

Władysław PILCH<sup>x)</sup>  
Antoni CIEŚLA<sup>xx)</sup>  
Marian BROŻEK<sup>x)</sup>  
Karol NOWAKOWSKI<sup>x)</sup>  
Antoni SIWIEC<sup>x)</sup>

BADANIA NAD USZLACHETNIANIEM SUROWCÓW KAOLINOWYCH  
METODĄ SEPARACJI WYSOKOGRADIENTOWEJ

**Streszczenie.** Wykonano próby separacji magnetycznej surowca kaolinowego ze złoża Maria III. We wszystkich przypadkach otrzymano produkty o obniżonej zawartości żelaza i tytanu. Również we wszystkich przypadkach wzrosła białość finalnych produktów. Do separacji zastosowano laboratoryjny separator magnetyczny. Jako wypełnienie przestrzeni roboczej stosowano watę stalową i drut Armco.

## 1. WSTĘP [1]

Główne rejon występowania kaolinów w Polsce, to; masyw Strzegom-Sołbótka, masyw granitowy Strzelina, masyw gnejsów Gór Izerskich i Sowich oraz górnokredowe piaskowce niacki bolesławieckiej.

Obecnie, głównym źródłem surowca kaolinowego jest kopalnia Maria III. Urobek górniczy kierowany jest do zakładu przerobczego, gdzie poddawany jest kolejnym operacjom jednostkowym, jak: przemywanie, klasyfikacja, zagęszczenie, filtracja i suszenie. Produkt finalny tych operacji - kaolin - zawiera średnio 31-36%  $Al_2O_3$ , 0,6-1,0%  $Fe_2O_3$  i około 0,45%  $TiO_2$ . Jest to kaolin przeznaczony głównie dla przemysłu ceramicznego (KOC), gumowego i częściowo szklarskiego.

O jakości koaliny decyduje wiele czynników, spośród których należy wymienić zawartość tlenków barwiących, w tym głównie tlenku żelaza i tytanu oraz białość.

Istnieje wiele sposobów uszlachetniania kaolinów, których głównym celem jest obniżenie zawartości wyżej wymienionych tlenków oraz podwyższenie białości.

<sup>x)</sup> Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych Akademii Górniczo-Hutniczej - Kraków.

<sup>xx)</sup> Instytut Energetyki - Akademia Górniczo-Hutnicza - Kraków.

## 2. METODY CHEMICZNE USZLACHETNIANIA KAOLINÓW

Istnieje wiele sposobów chemicznego wybielenia kaolinów, które to sposoby są chronione patentami lub wręcz utrzymywane w tajemnicy.

Z powszechnie znanych sposobów można wymienić wybielenie za pośrednictwem podsiarczanu cynku ( $ZnS_2O_4$ ) w firmie I.M. Huber w Georgii w USA. Ten sposób stosowany jest również w przemyśle kaolinowym we Francji oraz w Czechosłowacji w zakładach w Kazejewie.

Ogólnie chemiczne metody wybielenia kaolinów mają szereg istotnych wad, jak: skażenie środowiska, trudności w przeprowadzeniu i opanowaniu procesu, mała efektywność i wysokie koszty. W latach siedemdziesiątych rozpoczęto wzbogacanie surowców kaolinowych metodą separacji poligradientowej.

## 3. WZBOGACANIE MAGNETYCZNE KAOLINÓW

### 3.1. Wprowadzenie

Do wzbogacania surowców kaolinowych stosuje się wyłącznie tzw. separatory poligradientowe z różnymi rodzajami matryc, które są źródłem gradientu pola magnetycznego.

Ze względu na rodzaj pracy - separatory te działają w ruchu ciągłym lub cyklicznym. Ponadto, ze względu na rodzaj źródła pola magnetycznego, można wyróżnić separatory, gdzie pole generowane jest w elektromagnesach klasycznych (z rdzeniem ferromagnetycznym) oraz separatory z polem magnetycznym, generowanym w warunkach nadprzewodnictwa.

W przypadku stosowania elektromagnesów klasycznych - indukcja pola magnetycznego w zasadzie nie przekracza 2 T, podczas gdy w separatorach nadprzewodnikowych indukcja osiąga kilka tesli (5-6 T).

Obecnie, do separacji kaolinów najczęściej stosowane są separatory o pracy cyklicznej [2, 3].

Źródłem pola magnetycznego w tych separatorach jest prąd elektryczny płynący w uzwojeniu. Strumień magnetyczny zamykany jest przez rdzeń. Nadawa doprowadzana jest ze zbiornika do pojemnika wypełnionego matrycami. Częstki magnetyczne zatrzymywane są w matrycy, podczas gdy cząstki niemagnetyczne opuszczają przestrzeń roboczą i trafiają do odbieralnika. Po wyłączeniu pola z matryc wypłukiwane są cząstki magnetyczne. Na tej zasadzie pracują separatory przemysłowe. Pierwszy prototyp takiego separatora posiadał następujące parametry: średnica pojemnika matryc: 500 mm, a jego wysokość 300 mm; 1 indukcja pola magnetycznego: 2 T; moc zużywana do generowania tego pola: 300 kW; wydajność separatora: 2 t/godz. Separator przemysłowy podobnego typu, przeznaczony do wzbogacania surowca kaolinowego, posiada kanieter o średnicy 2100 mm. Uzwojenie stanowi przewódnik miedziany o przekroju pierścieniowym, chłodzony wodą. Zapotrzebowanie mo-

cy 400-500 kW. Indukcja pola magnetycznego wynosi 2 T. Wydajność ok. 64 m<sup>3</sup>/godz. co odpowiada, w zależności od zawartości części stałych, wydajności rzędu 10-20 ton/godz.

### 3.2. Opis stanowiska badawczego

Na rysunku 1 przedstawiony jest ogólny schemat stanowiska badawczego. Stanowisko to zbudowane jest z dwóch głównych elementów zasilacza i elektromagnesu.

Zasilacz stanowi programowane źródło prądowe PZP-8005 i służy do zasilania elektromagnesu.

Elektromagnes ER 2505 pozwala m.in. na uzyskanie pola jednorodnego między płaskimi równoległymi nabiegownikami.

Elektromagnes zbudowany jest z uzwojenia (3) - składającego się z 6 cewek wzbudzenia. Rezystancja średnia pojedynczej cewki wynosi  $R_{150C} = 2,368$ . Każda cewka nawinięta jest 640 zwojami drutu miedzianego o  $\varnothing = 2,8$  mm.

Karkasy wykonane są z płyt mosiężnych i mają ściany boczne, chłodzone wodą przepływającą rurami miedzianymi (5), umieszczonymi w płytce karkasu. Ilość wody chłodzącej 3,5-4 l/min. Jarzmo (4) i bieguny elektromagnesu wykonane są ze stopu EO-4-araco. Wykonano trzy rodzaje nabiegowników: nabiegowniki równoległe i 2 komplety nabiegowników klinowo wykształconych. Odległość między nabiegownikami klinowymi w górnej części wynosiła 100 mm, a w dolnej 20 mm. Kąt zbieżności wynosił 30°. Ta przestrzeń między nabiegownikami klinowo-wykształconymi - stanowiła przestrzeń roboczą.

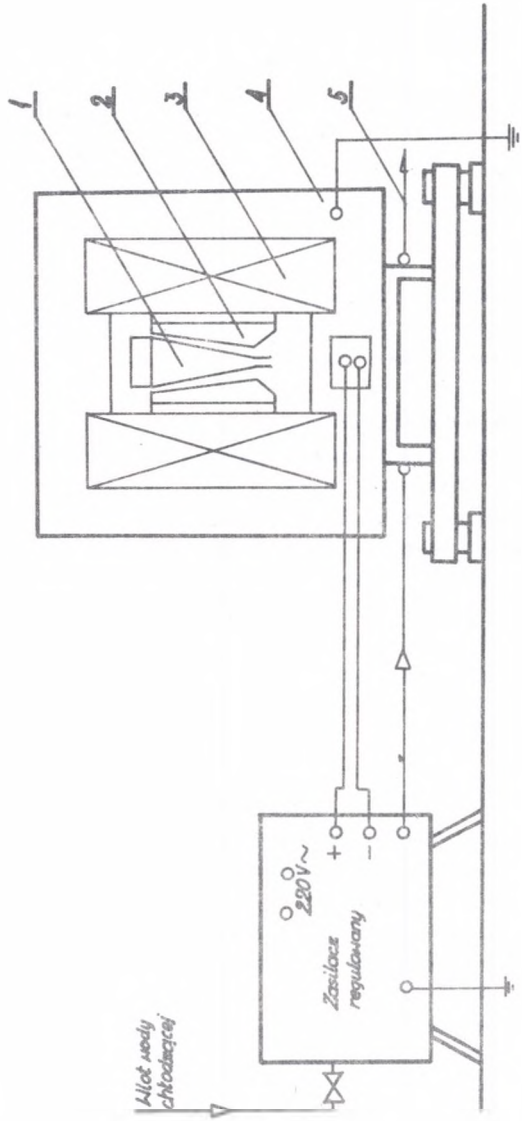
Separacja przebiegała przy różnych wartościach prądu magnesuującego, tzn. przy różnych wartościach indukcji magnetycznej w przestrzeni roboczej separatora.

### 3.3. Wybrane wyniki separacji magnetycznej kaolinu

Przedmiotem badań były próbki kaolinu pobrane z bieżącej produkcji w Nowogrodzcu "Surmin". Próbki były pobrane w różnych okresach w 1988 r. i oznaczane symbolami K-1, K-2, K-3, K-4. Próbkę K-4 pobrano w 1989 r.

W tablicach 1, 2, 3, 4 podano niektóre wyniki separacji, uzyskane przy maksymalnym prądzie magnesuującym 80 A i zagęszczeniu części stałych w nadawie wynoszącym 5%.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki zamieszczone w tablicy 1, gdzie w produkcji niemagnetycznym obniżano zawartość TiO<sub>2</sub> do 0,18%. Dla porównania w tablicy 4 zestawiono wyniki badań nad wzbogacaniem kaolinów ze złoża Maria III przez firmy zagraniczne i AGH.



Rys. 1. Ogólny układ stanowiska badawczego  
 1 - pojemnik, 2 - nabiegownik, 3 - uzwojenie, 4 - jarzmo, 5 - wylot wody chłodzącej

Tablica 1

Wyniki wzbogacania próbki K-1 w warunkach: prąd magnesujący - 80 A, zagęszczenie części stałych - 5%,  
wypełnienie - wata stalowa, dyspergator - szkło wodne 1 kg/t

Nr próbki	Produkt	Wychód %	Zawartość %				Uzysk %		B i a ż o ś ć			Jakość
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Filtr			
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	czarw.	nieb.	ziel.		
56	Niemag.	72,3	0,83	0,18	32,51	65,10	28,35	95,40	91,30	95,30	97,62	
55	Magnet.	27,7	1,16	1,19	-	34,90	71,65	-	-	-	-	
	Nadawa		0,92	0,46	32,84	100,0	100,0	93,50	87,40	91,20	95,50	
			0,09	-0,28				1,90	3,90	4,10	2,12	

Tabela 2

Wyniki wzbogacania próbki K-2 w warunkach: prąd magnesujący - 80 A, zagęszczenie części stałych - 5%  
wypełnienie matrycy - drut "Arcco", dypeergator -

Nr próby	Produkt	Wychód %	Zawartość %			Uzytek %		B i a ło ść			Jasność
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Filt r			
								czern.	nieb.	ziel.	
11	Niemag.	82,3	0,72	0,38	3,49	68,72	66,91	95,00	95,50	96,50	98,15
9	Magnet.	17,7	1,52	0,86	-	31,28	33,09	-	-	-	-
	Nedana	100,0	0,86	0,46	32,75	100,0	100,0	94,10	89,10	90,10	94,10
			0,14	0,08				0,90	6,40	6,40	4,05

Tablica 3

Wyniki wzbogacenia próbki K-3 w warunkach: prąd magnesujący - 80 A, zagęszczenie części stałych - 5%,  
wypełnienie matrycy - wata stalowa, dyspergator -

Nr próby	Produkt	Wychód %	Zawartość %			Uzytek %			B i a ż o ń c			Jakość
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>	Filtr		Jakość	
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	czarn.	nieb.	ziel.		
58	Niemag.	84,0	0,76	0,31	27,00	62,7	54,4	95,35	90,70	94,50	97,16	
57	Magnet.	16,0	2,38	1,34	-	37,32	45,5	-	-	-	-	
	Madawa	100,0	1,02	0,47	26,69	100,0	100,0	94,10	89,10	90,10	94,10	
			-0,26	-0,16				1,25	1,60	4,40	3,06	

Tablica 4

Wyniki wzbogacania próbek K-4 przy warunkach: prąd magnesujący - 80 A, zagęszczenie części stałych - 10%  
 wypełnienie - wata stalowa, dyspergator - fosforan sodu - 1 kg/t

Nr próby	Produkt	Wychód %	Zawartość %			Uzytek %		B i e ło ń c			Jakość
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RiO <sub>2</sub>	Filtr			
								czerw.	nieb.	ziel.	
65	Niemag.	76,0	0,35	0,40	25,75	47,5	60,8	86,0	85,9	86,7	93,11
66	Magnet.	24,0	1,23	0,82	-	52,5	39,2	-	-	-	-
	Nadawa	100,0	0,56	0,50	25,76	100,0	100,0	84,5	82,0	85,3	92,35
			-0,21	-0,10				+1,5	+3,9	+1,4	+0,76



Tablica 5

## Wyniki porównawcze wzbogacania kaolinu ze zioła Maria III

Wyszczególnienie	Wyniki uzyskane przez					
	Venot PIC	Netzach	K-1	K-2	K-3	
Białość po wysuszeniu %	Filtr niebieski	78,2	78,0	71,0	78,80	68,0
	Filtr zielony	80,8	82,5	79,1	80,95	76,0
	Filtr czerwony	83,0	85,6	85,2	84,62	83,9
Zawartość %	SiO <sub>2</sub>	54,77	51,77	-	-	-
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,15	33,44	32,51	33,49	27,0
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,47	0,49	0,83	0,72	0,76
	TiO <sub>2</sub>	0,53	0,51	0,18	0,38	0,31

### 3.4. Analiza wyników separacji magnetycznej kaolinu

Separacji magnetycznej poddano 4 próbki kaolinu pobranych z finalnych produktów w Zakładzie SURMIN w Nowogrodźcu. Próbki pobrano w różnych terminach i różniły się zawartości  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  i  $Al_2O_3$ .

We wszystkich przypadkach, w wyniku separacji magnetycznej, nastąpiło obniżenie zawartości  $Fe_2O_3$  i  $TiO_2$  w produktach niemagnetycznych. W tabelicy 5 zestawiono niektóre wyniki separacji, porównując je z wcześniejszymi badaniami wykonanymi przez firmy zagraniczne. Jak z tabelicy 5 wynika - we wszystkich przypadkach separacji próbek K-1, K-2, K-3 otrzymano znaczne obniżenie zawartości  $TiO_2$  w porównaniu z wynikami firmy PIC i Netzech. Zauważyć należy, że porównanie to nie jest w pełni miarodajne, jako że porównywano wyniki separacji różnych próbek. Próbka K-4 różniła się od próbek K-1, K-2 i K-3 znacznie niższą zawartością tlenków  $Fe_2O_3$  i  $TiO_2$ . Białość produktów uzyskanych z próbki K-4 oznaczono tylko w stanie wyprażonym - stąd nie są porównywalne z wynikami zagranicznymi, gdzie białość oznaczono w stanie surowym.

## 4. ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzono badania nad obniżeniem zawartości tlenków barwiących w 4 próbkach kaolinu, pochodzących ze złoża Maria III w Nowogrodźcu.

We wszystkich przypadkach otrzymano wyniki pozytywne, te produkty niemagnetyczne wykazywały niższą zawartość  $Fe_2O_3$  i  $TiO_2$  w porównaniu z próbkami wyjściowymi. Zastosowanie separacji magnetycznej do wzbogacania krajowych surowców kaolinowych jest celowe z dwóch podstawowych powodów:

- możliwości otrzymania finalnych produktów uzlachtenionych o obniżonej zawartości tlenków barwiących,
- możliwości stabilizacji jakości produkcji.

## LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa: Surowce kaolinowe - Monografie surowców mineralnych Polski. Wydawnictwo Geologiczne 1982.
- [2] Iannicelli J.: New developments in the high extraction magnetic filtration of kaolin clay, XII IMPC, Warszawa 1979.
- [3] Lofthouse C.H., Scobie C.W.: The beneficiation of kaoline using a commercial high intensity magnetic separator XIII IMPC, Warszawa 1979.

## ОБЛАГОРАЖИВАНИЕ КАОЛИНОВОГО СЫРЬЯ ВЫСОКОГРАДИЕНТНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

## Р е з ю м е

Сделано магнитную сепарацию каолинового сырья из месторождения Мария 3. Во всех случаях получено продукты о сниженной концентрации железа и титана. Также во всех случаях растёт белизна конечных продуктов. В процессе применено лабораторный магнитный сепаратор. Насадкой в рабочим пространстве сепаратора были: стальное волокно и проволока Армко.

## BENEFICIATION OF CLAY MINERALS BY MEANS OF HIGH GRADIENT SEPARATION

## S u m m a r y

Magnetic separation of some samples of kaolin from Maria III deposit has been carried out. In all cases the reduction of the iron and titanium content has been reached. Also the brightness of the final products increased. For separation a laboratory separator has been applied. As matrix the iron wool and armco wire has been used.