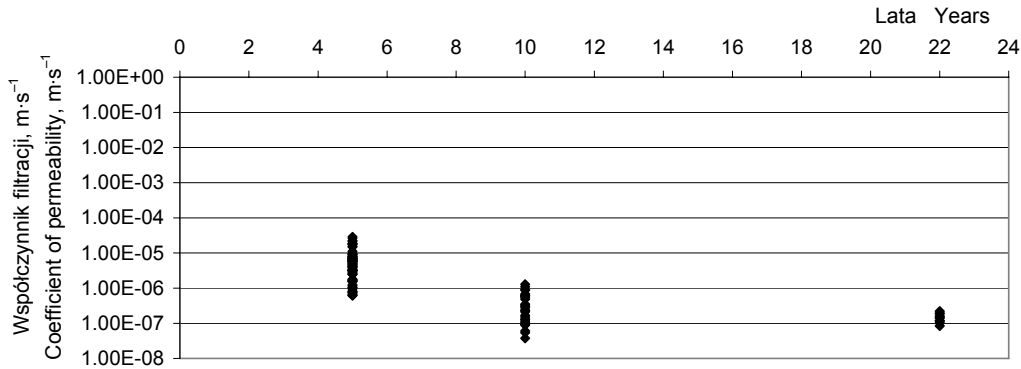
Uzyskane wyniki badań dają podstawy do stwierdzenia, że w dobrze zagęszczonych odpadach powęglowych o wskaźniku zagęszczenia równym lub większym od 0,92 parametry wytrzymałościowe, takie jak kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność, są stabilne, tzn. nie ulegają znacznym zmianom w zależności od długości okresu wbudowania w korpus nasypu.

WSPÓLCZYNNIK FILTRACJI

Współczynnik filtracji określano w odpadach powęglowych pobranych z warstw, w których określano wskaźnik zagęszczenia. Badanie wykonywano w kolumnach filtracyjnych metodą zmiennego gradientu w warunkach początkowego spadku hydraulicznego równego 2,0.

Badane odpady powęglowe miały współczynnik filtracji wynoszący od 10^{-7} – 10^{-4} $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jedynie w próbkach o wskaźniku zagęszczenia znacznie mniejszym niż 0,92 współczynnik filtracji wynosił 10^{-3} – 10^{-2} $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Wyniki analizy zależności współczynnika filtracji odpadów powęglowych od upływu czasu ich wbudowania w korpus nasypu (rys. 9) dały podstawy do stwierdzenia, że współczynnik filtracji badanych próbek zmniejsza się z czasem.



Rys. 9. Zmiany wartości współczynnika filtracji odpadów powęglowych pobranych z warstw, których wskaźnik zagęszczenia wynosił średnio od 0,92 do 1,12 w zależności od długości okresu ich wbudowania w korpus nasypu

Fig. 9. Changes in the coefficient of permeability of coal mine wastes taken from layers whose mean degree of compaction ranged from 0.92 to 1.12 in relation to their persistence in embankment's body

Przeprowadzone badania dowiodły, że współczynnik filtracji odpadów powęglowych wyraźnie zależy od upływu czasu od ich wbudowania w korpusy nasypów oraz wskaźnika zagęszczenia. Malejące wartości współczynnika filtracji wraz z czasem zalegania odpadów w korpusie nasypu mogą świadczyć o zdolności do uszczelniania się odpadów powęglowych.

PODSUMOWANIE

1. Skład granulometryczny odpadów powęglowych zmienia się w zależności od głębokości ich wbudowania w korpus nasypu – wraz z jej zwiększaniem się zawierają one mniej cząstek należących do frakcji pylastej, a więcej należących do frakcji żwirowej.

2. Wilgotność naturalna zmieniała się w granicach od 8 do 13% i była nieco mniejsza od wilgotności optymalnej.

3. Wilgotność optymalna wynosiła od 11 do 15%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego – od 1,802 do 1,967 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

4. Wskaźnik zagęszczenia odpadów powęglowych zawierał się w bardzo szerokim zakresie wartości – od 0,76 do 1,12. Większe wartości stwierdzono w nasypach pełniących rolę dróg, na których odbywał się ruch samochodowy, który mógł spowodować dogęszczenie wbudowanych odpadów.

5. Przeprowadzone badania wytrzymałości na ścinanie dowiodły, że badane odpady powęglowe charakteryzują się podobnymi wartościami kąta tarcia wewnętrznego, niezmieniającymi się wraz z upływem czasu ich wbudowania w nasypy. Jedynie w próbkach zagęszczonych do wskaźnika zagęszczenia 0,76 zaobserwowano mniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego, natomiast spójność nie zmieniała się wyraźnie.

6. W badanych odpadach powęglowych zaobserwowano zmniejszanie się wartości współczynnika filtracji wraz z upływem czasu wbudowania w koronę nasypu, co w dużym stopniu było wywołane zmianą składu granulometrycznego na skutek rozpadu frakcji kamienistej i żwirowej na drobniejsze.

LITERATURA

- GRUCHOT A.T., 2001. Parametry wytrzymałościowe odpadów powęglowych w świetle badań laboratoryjnych prowadzonych w aparaturze średniowymiarowej. *Prz. Nauk. Wydz. Inż. Kształ. Środ.* z. 20 s. 19–27.
- KLIMASZEWSKI M., 2005. *Geomorfologia*. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN ss. 282.
- KOZIELSKA-SROKA E., 1995. Wpływ wietrzenia na wytrzymałość na ścinanie odpadów powęglowych. *Zesz. Nauk. AR Krak.* nr 298 *Ses. Nauk.* z. 45 s. 365–377.
- PN-88/B-04481. *Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.*
- SKARŻYŃSKA K. M., BURDA H., KOZIELSKA-SROKA E., MICHALSKI P., 1987. Laboratory and site investigations on weathering of coal mining wastes as a fill material in earth structures. W: *Reclamation, treatment and utilization of coal mining wastes*. Pr. zbior. Red. A.K.M. Rainbow. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. B.V. s. 179–195.
- SKARŻYŃSKA K. M., BURDA H., 1988. Analiza kontroli jakości zagęszczania nasypów wykonanych z nieprzepalonych odpadów węgla kamiennego. *Gosp. Wod.* nr 10 s. 231–233.
- TWARDOWSKA I., 1981. *Mechanizm i dynamika ługowania odpadów karbońskich na zwałowiskach*. Wrocław: Ossolineum ss. 201.

Piotr FILIPOWICZ, Magdalena BORYS

TEMPORAL CHANGES OF SOME GEOTECHNICAL PARAMETERS OF COAL MINING WASTES BUILT IN SOIL EMBANKMENTS

Key words: grain size distribution, levees, mining wastes, shear strength of soil, weathering

S u m m a r y

The coal mining industry produces large amounts of waste materials. Part of the coal mining wastes is stored next to mines on the waste dumps. Rest of the mining wastes are utilised in civil engineering. High storage costs and the necessity to occupy new areas enforce coal mines to utilize as much of these materials as they can. Furthermore, a lack of the local soils makes mining wastes very interesting material in civil and harbour engineering.

Secondly, the areas occupied by coal mines are often valuable as a building or agricultural grounds. Utilisation of fresh mining wastes in civil engineering allows limiting the construction of new waste dumps and the expansion of the existing ones. This way the existing mining waste dumps could be managed agriculturally or forested.

The article presents geotechnical properties of the mining waste built in soil embankments. The properties considered in detail are: grain size distribution, moisture content, optimum moisture content, maximum dry density of solid particles, soil permeability and shear strength of soil.

Recenzenci:

prof. dr hab. Stanisław Pisarczyk

dr hab. Eugeniusz Zawisza

Praca wpłynęła do Redakcji 08.12.2005 r.

Tabela 4. Średnie wartości parametrów zagęszczania odpadów powęglowych, w których oznaczono wytrzymałość na ścinanie

Table 4. Mean parameters of condensation of coal mine wastes in which shear strength was determined

Obiekt Object	Wskaźnik zagęszczenia Degree of compaction I_s	Wilgotność naturalna Natural water content w_n %	Gęstość objętościowa szkieletu odpadów Dry density of solid particles of wastes ρ_d $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$	Wilgotność optymalna Optimum water content w_{opt} %	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu odpadów Maximum dry density of solid particles of wastes $\rho_{d\text{max}}$ $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$
Nasyp drogowy, przekrój I, głębokość 0,5 m Road embankment, section I, depth 0.5 m	0,97	9	1,797	14	1,852
Nasyp drogowy, przekrój II, głębokość 0,5 m Road embankment, section II, depth 0.5 m	0,92	8	1,780	14	1,935
Grobla międzystawowa, przekrój I, głębokość 0,5 m Embankment between ponds, section I, depth 0.5 m	0,76	12	1,377	15	1,818
Grobla międzystawowa, przekrój II, głębokość 0,5 m Embankment between ponds, section II, depth 0.5 m	0,94	10	1,713	14	1,824
Droga na torfach, przekrój I, głębokość 0,3 m Road on peat, section I, depth 0.3 m	0,87	8	1,680	12	1,930
Droga na torfach, przekrój II, głębokość 0,3 m Road on peat, section II, depth 0.3 m	0,91	8	1,790	11	1,967
Ławeczka lewego obwałowania kanału Wieprz–Krzna, przekrój I, głębokość 0,5 m Bench of the left embankment of the Wieprz–Krzna canal, section I, depth 0.5 m	1,12	9	2,070	15	1,850