

ANDRZEJ FRYBES*

WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH
NA ZJAWISKO WTÓRNEJ KOHEZJI
W OSADACH POCHODZENIA HUTNICZEGOINFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL
PROPERTIES ON THE PHENOMENON OF SECONDARY
COHESION IN METALLURGICAL DEPOSITS

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania parametrów wytrzymałościowych osadów hutniczych z uwzględnieniem wpływu czasu na wartości uzyskiwanych wyników oraz przyczyny powstawania zjawiska „wtórnej kohezji”. Przeprowadzona analiza składu mineralnego i chemicznego badanego osadu wskazuje, że zjawisko to jest wynikiem zachodzących procesów wiązania natury fizykochemicznej.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ścinanie, wtórna kohezja, wiązania chemiczne

Abstract

The article presents tests on metallurgical deposits strength parameters taking into consideration time influence on the result values and causes of “secondary cohesion” phenomenon. Mineralogical composition and chemical constitution analysis of the deposits shows that the phenomenon is the result of processes of physical and chemical bonds.

Keywords: shear strength, secondary cohesion, chemical bonds

* Dr inż. Andrzej Frybes, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

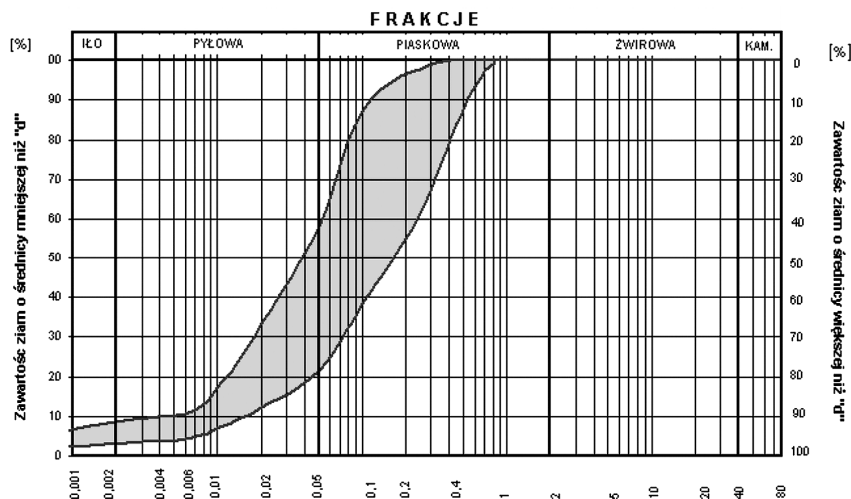
1. Wstęp

Określając parametry wytrzymałościowe gruntów antropogenicznych napotykamy często trudności w interpretacji końcowych wyników badań. Ze względu na zmieniający się skład fizykochemiczny i niejednorodne uziarnienie osadów otrzymywane wyniki badań charakteryzuje duża zmienność. Występujące zjawisko wtórnej kohezji stanowi problem w ustaleniu miarodajnej wartości parametrów. Przez kilkanaście lat Instytut Geotechniki Politechniki Krakowskiej przeprowadzał kompleksowe badania geotechniczne osadów zgromadzonych w osadnikach Kombinatu Metalurgicznego w Krakowie.

Badania prowadzone były pod kątem możliwości wykorzystania ich do podniesienia istniejących obwałowań załadowanych osadników, tak aby zapewnić możliwość dalszej eksploatacji bez zwiększania powierzchni składowiska. Badania wykazały możliwość rozbudowy składowiska z wykorzystaniem osadów zgromadzonych w osadnikach [2, 3, 11–13]. Niniejszy artykuł zawiera zagadnienia dotyczące możliwości powstawania wiązań chemicznych powodujących wzrost wartości kohezji badanych w laboratorium osadów.

2. Badania wpływu właściwości fizykochemicznych na występujące zjawisko wtórnej kohezji w osadach pochodzenia hutniczego

W trakcie prowadzonych badań wytrzymałości na ścinanie stwierdzono sporadyczne występowanie wyższych wartości kohezji [2, 3], co wynika głównie z zazębienia się ziaren o budowie agregatowej [4]. Faktem natomiast jest, co potwierdzają badania innych autorów [1, 8, 10], występowanie w materiałach odpadowych, a zwłaszcza w popiołach, procesów wiązania, określonych w badaniach wytrzymałości na ścinanie tzw. wtórną kohezją. Aby się przekonać, czy w przypadku osadów gromadzonych w osadnikach Kombinatu występuje takie zjawisko, przeprowadzono pod tym kątem badania.



Rys. 1. Obwiednie krzywych uziarnienia badanych osadów
Fig. 1. Envelopes of curves presenting graining of surveyed deposits

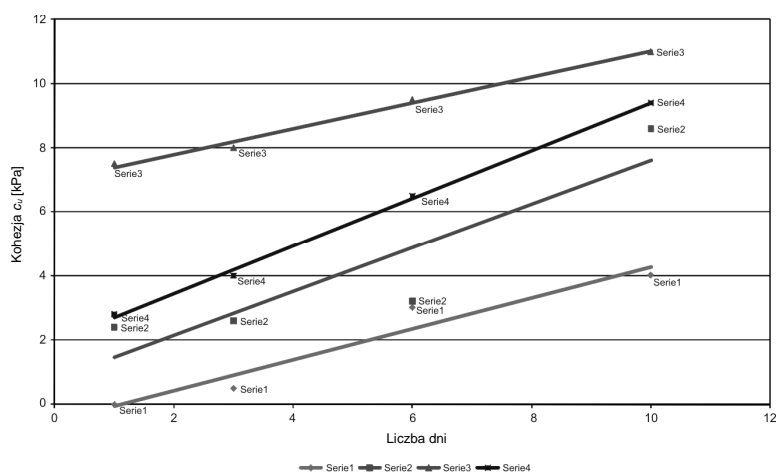
Do badań wytypowano próbki z 2 załadowanych osadników oraz próbki z 2 nowo wzniesionych obwałowań, wszystkie o strukturze naruszonej. W sumie wytypowano 4 grupy próbek, z czego w jednej grupie znajdowały się cztery próbki osadu, co w efekcie umożliwiło wykonanie 16 serii badań. Materiał do badań pobrano z osadnika, gdzie występowała sedymentacja osadów doprowadzanych hydraulicznie w postaci pulpy oraz z obwałowania, gdzie materiał wbudowany w nasyp podlegał mechanicznemu przemieszaniu. Skład granulometryczny badanych osadów przedstawiono w formie obwiedni krzywych uziarnienia na rys. 1.

Tabela 1

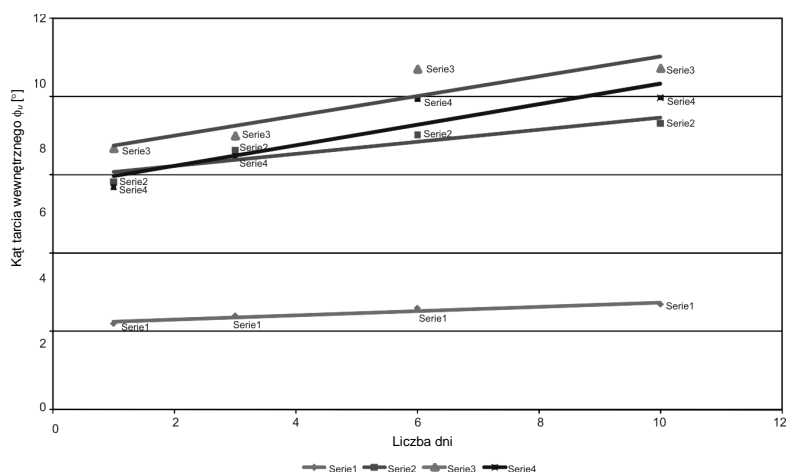
Badania z uwzględnieniem wpływu czasu na parametry wytrzymałościowe osadów

Zależność kohezji od czasu							
Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
liczba dni	c_u [kPa]	liczba dni	c_u [kPa]	liczba dni	c_u [kPa]	liczba dni	c_u [kPa]
1	0	1	2,4	1	7,5	1	2,8
3	0,5	3	2,6	3	8,0	3	4,0
6	3,0	6	3,2	6	9,5	6	6,5
10	4,0	10	8,6	10	11,0	10	9,4
Zależność kąta tarcia wewnętrznego od czasu							
Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
liczba dni	ϕ_u [°]	liczba dni	ϕ_u [°]	liczba dni	ϕ_u [°]	liczba dni	ϕ_u [°]
1	25,50	1	34,57	1	36,70	1	34,23
3	26,00	3	36,60	3	37,50	3	36,22
6	26,50	6	37,58	6	41,75	6	39,87
10	26,75	10	38,30	10	41,80	10	39,95
Zależność gęstości objętościowej od czasu							
Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
liczba dni	ρ [g/cm ³]	liczba dni	ρ [g/cm ³]	liczba dni	ρ [g/cm ³]	liczba dni	ρ [g/cm ³]
1	1,529	1	1,720	1	1,325	1	1,230
3	1,530	3	1,731	3	1,335	3	1,237
6	1,537	6	1,748	6	1,342	6	1,239
10	1,583	10	1,750	10	1,382	10	1,243
Zależność gęstości objętościowej szkieletu od czasu							
Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
liczba dni	ρ_d [g/cm ³]	liczba dni	ρ_d [g/cm ³]	liczba dni	ρ_d [g/cm ³]	liczba dni	ρ_d [g/cm ³]
1	1,038	1	1,192	1	0,963	1	1,049
3	1,048	3	1,206	3	0,975	3	1,065
6	1,070	6	1,234	6	0,982	6	1,070
10	1,113	10	1,240	10	1,011	10	1,077
Zależność wilgotności od czasu							
Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
liczba dni	w [%]	liczba dni	w [%]	liczba dni	w [%]	liczba dni	w [%]
1	47,33	1	44,25	1	37,60	1	17,29
3	46,06	3	43,57	3	36,87	3	16,15
6	45,61	6	41,69	6	36,66	6	15,79
10	45,28	10	41,12	10	36,64	10	15,40

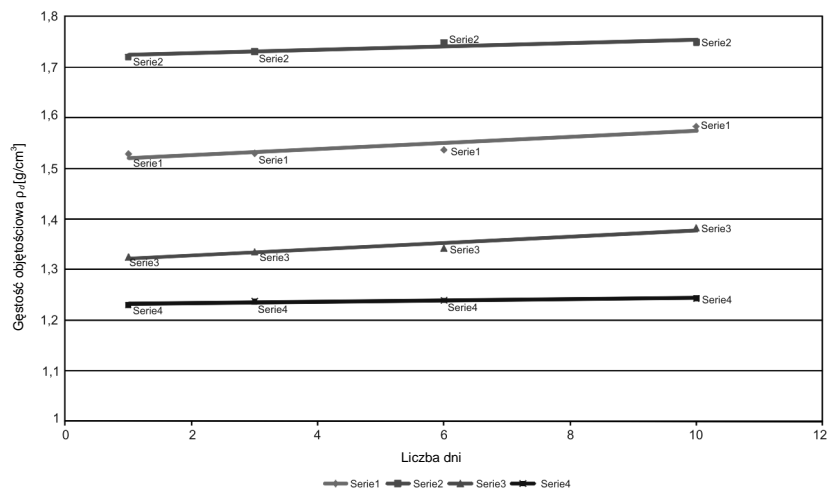
Badania prowadzone były w aparacie bezpośredniego ścinania z uwzględnieniem wpływu czasu, to jest w odstępach 1-, 3-, 6- i 10-dniowych. W okresie poprzedzającym moment ścicia każda próbka poddana była działaniu naprężenia normalnego $\sigma = 50, 100, 150$ i 200 kPa, a następnie przy tych wartościach naprężeń ścinana. Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tab. 1, a zależność wpływu czasu na zmiany wartości kohezji, kąta tarcia wewnętrznego, gęstości objętościowej, gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności przedstawiono graficznie w formie ustalonych prostych regresji dla badanych osadów na rys. 2–6.



Rys. 2. Wykres zależności zmiany wartości kohezji osadów od czasu trwania badania
Fig. 2. Dependency graph of deposit cohesion value change on test duration

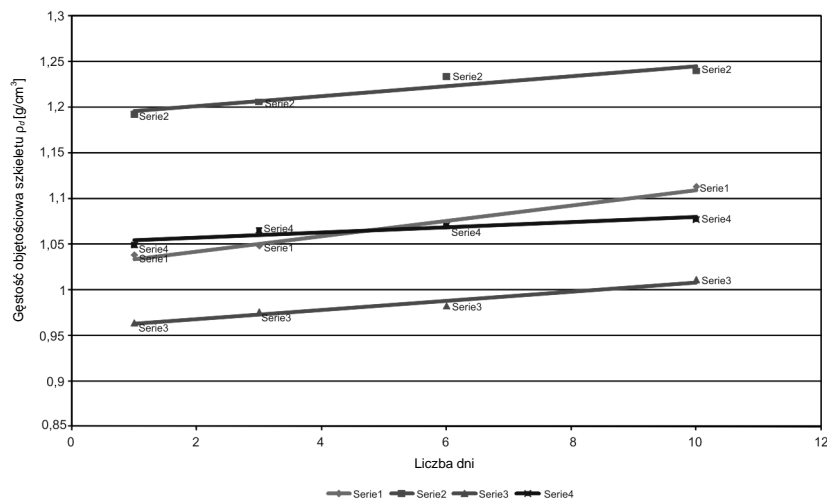


Rys. 3. Wykres zależności zmiany wartości kąta tarcia wewnętrznego osadów od czasu trwania badania
Fig. 3. Dependency graph of value change in deposit internal friction angle on test duration



Rys. 4. Wykres zależności zmiany wartości gęstości objętościowej osadów od czasu trwania badania

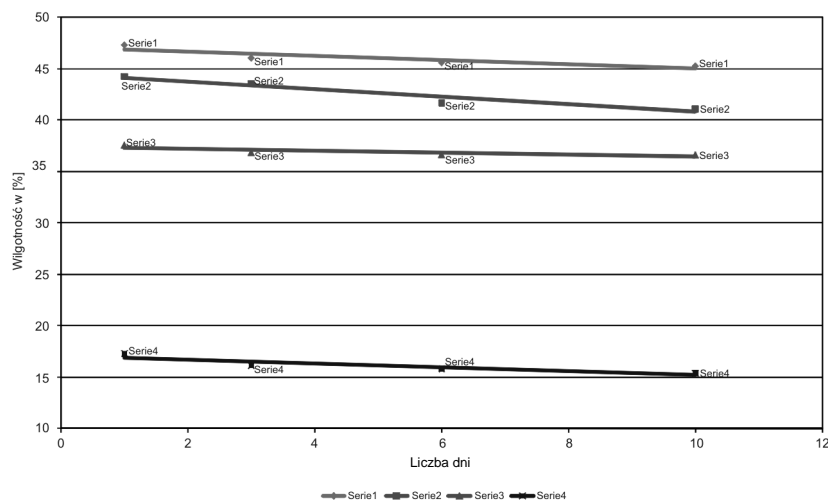
Fig. 4. Dependency graph of value change in volumetric density on test duration



Rys. 5. Wykres zależności zmiany wartości gęstości objętościowej szkieletu osadów od czasu trwania badania

Fig. 5. Dependency graph of volumetric density value change in deposit skeleton on test duration

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wartość kohezji stopniowo rośnie w miarę upływu czasu, co potwierdza zjawisko wtórnej kohezji, prawdopodobnie wywołane zachodzącymi zmianami chemicznymi [2, 3]. Wartości kąta tarcia wewnętrznego, gęstości objętościowej i gęstości objętościowej szkieletu wykazują umiarkowaną tendencję wzrostową, która raczej zależy od wilgotności badanych próbek. Wahania wilgotności wynikają ze zmiany próbki po każdym ścięciu, choć pochodzą one z tej samej serii.



Rys. 6. Wykres zależności zmiany wartości wilgotności osadów od czasu trwania badania

Fig. 6. Dependency graph of volumetric density value change in deposit skeleton on test duration

Aby wyjaśnić możliwość zachodzących zjawisk natury fizykochemicznej poddano analizie wyniki składu mineralnego [2] i chemicznego osadu [3] oraz prawdopodobny kierunek zachodzących reakcji chemicznych. Podobne składniki występują również, choć w nieco innych proporcjach, w popiołach elektrowni [1, 8, 10].

Tabela 2

Skład chemiczny osadów

Nr kol.	Rodzaj składnika	Zawartość [%]
1	SiO ₂	29,0–34,6
2	Al ₂ O ₃	12,4–15,0
3	FeO	3,40–5,00
4	Fe ₂ O ₃	18,6–27,9
5	MgO	1,90–2,30
6	CaO	7,60–10,0
7	Na ₂ O	1,40–1,50
8	K ₂ O	2,40–3,80
9	P ₂ O ₅	0,14–0,36
10	MnO	0,60–1,80
11	ZnO	0,50–1,18
12	SO ₃	0,16–0,17
13	B	5–60 ppm

Badania składu mineralnego wykazały, że zawierają one ok. 50% węglanów w postaci kalcytu i dolomitu, kwarczec, związki żelaza w postaci magnetytu i hematytu oraz niewielką

ilość substancji organicznych. Nie stwierdzono natomiast występowania typowych minerałów iłowych.

W podanym w tabeli 2 składzie chemicznym osadów występują związki chemiczne biorące udział w budowie minerałów iłowych, takie jak: krzemionka (dwutlenek krzemu) SiO_2 – 29,0–34,6% i tlenek glinu (korund) Al_2O_3 – 12,4–15,0%. Procesy wietrzenia doprowadzają wprawdzie do częściowego rozłożenia krzemianów (SiO_2) i utworzenia uwodnionych glinokrzemianów, czyli kaolinitu [$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lub $\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$], które charakteryzuje łupliwość, chłonność wody, duża aktywność powierzchniowa, porowatość oraz znaczna aktywność sorpcyjna.

Materiał odpadowy odprowadzany na składowisko jest materiałem przepalonym. Występujący w osadach tlenek glinu Al_2O_3 w procesie spalania łączy się z tlenkiem magnezu MgO , tlenkiem cynku ZnO i tlenkiem żelaza FeO , tworząc gliniany (spinele), np. MgAl_2O_3 , które są tworzywem ceramicznym odpornym na działanie wody. Natomiast wchodzący w skład osadów tlenek wapnia CaO – 7,6–10,0% jest wprawdzie silnie higroskopijny, jednak pod wpływem wody przechodzi w wodorotlenek wapniowy, który pochłania tlenek węgla CO_2 z powietrza i przechodzi w węglan wapnia CaCO_3 . W przypadku połączenia np. z frakcją piaskową tworzy zaprawę murarską [9]. Z przedstawionej powyżej analizy składu mineralnego i chemicznego badanego osadu wynika, że zjawisko powstawania wtórnej kohezji nie jest związane z agregatową budową cząstek, lecz jest wywołane zachodzącymi zmianami chemicznymi.

3. Wnioski i uwagi końcowe

Odpady przemysłowe produkcji hutniczej, jak również innych gałęzi gospodarki, charakteryzuje znaczne zróżnicowanie właściwości fizykomechanicznych [1, 12]. Właściwości osadów składowisk mokrych są z reguły różne dla poszczególnych obiektów przemysłowych tej samej branży. Różnorodność uzyskiwanych wyników powoduje trudności w ich interpretacji. Przyczyną jest brak klasyfikacji materiałów odpadowych, a interpretacja wyników badań nawiązuje do parametrów geotechnicznych uzyskiwanych dla gruntów naturalnych.

Przedstawione wyniki badań parametrów wytrzymałościowych z uwzględnieniem wpływu czasu wykazały wyraźny wzrost wartości kohezji i nieco bardziej umiarkowany wzrost wartości kąta tarcia wewnętrznego, gęstości objętościowej i gęstości objętościowej szkieletu, przy jednoczesnym nieznacznym zmniejszaniu wilgotności. Wpływ na to ma skład mineralny i chemiczny badanego osadu. Obserwowany w badaniach wzrost wytrzymałości osadów hutniczych w czasie jest w znacznym stopniu wynikiem zachodzących procesów wiązania natury chemicznej opisanych powyżej. Tego typu zjawiska, ale dotyczące popiołów elektrowni opisują inni autorzy [8, 10]. Należy jednak nadmienić, że gdyby przyjęty na prowadzone badania czas był dłuższy, to wartości uzyskanych parametrów wytrzymałościowych miałyby znacznie wyższe wartości. Badania potwierdzające występowanie zjawiska kohezji wtórnej prowadzone były jako uzupełnienie kompleksowych badań parametrów wytrzymałościowych [2, 3, 12] osadów zgromadzonych na składowisku.

Literatura

- [1] Chlebowski R., Pinińska J., Wysokiński L., *Budowa wewnętrzna popiołów i jej wpływ na własności popiołów jako materiału konstrukcyjnego*, Sympozjum pt. Składowanie i zagospodarowanie odpadów energetycznych i hutniczych, Częstochowa 1973.
- [2] Frybes A., *Badania nad przydatnością popiołów i szlamów Huty im. Lenina do budowy obwałowań osadników przemysłowych*, praca doktorska, Kraków 1984, (maszynopis).
- [3] Frybes A., *Wybrane zagadnienia dotyczące mikrostruktury i parametrów fizyczno-mechanicznych odpadów Kombinatu Metalurgicznego w Krakowie*, Czasopismo Techniczne z. 3-B/1995, Kraków 1995.
- [4] Frybes A., *Interpretacja badań laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowych osadów pochodzenia hutniczego*, Czasopismo Techniczne z. 8-Ś/2004, Kraków 2004.
- [5] Frybes A., *Badania współczynnika filtracji odpadów z Huty Sendzimira pod kątem wykorzystania ich do budowy zapór i obwałowań przeciwpowodziowych*, Czasopismo Techniczne z. 8-Ś/2005, Kraków 2005.
- [6] Frybes A., *Interpretacja badań polowych zgęszczenia obwałowań wykonanych z osadów pochodzenia hutniczego*, Czasopismo Techniczne z. 2-Ś/2007, Kraków 2007.
- [7] Janowski B., *Wyniki badań nad rekultywacją składowisk szlamów i popiołów Kombinatu Huty im. Lenina*, Zeszyty Naukowe AR nr 116, Kraków 1976.
- [8] Pachowski J., *Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym*, WKiŁ, Warszawa 1976.
- [9] Pauling L., Pauling P., *Chemia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [10] Wysokiński L., *Wielkoskalowe badania modelowe parametrów konstrukcyjnych zapór z popiołów węglowych (Elektrownia Łaziska)*, Materiały V Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Katowice 1978.
- [11] Żmudziński Z., Frybes A., *Badania nad przydatnością popiołów i szlamów do rozbudowy składowiska odpadów poprodukcyjnych Huty im. Lenina*, materiały sesji naukowej nt. aktualnych kierunków badań przeprowadzonych na Wydziale ISiW PK, Kraków 1981.
- [12] Żmudziński Z., Frybes A., *Charakterystyka mikrostruktury i właściwości geotechniczne odpadów hutniczych składowanych hydraulicznie*, materiały IX Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Kraków 1990.
- [13] Żmudziński Z., Frybes A., *Utilization of wastes from Cracow Steelworks stored hydraulically for vertical development of the storage yard*, IV Międzynarodowe Sympozjum nt. utylizacji odpadów powęglowych, Kraków 6–10 IX 1993.