

Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ *

Barbara KACZMAREK **

OCENA MOŻLIWOŚCI WYDZIELANIA MINERAŁÓW CIĘŻKICH Z PIASKÓW SZKLARSKICH Z REJONU BIAŁEJ GÓRY

Jednym z zanieczyszczeń w piaskach szklarskich eksploatowanych w rejonie Białej Góry koło Tomaszowa Mazowieckiego są minerały ciężkie. Ich obecność jest jedną z przyczyn dość niskiej jakości produkowanego w Białej Górze surowca szklarskiego. W pracy zauważono, że przy pomocy wzbogacania grawitacyjnego możliwe jest usunięcie z piasków minerałów ciężkich, co równocześnie powoduje podwyższenie klasy jakościowej produktu sprzedażnego zakładu przerobczego w Białej Górze. Stwierdzono również, że otrzymane koncentraty grawitacyjne mogą być źródłem wysokojakościowych koncentratów tytanowych i cyrkonowych.

WSTĘP

W okolicach Tomaszowa Mazowieckiego na terenie tzw. Synkliny Tomaszowskiej znajduje się duże, powstałe w okresie kredy, złożo okruchowe wykorzystywane od ponad 70 lat jako źródło piasków szklarskich, formierskich, zwirków filtracyjnych, a także ilów ceramicznych. Udokumentowane tam zasoby piasków szklarskich stanowią niemal 80 % całości zasobów tego surowca w Polsce [1,2]. Aby spełnić wymagania przemysłu szklarskiego materiał ze złoża musi być poddany przeróbce w celu wydzielenia odpowiedniej klasy ziarnowej piasku oraz usunięcia naturalnych zanieczyszczeń. Najważniejszymi zanieczyszczeniami w piaskach szklarskich są składniki ilaste oraz składniki barwiące, związane często z obecnością minerałów ciężkich. Zarówno pierwsze, jak i drugie, mogą być potraktowane jako cenne składniki towarzyszące.

Minerały ciężkie z surowców okruchowych to najbardziej odporne chemicznie i mechanicznie minerały akcesoryczne pochodzące ze skał magmowych uległych procesom wietrzenia. Piaski kwarcowe wraz z kaolinem są uważane za końcowy produkt tego wietrzenia i zawierają najczęściej od dziesiątych części procenta do kilku procent minerałów ciężkich takich jak cyrkon, $ZrSiO_4$; rutyl, TiO_2 ; ilmenit, $FeTiO_3$; hematyt, Fe_2O_3 ; magnetyt, Fe_3O_4 ; tytanomagnetyt, monacyt, $(Ce, TR)PO_4$; czasami kasyteryt, SnO_2 i złoto rodzime, Au. Ze złóż okruchowych (piasków) pochodzi prawie 100% światowej produkcji cyrkonu, 50% koncentratów tytanu, 40% ziem rzadkich, 30% wolframu, a także około 20-30% złota i platyny [3,4,5].

W piaskach z rejonu Synkliny Tomaszowskiej stwierdzono zróżnicowane zawartości minerałów ciężkich, co pokazuje tabela 1 sporządzona na podstawie danych M. Błaszak [6].

* Politechnika Wrocławska, Instytut Górniczo, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

** Instytut Górniczo Odkrywkowy "Poltegor", Dział w Warszawie, ul. Augustówka 5, 02-982 Warszawa

Tabela 1. Zawartości minerałów ciężkich w piaskach na terenie Synkliny Tomaszowskiej (według pracy [6])

Rejon złoża	Zawartość minerałów ciężkich, %	Uwagi
1. Biała Góra	0.82	eksploatowane
2. Grudzeń Las	1.06	przygotowane do eksploatacji
3. Wyganów	2.02	nie eksploatowane
4. Góry Trzebiatowskie	0.04	nie eksploatowane
5. Radonia	0.27	nie eksploatowane

Eksploatacja piasków szklarskich prowadzona jest obecnie w rejonie Białej Góry, a inne rejonu tego złoża przewidywane są do wykorzystania w niedalekiej przyszłości. Produkowany w Białej Górze piasek szklarski jest zaliczany do IV klasy jakościowej. Jest to wynikiem stosowanego procesu przerobczego, polegającego na rozmywaniu, odmywaniu zanieczyszczeń i mokrej klasyfikacji. Przyczyną tego, że produkowane w Białej Górze piaski szklarskie są dość niskiej klasy jakościowej, jest wcześniej wspomniana stosunkowo wysoka zawartość związków żelaza i tytanu, związana w dużym stopniu z obecnością w surowcu minerałów ciężkich [7,8,9], których się nie usuwa. Z podobnymi, opisanymi w literaturze przypadkami (np. w pracach [10,11]), można spotkać się w innych złożach piasków szklarskich.

Tematem tej pracy jest ocena możliwości wydzielenia minerałów ciężkich z końcowych, klasyfikowanych produktów przeróbki piasków szklarskich z zakładu Tomaszowskich Kopalń Surowców Mineralnych (T.K.S.M.) "Biała Góra". Piaski te, dostarczone jako materiał do naszych badań, spełniały wymagania Polskiej Normy [12] dla piasku szklarskiego klasy IV. Wydzielenie minerałów ciężkich, jak przypuszczaliśmy, powinno spowodować podwyższenie jakości tych produktów. Celem pracy było wydzielenie minerałów ciężkich w postaci koncentratów kolektywnych, ocena ich składu chemicznego i mineralogicznego oraz próby ich rozdzielenia na produkty możliwie monomineralne. Rozdzielenie koncentratów kolektywnych miało na celu określenie możliwości wykorzystania otrzymanych minerałów ciężkich.

Prezentowane badania traktowaliśmy jako technologiczne, mające na względzie z jednej strony jakość produkowanych piasków szklarskich, z drugiej strony były one wstępnym rozpoznaniem (nikt wcześniej takich badań nie wykonywał) problemu wykorzystania minerałów ciężkich z piasków z rejonu Białej Góry. Badania te były wstępne również dlatego, że przedmiotem badań były tylko produkty przeróbki, a nie surowiec ze złoża.

MATERIAŁY DO BADAŃ, METODYKA I URZĄDZENIA

Badaniom poddano 2 próbki produktów handlowych, dostarczone z T.K.S.M. "Biała Góra", wzięte z bieżącej produkcji zakładu:

Próbka 1 -piasek szklarski klasy IV, o uziarnieniu 0,1-0,5 mm, główny produkt sprzedażny zakładu (100 kg),

Próbka 2 -produkt młkowy, o uziarnieniu 0,06-0,15 mm (150 kg).

Otrzymane próbki były w stanie wilgotnym. Po wysuszeniu uśredniono je i pomniejszono na kwartowniku oraz pobrano po około 1-2 kg materiału do badań chemicznych, mineralogicznych, granulometrycznych i zawartości minerałów ciężkich. W tabeli 2 zestawiono wyniki oznaczenia składu ziarnowego badanych próbek, natomiast ich charakterystykę chemiczną pokazano w tabeli 3. Oznaczenia zawartości frakcji minerałów ciężkich zamiesz-

Tabela 3. Charakterystyka chemiczna badanych próbek piasków.

Próbka	Zawartości, %				
	f. m. c. *	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Próbka 1	0,20	0,038	0,091	0,22	99,4
Próbka 2	0,42	0,066	0,57	0,46	99,0

* f. m. c. - frakcja minerałów ciężkich

czono w drugiej kolumnie tej tabeli. Badania mineralogiczne obu nadaw do badań wykazały, że minerały ciężkie koncentrują się głównie w najdrobniejszych klasach ziarnowych - poniżej 0,16 mm.

Po uśrednieniu próbki 1 i 2 poddano wzbogacaniu grawitacyjnemu. Badania te prowadzono na laboratoryjnym stole koncentracyjnym typu Wilfley o powierzchni roboczej około 0,6 m², według schematu pokazanego w górnej części rys.1. Wydzielone koncentraty oraz otrzymane półprodukty i odpady wysuszono oraz oznaczono w nich zawartości minerałów ciężkich. Grawitacyjne koncentraty kolektywne otrzymane z obu próbek, po stwierdzeniu ich zbliżonego do siebie składu, zmieszano i poddano rozdziałowi magnetycznemu przy użyciu laboratoryjnego separatora typu "Frantz Isodynamic". Frakcje niemagnetyczne, otrzymane po separacji magnetycznej, doczyszczano grawitacyjnie w celu usunięcia kwarcu i poddano flotacji (bez optymalizacji procesu) w celu wydzielenia cyrkonu według metody opisanej w pracy [13]. Schemat tych operacji pokazano na rys.1.

Oznaczenia zawartości minerałów ciężkich wykonywano przy użyciu czterobromoetanu. Badania mineralogiczne wykonywano przy pomocy mikroskopu polaryzacyjnego. Główne składniki tworzące frakcję minerałów ciężkich poddano także badaniom mikroskopowym przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego "Stereoscan 180" firmy Cambridge Instruments z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej firmy Link Systems. Te ostatnie badania wykonano w Środowiskowym Laboratorium Mikroskopii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej. Analizy chemiczne wykonano w Laboratorium Analitycznym Zakładu "Hydromet" w Kowarach (Zr, Ti, TR, Fe) oraz w Laboratorium Chemicznym kopalni (KizPPS) "Osiecznica" (SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃). Analizy spektralne wykonano w Instytucie Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiotków Rzadkich Politechniki Wrocławskiej.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 4 zestawiono wyniki ilościowych analiz spektralnych frakcji minerałów ciężkich wydzielonych z próbki 1 i próbki 2. W tabeli 5 zestawiono wyniki obserwacji mikroskopowych frakcji minerałów ciężkich, wydzielonych z badanych próbek, a w tabeli 6 wyniki oznaczeń chemicznych tych frakcji. Analizy spektralne minerałów ciężkich, oprócz spodziewanych wysokich zawartości tytanu i cyrkonu, wykazały znaczące koncentracje uranu oraz toru, a także boru, manganu i wolframu.

Tabela 4. Wyniki analiz spektralnych f.m.c.

Tabela 2. Skład ziarnowy badanych próbek piasku szklarskiego				Pier-wiastek	Zawartość, %	
					Próbka 1	Próbka 2
Lp.	Kl. ziarnowa [mm]	Wychód, %				
		Próbka 1	Próbka 2			
1.	+ 0,5	0,1	-	B	1,0-10,0	1,0 -10,0
2.	0,4 - 0,5	1,0	0,8	Co	0,001	0,01
3.	0,3 - 0,4	7,3	1,8	P	-	1,0
4.	0,25 - 0,3	18,8	4,3	Al	10,0	1,0
5.	0,20 - 0,25	24,1	8,2	Zr	1,0-10,0	1,0-10,0
6.	0,16 - 0,20	31,4	25,1	Fe	10,0	10,0
7.	0,125- 0,16	14,6	33,4	Mg	0,1-1,0	0,1
8.	0,1 - 0,125	1,9	13,3	Mn	0,1-1,0	0,1
9.	- 0,1	0,8	13,1	Th	0,1	0,1-1,0
				U	0,1	0,1
				Sn	0,001	0,001
				W	-	0,01-0,1
				Ga	0,01	0,01-0,1
				Cr	0,1-1,0	0,1-1,0
				Ca	0,1-1,0	0,1
				V	0,1-0,01	0,1-0,01
				Y	0,1	0,1
				Ti	10,0	10,0
				Zn	0,1-0,01	0,1-0,01
				Sr	0 1-0,01	0,1-0,01
		100,0	100,0			

Tabela 5. Oznaczenia mikroskopowe minerałów ciężkich w badanych próbkach

f.m.c. wydzielona z:	zawartości, %					
	cyrkon	leukoksen	rutyl	minerały opakowe	monacyt	inne*
Próbki 1	31,2	12,8	12,5	28,1	-	15,4
Próbki 2	49,0	8,2	12,8	19,6	2,8	5,4

*jako inne oznaczono głównie turmalin, pirokseny, dysten, staurolit i chloryt

Obserwacje mineralogiczne frakcji minerałów ciężkich wydzielonych z nadawy (tabela 5), jak i później wydzielonych koncentratów grawitacyjnych wykazały, że głównymi składnikami tej frakcji jest cyrkon, rutyl, leukoksen, ilmenit i niewielkie ilości innych minerałów ciężkich. Identyfikacji poszczególnych minerałów dokonano także przy pomocy mikroskopy rentgenowskiej. Na fotografii zamieszczonej na rys.2 pokazano obraz

skaningowy wydzielonych ziarn minerałów ciężkich, a na rys.3 widma rentgenowskie tych ziarn. Widma te, jak i widma otrzymane dla wielu innych ziarn, wskazują na duży stopień czystości indywidualnych ziarn.

Tabela 6. Charakterystyka chemiczna frakcji minerałów ciężkich

Zawartość we f.m.c.	ZrSiO ₄ [*] , %	TiO ₂ , %	TR ₂ O ₃ ^{**} , %	Fe, %
Próbka 1	17,22	40,74	0,1	6,88
Próbka 2	23,15	32,29	0,17	5,22

* wartość przeliczona z oznaczenia zawartości Zr, %

** TR₂O₃ - suma tlenków pierwiastków ziem rzadkich.

Tabela 7. Bilans wzbogacania na stole koncentracyjnym próbki 1

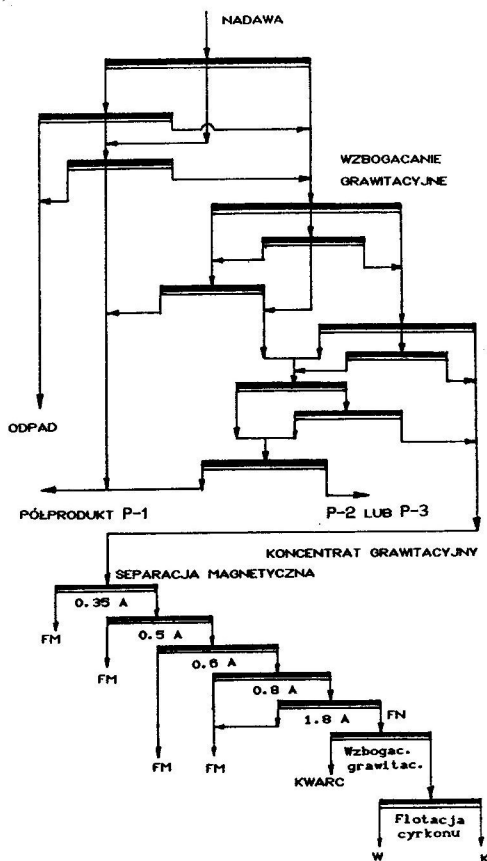
Produkt	Wychód γ, %	f.m.c., %	Uzysk f.m.c. ε, %
Koncentrat	0,23	62,45	69,96
Półprodukt 2	1,49	0,58	4,21
Półprodukt 1	3,81	0,40	7,42
Odpad	94,47	0,04	18,41
Nadawa z bilansu	100,00	0,21	100,00
Nadawa oznaczona		0,20	

Tabela 8. Bilans wzbogacania na stole koncentracyjnym próbki 2

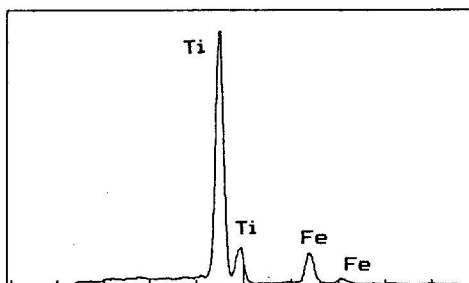
Produkt	Wychód γ, %	f.m.c., %	Uzysk f.m.c.
Koncentrat 1	0,14	100,0	31,84
Koncentrat 2	0,40	45,27	41,18
Półprodukt 2	3,02	1,14	7,82
Półprodukt 1	1,65	0,68	2,55
Odpad	94,79	0,077	16,60
Nadawa z bilansu	100,00	0,44	100,0
Nadawa oznaczona		0,42	

Oznaczenia chemiczne (tabela 6) i mineralogiczne wskazują, że skład minerałów ciężkich w badanym materiale jest bardzo korzystny ze względu na wysokie zawartości cyrkonu i minerałów tytanowych przy dość niskiej zawartości żelaza i niewielkiej ilości metali ziem rzadkich (TR).

W tabelach 7 i 8 zestawiono bilanse wzbogacania grawitacyjnego badanych próbek piasków. Koncentraty doprowadzono do maksymalnej zawartości frakcji minerałów ciężkich (f.m.c.) rzędu 60-70 %, planując usunięcie reszty kwarcu po separacji magnetycznej, jak



Rys.1. Schemat wykonanych doświadczeń
Fig.1. Experimental flowsheet



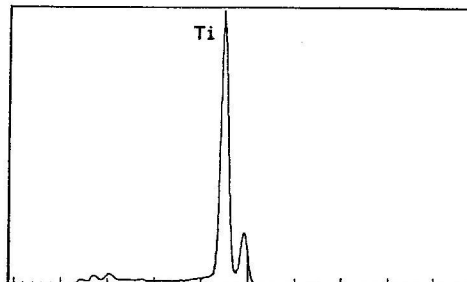
Rys.5. Widmo rentgenowskie ziarna "c" (leukoksen)

Fig.5. As Fig.2 for grain "c" (leuco-xene)



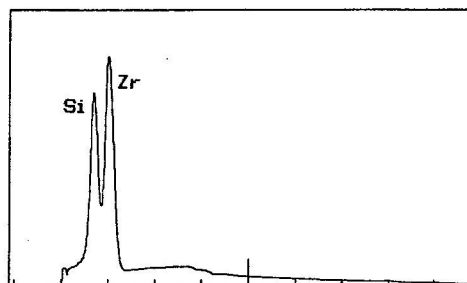
Rys.2. Obraz skanningowy typowych ziarn mineralów ciężkich: a) rutil, b) cyrkon, c) leukoksen, pow. 300 x

Fig.2. SEM micrograph showing grains of typical heavy minerals: a) rutile, b) zircon, c) leucoxene



Rys.3. Widmo rentgenowskie ziarna "a" (rutilu)

Fig.3. X-ray spectrum for the grain "a" (rutile)



Rys.4. Widmo rentgenowskie ziarna "b" (cyrkon)

Fig.4. As Fig.2 for grain "b" (zircon).

to pokazano na schemacie na rys.1.

Wzbogacanie grawitacyjne na stole koncentracyjnym w skali laboratoryjnej wykazało dobrą wzbogacalność minerałów ciężkich, choć ich bardzo drobne uziarnienie stwarza pewne trudności zwłaszcza w skali laboratoryjnej, nie dysponującej zawrotami półproduktów. Schemat wzbogacania grawitacyjnego, pokazany jako część rys.1, robi wrażenie rozbudowanego, w istocie jest bardzo prosty. Jego skomplikowany wygląd bierze się stąd, że usiłowano symulować obieg zamknięty wielokrotnie powtarzając operacje czyszczenia półproduktów w cyklu otwartym. W urządzeniach przemysłowych operacje te skupiają się praktycznie w jednej operacji głównej z dwoma czyszczeniami koncentratu i zawrotem półproduktów. Otrzymane koncentraty grawitacyjne z uzyskami rzędu 70% przy zawartości minerałów ciężkich około 60-70% wskazują na wysoki stopień wzbogacania rzędu 200-300 razy. Oczywiście dalsze podwyższenie jakości koncentratów do około 90% f.m.c. nie powinno stanowić problemu i można sądzić, że przy obiegach zamkniętych utrzyma się wysoki uzysk rzędu 70-80%. Odpady po wzbogacaniu grawitacyjnym, czyli oczyszczony z minerałów ciężkich piasek szklarski, wykazywały w obu próbkach niższe niż w nadawie zawartości żelaza i tytanu, co według obowiązującej w przemyśle szklarskim normy [12] kwalifikowało ten materiał do surowca szklarskiego klasy III, a nawet klasy II.

Koncentraty grawitacyjne z obu próbek zmieszano i poddano separacji magnetycznej. Nadawa do tej operacji przy pominięciu obecnych w niej ziarn kwarcu (składnik ten usunięto po separacji magnetycznej, rys.1), zawierała około 35% ziarn cyrkonu i ponad 55% ziarn minerałów tytanu. Rozdział koncentratu kolektywnego przy pomocy separacji magnetycznej na precyzyjnym separatorze typu izodynamicznego wykazał, że w miarę zwiększania natężenia pola magnetycznego z badanego materiału można wydzielić następujące grupy minerałów (tabela 9):

- nieprzeźroczysty, silnie zubożony w żelazo ilmenit, co świadczy o dużym stopniu jego leukoksenizacji.
- monacyt, na ogół silnie poprzerastany minerałami tytanu i cyrkonu
- leukoksen przechodzący w rutyl, oba te minerały zawierają od 6 do ok. 1% Fe i mają słabe własności magnetyczne
- rutyl o bardzo niskiej zawartości żelaza (dziesiąte części %), nie wykazujący właściwości magnetycznych
- cyrkon o nikłej lub niewielkiej ilości zanieczyszczeń obcych.

Te dwa ostatnie minerały grupują się w trakcie separacji magnetycznej we frakcji niemagnetycznej, a ich własności mineralogiczne sugerują, że ich rozdział prawdopodobnie będzie możliwy przy użyciu separacji elektrycznej lub flotacji. Wyniki testu flotacji tego produktu wykonanego według procedury opisanej w pracy [13], umieszczono w zestawieniu bilansu rozdziału w tabeli 9. Niewielkie ilości ziarn minerałów ziem rzadkich, których obecność sugerowały oznaczenia chemiczne badanych koncentratów, znalazły się we frakcji średniomagnetycznej. Nośnikiem ziem rzadkich jest monacyt. Potwierdziły to przede wszystkim obserwacje optyczne, a także wykonane (nie prezentowane w tej pracy) szczegółowe oznaczenia chemiczne. Badania mikroskopowe i chemiczne produktów separacji magnetycznej wykazały, że najsilniej magnetyczna frakcja zawiera ponad 90% silnie

zleukoksenizowanego ilmenitu. Frakcje średnio- i słabomagnetyczne zawierały głównie

Tabela 9. Bilans rozdziału (schemat na rys.1) grawitacyjnego koncentratu kolektywnego według oznaczeń chemicznych

Produkt	$\gamma, \%$	$ZrSiO_4, \%$		$TiO_2, \%$		$TR_2O_3, \%$		$Fe, \%$	
		λ	ϵ	λ	ϵ	λ	ϵ	λ	ϵ
FM, 0.35 A	33,4	0,40	0,39	57,17	47,97	0,11	15,41	16,95	89,02
FM, 0.5 A	1,1	2,51	0,08	31,92	0,88	14,02	64,67	3,47	0,60
FM, 0.6 A	7,6	9,58	2,13	53,32	10,18	0,45	14,34	5,49	6,56
FM, 0.8-1.8	5,8	16,96	2,88	68,05	9,91	0,14	3,40	1,39	1,27
K.	30,1	95,62	84,18	1,04	0,79	0,01	1,26	0,05	0,23
FN, 1.8A:									
W.	22,0	16,07	10,34	54,78	30,27	0,01	0,92	0,67	2,32
nadawa z bilansu		34,19		39,81		0,24		6,36	
nadawa oznaczona		34,69		39,9		0,12		5,48	

A - natężenie prądu w uzwojeniach elektromagnesu, przy którym wydzielono dany produkt, w amperach.

FM - frakcja magnetyczna, λ - zawartość składnika w produkcie
 FN - frakcja niemagnetyczna ϵ - uzysk składnika w produkcie
 K - produkt pianowy flotacji W - produkt komorowy flotacji

leukoksen i ciemny rutyl, a także pewne ilości cyrkonu i monacytu. Do frakcji niemagnetycznej trafia około 95% cyrkonu i 86% rutylu oraz cała ilość kwarcu, obecnych w koncentracie grawitacyjnym. W wyniku wzbogacania grawitacyjnego produktu niemagnetycznego (operacja pominięta w bilansie w tabeli 9) otrzymano koncentrat zawierający 62% $ZrSiO_4$ i 23,6% TiO_2 . Flotacja cyrkonu z tak przygotowanej frakcji niemagnetycznej wykazała możliwość otrzymywania wysokojakościowych koncentratów cyrkonowych z badanego materiału.

Pokazany w tabeli 9 bilans rozdziału należy traktować jako wynik wstępnej próby tej operacji wymagającej optymalizacji. Niemniej te wyniki dostarczają dużo informacji o składzie i potencjalnych kierunkach wykorzystania koncentratów możliwych do wydzielenia z badanych piasków. Korzystną cechą koncentratów tytanowych możliwych do otrzymania jest wysoka zawartość TiO_2 (powyżej 50%) przy niskiej ilości żelaza. Korzystną cechą jest również bardzo wysoka zawartość cyrkonu we frakcji minerałów ciężkich, jak i w otrzymanych koncentratkach grawitacyjnych, a także dość niska ich radioaktywność (mierzone ją orientacyjnie radiometrem RKP-1,2 produkcji firmy "Polon", Bydgoszcz). Jak stwierdzono, badając średniomagnetyczny produkt, w którym skoncentrowały się metale ziem rzadkich, radioaktywność produktów związana jest z obecnością w nich monacytu, który jest tutaj głównym nośnikiem pierwiastków promieniotwórczych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Zbadano obecność minerałów ciężkich w dwóch próbkach będących produktami przeróbki piasków szklarskich z T.K.S.M. "Biała Góra" oraz określono możliwość wydzielania z tych produktów koncentratów minerałów ciężkich. Próbki te to: piasek szklarski kl.IV, 0,1-0,5 mm i produkt mulkowy 0,06 - 0,15 mm. Stwierdzono, że produkty te zawierają następujące ilości frakcji minerałów ciężkich:

- piasek szklarski klasy IV (0,1-0,5 mm) - 0,2%
- produkt mulkowy (0,06-0,3 mm) - 0,4% .

Zauważono, że minerały ciężkie gromadzą się głównie w drobnych klasach ziarnowych poniżej 0,16 mm.

2. W skład minerałów ciężkich wchodzi głównie cyrkon (około 30%) i minerały tytanu (rutyl, leukoksen, ilmenit)- około 55%. Potwierdzono to badaniami chemicznymi, mikroskopowymi oraz mikrosondą rentgenowską.

3. Wzbogacanie grawitacyjne jest procesem wysoce skutecznym. Stosując laboratoryjny stół koncentracyjny osiągnęto stopień wzbogacania rzędu 200-300 razy przy uzyskach minerałów ciężkich rzędu 70% i zawartości minerałów ciężkich w koncentratkach przekraczającej 60%. Zauważono, że wydzielenie minerałów ciężkich z badanych produktów pozwala podnieść jakość surowca szklarskiego co najmniej o jedną klasę.

4. Wstępne badania rozdziału magnetycznego koncentratu kolektywnego wskazują na możliwość otrzymania wysokiej jakości koncentratów tytanowych, zawierających 50-70% TiO_2 przy niskiej zawartości żelaza, produktu monacytowego, zawierającego metale ziem rzadkich oraz produktu cyrkonowo-rutylowego, który wymaga dalszego rozdziału metodą separacji elektrycznej lub flotacją na monomineralne koncentraty cyrkonu i rutylu. Otrzymany drogą flotacji koncentrat cyrkonowy zawierał ponad 95% minerału cyrkonu.

5. Przedstawione badania mają wstępny, rozpoznawczy charakter. Badania te należałoby kontynuować w szerszym zakresie, szczególnie dotyczącym materiału surowego ze złoża przed skierowaniem go do obecnie stosowanego procesu przeróbczego w zakładzie. Wydaje się celowe przygotowanie próby półtechnicznej oczyszczania piasków w zakładzie i dokonania oceny ekonomicznej proponowanego przedsięwzięcia.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Pani mgr Annie Kamińskiej ze Środowiskowego Laboratorium Mikroskopii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej i Panu mgr Jerzemu Cyganowi z Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej za wykonanie badań mineralogicznych. Pragniemy również podziękować Pani Grażynie Pietrzyk z Zakładu Przeróbki Kopalin i Odpadów Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej za pomoc w badaniach.

LITERATURA.

1. Hammer J., Znaczenie gospodarcze piasków kwarcowych Synkliny Tomaszowskiej na tle bazy surowcowej Polski. Materiały konf. Synklina Tomaszowska i jej znaczenie surowcowe, Biała Góra, listopad 1987. Wyd. S.I.T.i G. Kraków 1987, 9-13.
2. Poręba E., Budowa geologiczna Synkliny Tomaszowskiej i jej baza surowcowa. Ibid.1, 27-46.

3. Łuszczkiewicz A., Nawrocki J., Surowce okrucowe, charakterystyka, technologie pozyskiwania minerałów ciężkich. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 1990, Nr 23, 7-17.
4. Gruszczak H., *Nauka o złożach*. Wyd.Geol. Warszawa 1984., wyd.2.
5. Titanium; Zirconium and Hafnium; Rare Earths. w: *Metals and Minerals Annual Review 1990*. Wyd. Mining Journal, London 1990: 75-81.
6. Błaszczak M., *Katalog złóż piasków szklarskich i formierskich w Polsce*. Edytor S.Kozłowski, Wyd. Geol., Warszawa 1976.
7. Bąk S., Określenie możliwości wydzielenia minerałów ciężkich z piasków w T.K.S.M. Biała Góra. *Praca magisterska AGH*, Wydział Górniczy, Inst.Przeróbki i Wykorzyst. Surowców Mineralnych, Kraków 1979, Nr Kat.Bibl.1/79.
8. Kaczmarek B., Radkiewicz A., Łuszczkiewicz A., Opracowanie koncepcji technologicznej wydzielenia z piasków minerałów ciężkich. *Praca Nr 358014 Inst. Górnictwa Odkrywkowego Poltegor*, Wrocław, czerwiec 1991.
9. Ratajczak T., Wyniki badań piasków Synkliny Tomaszowskiej w aspekcie możliwości wykorzystania jej przez przemysł szklarski. *Ibid.*1, 47-58.
10. Łuszczkiewicz A., Odzysk minerałów ciężkich z piasków szklarskich kopalni "Osiecznica". *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 1987, Nr 19, 309-319.
11. Prachar I., Heavy minerals as a possible source of impurities in glass-making sand., *Sbornik Geol.Ved, Technol.Geochem.* 1989, 24, 143-152. (Chem.Abstract 103:63902)
12. Polska Norma Branżowa: BN-74/6811-01, 1968.
13. Łuszczkiewicz A., Flotacja cyrkonu z półproduktów wzbogacania piasków. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 1984, Nr 16, 60-70.

A.Łuszczkiewicz, B.Kaczmarek, 1992, Evaluation of possibility of heavy minerals separation from glass-making sand at Biala Gora, Poland, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 25, 123 - 132 (Polish text)

Sand which is mined and cleaned for the glass-making industry at the processing plant in Biala Gora contains heavy minerals, and therefore, is considered as a low quality product of the 4-th grade. This paper discusses methods of removal of the contaminating minerals in the form of a heavy-minerals concentrate, as well as the possibility of utilization of the concentrate. In addition, the total content of the heavy minerals and their composition were determined. It was found that the heavy minerals fraction of the sand consists mainly of zircon, rutile, leucoxene, and altered ilmenite. It was established that gravity concentration by tabling can improve the quality of glass-making sand, according to Polish standard, to 3-rd or even 2-nd grade.