

*Tomasz Doniecki\*, Ewa Siedlecka\**

## ODPADOWE MUŁY WĘGLOWE JAKO ELEMENT IZOLACJI MINERALNEJ SKŁADOWISK ODPADÓW

---

### 1. Wstęp

Składowanie odpadów jest metodą utylizacji odpadów która pomimo wzrostu zaawansowania technologicznego, jak można się spodziewać pozostanie najważniejszą z możliwych form unieszkodliwiania odpadów szczególnie w przypadku odpadów o charakterze masowym oraz odpadów stwarzających problemy z metodami ich utylizacji. Podczas składowania odpadów wskutek różnorodnych reakcji zachodzących na składowisku, w wyniku interakcji z wodami opadowymi powstają liczne zanieczyszczenia których skład zależy od składu chemicznego i mineralnego odpadów. Istnieje ryzyko potencjalnej migracji zanieczyszczeń poza obręb składowiska co może doprowadzać do zanieczyszczenia wód gruntowych i podziemnych oraz gleb w otoczeniu składowisk. W celu ograniczenia możliwości skażenia na terenach składowisk stosuje się zabezpieczenia pod postacią uszczelnień naturalnych bądź mineralnych i syntetycznych [1]. Zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami w przypadku braku uszczelnienia naturalnego teren składowiska winien zostać zabezpieczony przy wykorzystaniu uszczelnienia mineralnego oraz syntetycznego. Wśród materiałów z których wykonuje się uszczelnienia mineralne, najczęściej proponowane są skały o charakterze glin lub ilów zawierające w swym składzie przede wszystkim minerały ilaste. Uszczelnienie wykonane z tego typu materiału, daje gwarancję że poza wysoką szczelnością, związaną z niską przepuszczalnością hydrauliczną gruntów ilastych, ewentualne zanieczyszczenia mogą zostać zatrzymane wskutek zjawiska sorpcji zanieczyszczeń na powierzchni minerałów ilastych. O możliwościach zastosowania danego typu gruntu decydują badania związane z określeniem własności geotechnicznych oraz z określeniem przepuszczalności hydraulicznej, współczynnika dyfuzji i zdolności sorpcji. Ze względu na tendencję budowy składowisk międzygminnych charakteryzujących się stosunkowo dużą powierzchnią, niezbędne jest przetransportowanie objętościowo dużych ilości gruntów z których wykonane zostanie uszczelnienie. Jako źródło materiałów proponuje się wykorzystywanie su-

---

\* Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa

rowców ilastych występujących w niewielkich odległościach od terenu projektowanego składowiska. Powoduje to nierzadko konieczność wydobywania kopaliny w sposób naruszający stan środowiska naturalnego. Dochodzi w tym wypadku do degradacji krajobrazu oraz zniszczenia gleb a nierzadko zanieczyszczenia wód gruntowych. Dodatkowym problemem jest konieczność każdorazowego określenia przydatności tego typu surowca z czym wiążą się dodatkowe koszty.

Korzystne więc z tego punktu widzenia jest znalezienie materiałów które pozwolą uniknąć degradacji środowiska i krajobrazu, dodatkowych kosztów badań oraz jednocześnie pozwolą na efektywną ochronę złóż kopalin. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie surowców o charakterze odpadowym które mogłyby spełniać rolę substytutów skał ilastych. Odpady powinny charakteryzować się stosunkowo niezmiennym w czasie, stałym składem mineralnym i chemicznym a ilość powstającego odpadu winna utrzymywać się na względnie stabilnym poziomie w okresie najbliższych kilku- kilkunastu lat. Taki charakter posiadają odpadowe muły węglowe (OMW) generowane w wyniku działalności górnictwa węgla kamiennego na terenie GZW. Określenie zmienności właściwości oraz charakteru odpadów pozwolić może na stosowanie tego materiału bez konieczności wykonywania kosztownych badań dla każdego lokalnego surowca. Koszty wykonania izolacji mineralnej zamykałyby się wówczas jedynie w obrębie kosztów transportu mułów węglowych na teren inwestycji.

## 2. Materiały oraz metodyka badań

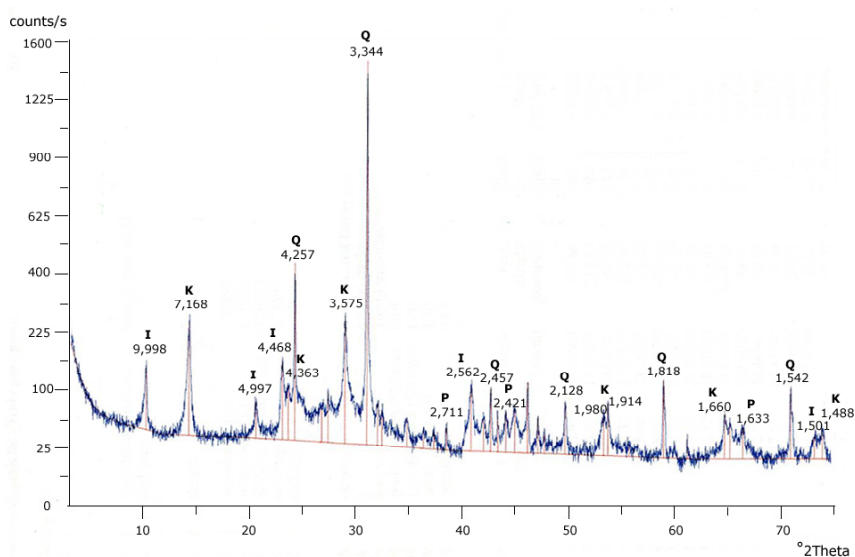
Do badań wykorzystano odpadowy muł węglowy pochodzący z KWK „Janina” w Li-biążu. Wybór tego odpadu podyktowany był spełnieniem założeń przedstawionych we wstępie tego opracowania. Kopalnia węgla kamiennego Janina należy do najbardziej perspektywicznej czasowo kopalni węgla kamiennego w Polsce, w zakładzie wzbogacającym stosowana jest obecnie technologia o stosunkowo stabilnych parametrach. Technologia ta jest jednocześnie względnie nowoczesną i w najbliższych latach raczej nie będzie podlegać znacznym modyfikacjom. W badaniach wykorzystano próbki mułu pobrane w latach 2002–2005 które pozwoliły na określenie zmienności parametrów OMW.

Większość oznaczeń podstawowych ( $\rho_s$ ,  $\rho$ ,  $\rho_d$ ,  $w_L$ ,  $w_P$ ,  $w_{opt}$ ,  $\rho_{dmax}$ , MBC) wykonano zostało zgodnie z normą [2]. Analiza granulometryczna została wykonana klasycznie z użyciem sit, dla frakcji poniżej 0,2 mm do analizy wykorzystano Laserowy Analizator Uziarnienia — LAU 10. Skład mineralny określony został na podstawie badań rentgenograficznych i termogravimetrycznych. Analiza porowatości wykonana została przy użyciu porozymetru rtęciowego Quantachrome Poremaster 33/60. Do badań przepuszczalności wykorzystano stanowisko do oznaczania przepuszczalności hydraulicznej ze zmiennym spadkiem hydraulicznym  $i = 25-30$ .

## 3. Skład mineralny, chemiczny oraz granulometryczny

W składzie mineralnym dominującymi składnikami są (rys. 1) minerały ilaste oraz węgiel kamienny i kwarc. Minerały ilaste występują w ilości około 40÷50% a dominującym minerałem w tej grupie mineralnej jest kaolinit oraz w mniejszym stopniu illit. Piryt po-

jawia się w ilości poniżej 1%. Dodatkowo w składzie mułu występuje kilkadziesiąt procent kwarcu i węgla kamiennego.



**Rys. 1.** Dyfraktogram rentgenowski przedstawiający skład mineralny badanego materiału (I — illit, K — kaolinit, Q — kwarc, P — piryt)

Średni skład chemiczny popiołu otrzymanego w wyniku prażenia mułu przedstawiono w tabeli 1.

**TABELA 1**  
**Skład chemiczny popiołu otrzymanego**  
**w wyniku prażenia mułu w temperaturze 850°C**

Składnik	Zawartość, % wag.
SiO <sub>2</sub>	56,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,15
CaO	0,96
MgO	1,43
Na <sub>2</sub> O	0,55
K <sub>2</sub> O	3,12
SO <sub>3</sub>	0,84
TiO <sub>2</sub>	1,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06
ZnO	0,13

Skład chemiczny mułu można dobrze skorelować ze składem mineralnym. Wysoka zawartość SiO<sub>2</sub> świadczy o obecności kwarcu oraz illitu natomiast podwyższona zawartość Fe wynika z obecności pirytu.

Pod kątem składu granulometrycznego muł odpadowy charakteryzuje się występowaniem w przewodzie frakcji poniżej 0,2 mm. Ilość ziaren mieszczących się w tym przedziale wynosi ponad 80%. Średnia wartość mediany dla odpadowego mułu równa jest  $M_D = 0,008$  mm.

#### 4. Własności fizyczne i mechaniczne OMW

O możliwości zastosowania danego typu surowca jako materiału do budowy bariery izolacyjnej decyduje wiele różnego rodzaju parametrów. Do podstawowych parametrów należy wartość przepuszczalności hydraulicznej. Uzyskanie właściwej wartości przepuszczalności hydraulicznej zgodnej z obowiązującymi aktami prawnymi [3] oraz z zaleceniami różnych autorów [4–6] zależy jest od wielu czynników. Niska przepuszczalność uwarunkowana jest odpowiednio niską porowatością efektywną  $n_{eff}$ . Uzyskanie niskiej wartości porowatości związane jest z zagęszczeniem materiału przy  $w_{opt}$ . Przebadane próbki mułów charakteryzują się własnościami fizyko mechanicznymi które przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2  
Parametry fizyko mechaniczne odpadowego mułu z KWK „Janina”

Parametr	Zakres (wartość średnia)
Fracja ilowa $f_{i_s}$ , %	19,2÷26,6
Gęstość właściwa $\rho_s$ , Mg/m <sup>3</sup>	1,99÷2,03
Gęstość objętościowa $\rho$ , Mg/m <sup>3</sup>	1,50÷1,54
Granica płynności $w_L$ , %	42,3÷45,6
Granica plastyczności $w_P$ , %	23,3÷25,6
Wskaźnik plastyczności $I_P$ , %	17,5÷22,6
Aktywność $A$	0,82÷0,91
Pojemność wymiany kationowej $CEC$ , mval/kg	91÷110
Pęcznienie swobodna $FS$ , %	1,1÷1,9
Wilgotność optymalna $w_{opt}$ , %	24,9÷28,1
Zawartość części organicznych $I_{om}$ , %	2,6÷3,5

W oparciu o przedstawione dane można stwierdzić że muł węglowy charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami jeśli chodzi właściwości mechaniczne. Odpowiednia wartość  $w_L$  oraz  $w_P$  gwarantują dobrą urabialność materiału oraz możliwość zagęszczenia bez żadnych problemów i konieczności uzdatniania mułu. Właściwości sorpcyjne tego materiału okreś-

lone przy wykorzystaniu błękitu metylenowego wskazują na niską klasę sorbentu w porównaniu z innymi sorbentami krajowymi. Trzeba jednak pamiętać że w przypadku formowania warstw mineralnego uszczelnienia składowisk mniej istotna jest wysoka jakość sorbentu na rzecz masowego stosowania surowca [7]. Porównując natomiast odpadowy muł pod kątem wartości *CEC* z innymi sorbentami zawierającymi kaolinit, wypada on wówczas stosunkowo korzystnie ponieważ powierzchnia właściwa dla kaolinitu wynosi  $10\div 30 \text{ m}^2/\text{g}$  a w przypadku mułu powierzchnia właściwa równa się  $73 \text{ m}^2/\text{g}$ . Z porównania wartości otrzymanych dla odpadowego mułu z wymaganymi parametrami dla materiałów stosowanych jako mineralne warstwy izolacyjne wynika że odpad ten posiada niezbędne cechy dla takiego zastosowania.

Dla uzyskania niskiej przepuszczalności hydraulicznej, proces zagęszczenia prowadzony powinien być przy  $w_{opt}$ . Przepływ adwekcyjny w gruntach odbywa się w obrębie porów które są ze sobą połączone. Istnieje więc duża zależność przepływu od porowatości, nie porowatości ogólnej ale tak zwanej porowatości efektywnej wyrażającej sumę procentową ilości porów mających ze sobą kontakt. W celu określenia zmienności przepuszczalności hydraulicznej przeprowadzono badania zmian porowatości efektywnej oraz przepuszczalności hydraulicznej wraz ze zmianami wilgotności materiału podczas zagęszczania. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

**Zmiany w zagęszczonych mułach wartości przepuszczalności hydraulicznej oraz porowatości efektywnej i porowatości całkowitej wraz ze zmianami wilgotności**

Wilgotność $w$ , %	Przepuszczalność hydrauliczna $k$ , m/s	Porowatość efektywna $n_{eff}$ , %	Porowatość całkowita $n$ , %
13	4,60E-09	20,98	33
22	1,38E-10	17,40	37
28	3,06E-11	11,71	40
31	4,10E-11	11,92	39

Uzyskanie najniższej wartości przepuszczalności hydraulicznej wiąże się z redukcją  $n_{eff}$  o prawie 50% w stosunku do sytuacji gdy muł węglowy zagęszczany jest przy wilgotności dużo niższej niż  $w_{opt}$ . ( $w = 13\%$ ) Zwiększenie zgodnie z zaleceniami wilgotności podczas jego zagęszczania w granicach 3% do poziomu  $w = 31\%$  powoduje bardzo niewielki wzrost zarówno  $n_{eff}$  jak i  $k$ .

W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić że wykorzystanie odpadowego mułu jako substytutu skał ilastych stosowanych do budowy barier izolacyjnych jest jak najbardziej możliwe. Wykorzystanie własności muły związanych z jego dobrymi parametrami mechanicznymi oraz parametrami sorpcyjnymi, pozwala na wykonanie w pełni funkcjonalnej warstwy uszczelniającej. Zagęszczanie materiału przy wilgotnościach bliskich  $w_{opt}$  wykazuje stabilną wartość przepuszczalności hydraulicznej, niewielkie zmiany wilgotności podczas procesu wbudowywania surowca nie będą powodować szczególnych zmian w prędkości migracji ewentualnych odcieków poprzez warstwę uszczelnienia.

## 5. Podsumowanie

Odpadowe muły pochodzące z procesów wodno-mułowych KWK „Janina” składają się z około 40÷50% z minerałów ilastych o charakterze kaolinitu oraz illitu. Taka ilość składników ilastych determinuje możliwość zastosowania mułów jako substytutu skał ilastych, stosowanych podczas prac zabezpieczających środowisko wodno-gruntowe w rejonach składowisk odpadów.

Niskie wartości przepuszczalności hydraulicznej ( $3,06E-11$  m/s) wynikające z zagęszczenia mułu przy wilgotnościach bliskich  $w_{opt}$  gwarantują pełne bezpieczeństwo pracy w przypadku zastosowania mułu jako bariery izolacyjnej. Parametry mechaniczne mułu czyli granica płynności oraz plastyczności gwarantują wysoką urabialność materiału podczas jego wbudowywania. Własności te są na tyle dobre że zbędne staje się uzdatnianie surowca jak ma to miejsce często w przypadku ilów. Stosunkowa niewysoka wartość pojemności wymiany kationów nie ma wielkiego wpływu na określenie przydatności tego surowca, głównie ze względu na możliwość jego masowego zastosowania.

Wykorzystanie odpadowego mułu przyczynia się do ochrony środowiska naturalnego i to w kilku aspektach: czynnie chroniąc kopaliny użyteczne, zmniejszając degradację środowiska i krajobrazu co ma miejsce podczas eksploatacji kopaliny użytecznych oraz jednocześnie ograniczając tereny przeznaczone pod składowanie odpadowych mułów. Ilość mułów odpadowych możliwych do zagospodarowania dzięki takiemu kierunkowi ich wykorzystania jest bardzo duża. Dla przeciętnej wielkości składowiska odpadów komunalnych wynoszącej około 5 ha na którym planuje się składowanie odpadów inne niż obojętne i niebezpieczne (SNO), ilość materiału potrzebnego do wykonania warstwy o łącznej miąższości 1 m w przypadku wykorzystania mułu wyniesie 10 000 Mg. Taka sama ilość mułu byłaby niezbędna do wykonania bariery w przypadku składowiska odpadów niebezpiecznych (SN) o powierzchni 1 ha przy wymaganej miąższości równej 5 m. W przypadku KWK „Janina” przy wypadzie miesięcznym mułu równym około 70 tys. Mg uzyskanie stosunkowo jednorodnego materiału w niezbędnych ilościach nie stwarzało by żadnego problemu. Dodatkowo, uzysk kilkudniowy i związane z nim magazynowanie mułu na terenie budowy pozwoliłoby na odwodnienie mułu do wartości bliskich  $w_{opt}$  bez żadnych szczególnych zabiegów technicznych.

### LITERATURA

- [1] *Doniecki T.*: Sztuczne bariery geologiczne, Ekologia, 2005, nr 4
- [2] Polska Norma (PN-88/B-04481). Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (D.U z 2003 Nr 61, poz. 549)
- [4] ITB: Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiska odpadów komunalnych, Instrukcja ITB nr 337, Warszawa 1995,
- [5] *Garbulewski K.*: Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. Rozprawy Naukowe i Monografie, SGGW, Warszawa 2000
- [6] *Pisarczyk S.*: Badania geotechniczne gruntów spoistych stosowanych do budowy uszczelnień mineralnych składowisk odpadów komunalnych, Gospodarka Wodna, 1999, nr 1
- [7] *Dragowski A., Luczak-Wilamowska B.*: Uwarunkowania stosowalności ilów jako izolacyjnych barier geologicznych na przykładzie ilów ze złoża w Budach Mszczonowskich. Przegląd Geologiczny, 2005, vol. 53, nr 8