

**Stanisław Stryczek\*, Andrzej Gonet\*, Mirosław Rzyczniak\*,  
Lucyna Czekaj\***

## **BADANIE WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW MINERALNO-GRUNTOWYCH W ASPEKCIE ICH WYKORZYSTANIA\*\***

### **1. WSTĘP**

Efektom procesu wiercenia otworów jest powstawanie znacznej ilości odpadów wiertniczych, gromadzonych w dołach urobkowych lub odpowiednich zbiornikach. Odpady te zawierają w swym składzie urobek skalny powstający w czasie wiercenia otworu, odpady zużytych, zwykle obrobionych chemicznie płuczek wiertniczych i innych płynów technologicznych, stosowanych w procesie wykonywania otworu.

Poważnym problemem jest likwidacja nagromadzonych odpadów lub ich przetworzenie i zneutralizowanie w taki sposób, aby nie stanowiły zagrożenia dla otaczającego je środowiska.

Podejmowane są również prace nad wykorzystaniem odpadów wiertniczych w mieszankach kompozytowych z glębą, pod kątem ich zastosowania do rekultywacji zdegradowanych działalnością przemysłową terenów lub jako grunty budowlane, np. do wykonywania uszczelnień mineralnych itp.

Zaprezentowane wyniki dotyczą badań mieszanek sporządzonych z odpadów wiertniczych, zgromadzonych w dołach urobkowych, z gruntem pobranym z otoczenia tych dołów oraz dodatkami organicznymi w postaci słomy i trocin drewna.

### **2. ANALIZA PRZYDATNOŚCI KOMPOZYTÓW MINERALNO-GRUNTOWYCH DO BUDOWY USZCZELNIEŃ MINERALNYCH**

Założono, że wykorzystamy grunty rodzime, pobrane z otoczenia dołów urobkowych, jako składnik mieszanek kompozytowych przeznaczonych do budowy uszczelnień mineralnych. Wykonano badania [4] w celu określenia przydatności gruntu rodzimego do tego rodzaju zastosowań. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych WWNiG AGH

**Tabela 1**

Właściwości fizyczne i geotechniczne gruntu rodzimego oraz kompozytu mineralno-gruntowego

Nazwa właściwości	Grunt rodzimy	Kompozyt mineralno-gruntowy
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_{ds}$ , kg/m <sup>3</sup>	1699	1657
Wilgotność optymalna $w_{opt}$ , %	17,0	16,8
Granica płynności $w_L$ , %	41,2	42,9
Granica plastyczności $w_p$ , %	17,2	20,3
Wskaźnik plastyczności $I_p$ , %	24,0	22,6
Współczynnik filtracji $k$ , m/s	$0,29 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$

Badany grunt rodzimy zaklasyfikowano jako grunt drobnoziarnisty, mineralny, który pod względem inżyniersko-geologicznym można określić jako glina ze żwirem [2].

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że badany grunt rodzimy nie spełnia wymagań niezbędnych do budowy uszczelnień mineralnych, przede wszystkim ze względu na zbyt dużą wartość współczynnika filtracji oraz wskaźnika plastyczności [4] i wymaga modyfikacji, w celu uzdatnienia do tego rodzaju zastosowań.

Ze względu na skład ziarnowy badanych odpadów wiertniczych, zgromadzonych w dołach urobkowych, w których zawartość frakcji pyłowej i iłowej przekraczała 38%, przy braku frakcji żwirowej i kamienistej oraz przy znacznej zawartości minerałów ilastych, pochodzących zarówno z przewiercanych warstw skalnych, jak i z odpadów płuczek wiertniczych [1], podjęto próbę zmniejszenia współczynnika filtracji gruntu rodzimego poprzez dodanie niewielkiej ilości (ok. 14%) zestalonego odpadu wiertniczego do gruntu rodzimego. W ten sposób uzyskano kompozyt mineralno-gruntowy, który poddano badaniom laboratoryjnym pod kątem jego przydatności do budowy uszczelnień mineralnych. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

Niestety, zarówno wartość wskaźnika plastyczności, jak i współczynnika filtracji kompozytu nie mieściły się w przedziale wartości wymaganych. Zanotowano niewielki spadek wartości wskaźnika plastyczności kompozytu w porównaniu z gruntem rodzimym. Natomiast zwiększeniu, pomimo zwiększonej zawartości minerałów ilastych, uległa wartość współczynnika filtracji. Należy to zjawisko tłumaczyć faktem występowania w odpadzie wiertniczym substancji chemicznych takich, jak: węglowodory i ich pochodne, biocydy, substancje powierzchniowo czynne, a także sole takich pierwiastków jak Na, K, Ca, Mg, w postaci chlorków i siarczków. Substancje te wpływają znacząco na takie właściwości środowiska glebowo-gruntowego jak porowatość, właściwości filtracyjne oraz właściwości strukturalne [6].

Ponieważ okazało się, że sporządzony kompozyt mineralno-gruntowy, z zastosowaniem miejscowych składników, nie może być stosowany do celów uszczelnień mineralnych, podjęto próbę poszukiwania innych możliwości zastosowań zgromadzonych odpadów wiertniczych.

### **3. ANALIZA MOŻLIWOŚCI BEZPIECZNEGO SKŁADOWANIA ODPADÓW WIERTNICZYCH W POSTACI KOMPOZYTÓW MINERALNO-GRUNTOWYCH**

Podstawowym procesem przygotowania odpadu wiertniczego do jego składowania na składowisku odpadów lub ewentualnego przystosowania do pozostawienia w miejscu jego powstania jest odsączenie fazy ciekłej, a następnie zestalenie koloidalno-szlamiastej pozostałości.

Poddana badaniu stała frakcja odpadu wiertniczego charakteryzowała się gęstością objętościową ok.  $1470 \text{ kg/m}^3$ , przy wilgotności naturalnej około 155% i niemierzalnej wartości wskaźnika nośności [7].

W celu zestalenia odpadu wiertniczego sporządzono mieszanekę odpadu z gruntem rodzimym, w stosunku wagowym 1:1. W efekcie otrzymano kompozyt mineralno-gruntowy o gęstości objętościowej ok.  $1750 \text{ kg/m}^3$  i wilgotności ok. 15%. Następnie poddano go procesowi zagęszczania w aparacie Proctora, metodą normalną (I) [2, 3].

Dla zagęszczonych prób kompozytów mineralno-gruntowych określono wartości wskaźników nośności, w prasie CBR – Marshall [5]. W przedziale zmian wilgotności ok. 28÷33% uzyskano wskaźniki nośności badanych prób w zakresie ok.  $3,7 \div 0,6\%$  [7].

W celu zwiększenia parametrów wytrzymałościowych badanych kompozytów zastosowano domieszkę 5% cementu, w stosunku wagowym do odpadu, uzyskując w ten sposób obniżenie wilgotności w zakresie do ok.  $19 \div 21\%$  oraz wzrost wskaźnika nośności w przedziale do ok.  $4,8 \div 6,4\%$ . Zwiększenie udziału cementu w kompozytach do 10% wagowo, w stosunku do odpadu, skutkowało zwiększeniem wskaźnika nośności tych kompozytów do ok. 11,4%, przy ich wilgotności wynoszącej ok. 21% [7].

W wyniku badań ustalono, że utworzone z udziałem zdetoksykowanych, zestalonych odpadów płuczkowych kompozyty mineralno-gruntowe zagęszczone i wzmocnione cementem można poddać próbie składowania w miejscu powstania odpadów.

Utworzone kompozyty charakteryzują się zwiększonymi parametrami wytrzymałościowymi, brakiem właściwości tiksotropowych, co zapobiega utracie przez nie właściwości żelowych wraz ze wzrostem wilgotności, a także wiążą w swojej strukturze pozostałości związków chemicznych, zmniejszając niebezpieczeństwo powstawania odcieków.

Proponuje się przykrycie składowiska powstałych kompozytów z odpadami wiertniczymi wierzchnią warstwą urodzajnej gleby w celu rekultywowania zdegradowanego działanością przemysłową terenu.

### **4. ANALIZA PRZYDATNOŚCI KOMPOZYTÓW GLEBOWYCH DO CELÓW REKULTYWACYJNYCH**

Próby przyrodniczego zagospodarowania odpadów są obecnie najbardziej perspektywiczną ideą. Należy jednak uwzględnić fakt, że przydatność odpadów, np. do rekultywacji terenów, uzależniona jest m.in. od właściwości fizyczno-chemicznych oraz biologicznych tych odpadów. Próby różnorodnego zagospodarowania odpadów mogą prowadzić do skażenia gleby, a w konsekwencji do skażenia roślinności np. metalami ciężkimi. Ponadto, należy uwzględnić w pracach rekultywacyjnych czynnik czasu, ponieważ niekiedy odtworzenie produktywnej gleby na terenach zdegradowanych przez prowadzenie np. działalności wiertniczej jest zwykle procesem długotrwałym [6].

Ponieważ jednak kompozytowe mieszanki, odpad wiertniczy-grunt rodzimy, nie uzyskują odpowiednich parametrów do zastosowań na uszczelnienia mineralne, a ich parametry wytrzymałościowe, bez dodatkowych zabiegów technologicznych, są również niewielkie, podjęto badania nad przydatnością tych kompozytów do zastosowań w rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową.

W tym celu, do kompozytów mineralno-gruntowych sporządzonych z odpadu wiertniczego i gruntu rodzimego, w stosunku wagowym 1:1÷1:1,5, dodano domieszki organiczne, w postaci słomy i trocin drewna, w celu zainicjowania w powstałych mieszankach procesów glebotwórczych [6].

Otrzymane mieszanki poddano analizom laboratoryjnym w celu określenia niektórych właściwości fizycznych i geotechnicznych. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 2.

**Tabela 2**  
Parametry fizyczne i geotechniczne kompozytów glebowych

Nazwa	Kompozyt glebowy z odpadem wiertniczym z zawartością:	
	wody wodociągowej	solanki
Wilgotność naturalna $w_n$ , %	51,1÷64,0	39,1÷50,0
Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	1370÷1580	1480÷1720
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_d$ , kg/m <sup>3</sup>	850÷1000	1000÷1220
Maksymalne odkształcenie $\varepsilon$ , % pod obciążeniem jednostkowym: $\sigma = 12,5$ kPa, $\sigma = 100$ kPa,	2,3÷5,5 9,06÷22,58	2,29÷7,4 7,58÷16,6
Wskaźnik pęcznienia $E_p$ , %	1,05÷5,1	0,7÷6,3
Wilgotność pęcznienia $w_{Ep}$ , %	57,2÷68,6	39,4÷55,9
Spójność $c$ , kPa	1,56÷5,28	–
Kąt tarcia wewnętrznego $\Phi$ , °	1,24÷2,38	–
Współczynnik filtracji $k$ , m/s	$10^{-6}$ ÷ $10^{-5}$	$10^{-6}$ ÷ $10^{-5}$

Parametry wytrzymałościowe miękkoplastycznych kompozytów glebowych, ze względu na ich dużą wilgotność, osiągały znikomo małe wartości. Właściwości te mogą ulegać zmianom wraz ze zmianą wilgotności. Należy więc brać pod uwagę m.in. warunki atmosferyczne oraz porę roku odpowiednią do wykonania prac związanych z wykorzystaniem kompozytów glebowych z odpadami wiertniczymi, np. do celów rekultywacyjnych.

Duża wilgotność kompozytów była konsekwencją wymieszania uwodnionych odpadów wiertniczych, bez odsączania fazy ciekłej, z gruntem rodzimym o wilgotności ok. 15%.

Poddane obciążeniom ściskającym kompozyty glebowe mogą, na skutek zagęszczenia, zmniejszać swoją objętość do ok. 20% [8]. Natomiast ich podatność na pęcznienie jest

niewielka. Stopień pęcznienia większości badanych prób wahał się w przedziale od bardzo niskiego do średniego [9].

Zarówno parametry fizyczne jak też geotechniczne badanych kompozytów glebowych wskazują na możliwość zastosowania ich do celów uprawowych, szczególnie nierolniczych, w postaci wykładzin cienkowarstwowych.

Ze względu jednak na zawartość, w odpadach wiertniczych, różnorodnych związków chemicznych, toksykantów węglowodorowych oraz metali ciężkich, należy poddać je procesom detoksykacji, przed wykorzystaniem ich w mieszankach kompozytowych, do celów uprawowych [6].

## 5. WNIOSKI

- 1) Przebadane kompozyty gruntowo-mineralne, sporządzone jako mieszanki gruntu rodzimego ze zgromadzonym w dołach urobkowych odpadem wiertniczym, pomimo znaczącego udziału w ich składzie minerałów ilastych oraz frakcji drobnoziarnistych, nie spełniają wymagań stawianych gruntom przeznaczonym do budowy uszczelnień mineralnych np. składowisk odpadów komunalnych.
- 2) Mieszanki mineralno-gruntowe odpadów wiertniczych z gruntem rodzimym, poddane procesom detoksykacji, pozbawione ropopochodnych oraz solanki, zagęszczone i wzmocnione niewielkimi dodatkami materiałów wiążących np. cementu, mogą spełniać wymagania dla składowania ich w miejscu powstania odpadów wiertniczych.
- 3) Mineralno-gruntowo-organiczne kompozyty, sporządzone z udziałem zdetoksykowanych odpadów wiertniczych mogą, ze względu na ich parametry fizyczno-chemiczne oraz geotechniczne, być przeznaczone np. do celów rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową, pod uprawy leśne lub roślin energetycznych.

## SPIS OZNACZEŃ

- $c$  – spójność, kPa
- $E_p$  – wskaźnik pęcznienia, %
- $I_p$  – wskaźnik plastyczności, %
- $k$  – współczynnik filtracji, m/s
- $w_L$  – granica płynności, %
- $w_n$  – wilgotność naturalna, %
- $w_{opt}$  – wilgotność optymalna, %
- $w_p$  – granica plastyczności, %
- $w_{Ep}$  – wilgotność pęcznienia, %
- $\varepsilon$  – maksymalne odkształcenie, %
- $\rho$  – gęstość objętościowa gruntu,  $\text{kg/m}^3$
- $\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,  $\text{kg/m}^3$
- $\rho_{ds}$  – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,  $\text{kg/m}^3$
- $\sigma$  – obciążenie jednostkowe, kPa
- $\Phi$  – kąt tarcia wewnętrznego, °

## LITERATURA

- [1] Gonet A., Rzycki M., Czekaj L., Stryczek S., Chrzęszcz W.: *Modyfikacja właściwości fizycznych gruntów ilastych domieszkami mineralnymi*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe (kwartalnik). Kraków, (11–12) 2–3/2001
- [2] Myślińska E.: *Laboratoryjne badania gruntów*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN 1998
- [3] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1999
- [4] Pisarczyk S.: *Badania geotechniczne gruntów spoistych stosowanych do budowy uszczelnień mineralnych składowisk odpadów komunalnych*. Gospodarka wodna, nr 9/2000
- [5] Polska Norma PN-EN 13286-47. *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym. Część 47: Metoda badania do określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności, natychmiastowego wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego*. Marzec 2007.
- [6] Gonet A. (red.): *Metody przetwarzania organiczno-mineralnych odpadów wiertniczych w aspekcie ich zagospodarowania*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków, 2006
- [7] Stryczek S., Gonet A., Czekaj L., Rzycki M.: *Ocena wytrzymałości mechanicznej osadów płuczkowych zagęszczanych z glębą*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, „Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie”. Materiały konferencyjne. Tom II. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, 29–30 czerwca 2000
- [8] Stryczek S., Gonet A., Rzycki M., Czekaj L.: *Wpływ obciążeń pionowych na osiadanie mieszanek gruntowo-glebowych z udziałem domieszek chemicznych i organicznych* Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH), t. 23/1, 2006
- [9] Stryczek S., Gonet A., Rzycki M., Czekaj L.: *Pęcznienie mineralno-chemiczno-organicznych mieszanek gruntowych*. Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH), t. 24, 2007