

Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ*

MATERIAŁY CIĘŻKIE W ŻWIRACH I PIASKACH EKSPLOATOWANYCH NA DOLNYM ŚLĄSKU

Przeanalizowano obecność minerałów ciężkich w wielu surowcach okrucowych Dolnego Śląska. Stwierdzono, że w odpadach po mokrej przeróbce żwirów (kruszyw naturalnych) koncentrują się cenne minerały użyteczne jak cyrkon, rutyl, ilmenit i minerały ziem rzadkich. Odpady te są drobnoziarnistym piaskiem, który składa się głównie z ziarn kwarcu i łyszczyków a wymienione cenne minerały tworzą tzw. frakcję minerałów ciężkich.

Śród kilkunastu wziętych pod uwagę żwirowni i piaskowni z Dolnego Śląska wytypowano kilkanaście zakładów, z których odpady poddano próbom wzbogacania metodami grawitacyjnymi następnie magnetycznymi i elektrycznymi. Badania te wykazały doskonałą wzbogacalność materiału i możliwość otrzymywania wysokojakościowych koncentratów cyrkonu, monacytu, ilmenitu i rutylu.

Szacunkowe bilanse ilościowe oraz ocena możliwości i realności przeróbki według zaproponowanych koncepcji doprowadziły do wniosku, że wykorzystanie omawianych odpadów mogłoby w dużym stopniu zaspokoić potrzeby naszego kraju na ziemie rzadkie i przyczynić się do zmniejszenia importu koncentratów cyrkonu i minerałów tytanu, lub co najmniej złagodzić ich deficyt.

1. Wstęp

Kraj nasz sprowadza z zagranicy koncentraty ilmenitowe, cyrkonowe i rutowe oraz związki i metale ziem rzadkich pokrywając tym jedynie sposobem swoje potrzeby na te surowce. Metale, których nośnikami są minerały z wymienionych koncentratów uważane są w powszechnym mniemaniu jako rzadkie. W sensie jednak przeciętnego rozproszenia tych pierwiastków w skorupie ziemskiej uznać należałoby je jako dość pospolite. Minerały takie jak ilmenit, cyrkon, rutyl, monacyt będące najważniejszymi gospodarczo nośnikami cyrkonu, tytanu i metali ziem rzadkich mają swe źródło i genezę w skałach magmowych, w których należą

* Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27.

do grupy minerałów akcesorycznych zatem raczej rzadkich. Ze względu na wysoką odporność chemiczną i mechaniczną minerały te w procesach wietrzenia skał przechodzą do osadów mechanicznych (np. piasków) w postaci niemal nienaruszonej i zwykle doskonale uwolnione od mniej odpornych minerałów. Osady piaszczyste zaliczone do złóż okruchowych są powszechnie obecne w powierzchniowych warstwach skorupy ziemskiej. Są one głównym lub jedynym przemysłowym źródłem wymienionych koncentratów w świecie. Zawartości składników użytecznych takich jak Zr, Ti, TR w eksploatowanych w świecie ich złóżach okruchowych oscylują w pobliżu przeciętnego rozproszenia tych pierwiastków w skorupie ziemskiej. Ilustracją tego stwierdzenia będzie tabela 1, do sporządzenia, której wykorzystano dane Taylora (1964), dotyczące rozproszenia pierwiastków w skorupie ziemskiej (do 3.5 km) oraz dane Lynd'a i Lefond'a (1974) opisujące różne ważniejsze złoża minerałów ciężkich w świecie, głównie w Australii, USA, RPA, Indii, Brazylii i Sri Lance.

Tab.1. Porównanie przeciętnych zawartości Ti, Zr, TR w eksploatowanych w świecie złóżach z przeciętnym rozproszeniem w skorupie ziemskiej.

Pierwiastek	Minimalne i przeciętne zawartości w ekspl. złóżach	Przeciętne rozproszenie w skorupie ziemskiej
Tytan, Ti	0.4-0.8 %	0.57 %
Cyrkon, Zr	0.4-0.07 %	0.017 %
Ziemie rzadkie, TR	0.02-0.001 %	0.018 %

Dokonując analogicznego porównania dla np Cu, Zn, Pb, Sn zauważymy, że zawartości tych pierwiastków w eksploatowanych rudach są około 1000 razy większe niż ich przeciętne zawartości w skorupie ziemskiej.

Sytuacja przedstawiona w tabeli 1 wynika z dwóch faktów: po pierwsze z doskonałego przygotowania materiału do wzbogacania przez przyrodę i po drugie z wysokiej skuteczności metod i urządzeń do wzbogacania grawitacyjnego.

Na terenie naszego kraju rozsypiska piaszczyste i żwirowo piaszczyste są bardzo pospolite. Jak podaje Kozłowski (1986), udokumentowanych jest: 31 złóż piasków szklarskich, 71 złóż piasków formierskich, 136 złóż piasków budowlanych, 42 złoża piasków podsadzkowych - łącznie 3.7 mld m³ piasków; oraz 819 złóż kruszyw naturalnych, z których większość to mieszanki żwirowo piaszczyste - łącznie 8.3 mld Mg.

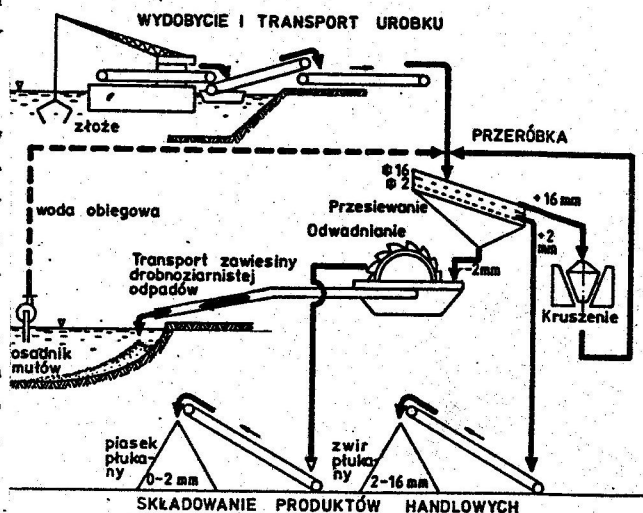
We wszystkich piaskach naturalnego pochodzenia na Ziemi są obecne minerały ciężkie (Baker, 1982) i na terenie Polski również. Ich ilości w

przeliczeniu na metale mieszczą się w zakresie przeciętnego rozproszenia w skorupie ziemskiej lub nieładko poniżej. Inną sprawą jest skład frakcji minerałów ciężkich i ich ilości w sensie zasobów - one to decydują o opłacalności ich pozyskiwania.

Dolny Śląsk w powyższych statystykach zajmuje szczególne miejsce. Jak zauważył Grodzicki (1990), liczne i cenne surowce okruchowe Dolnego Śląska mają lub ubiegłych epokach geologicznych miały swe macierzyste skały w krystalicznych masywach Sudetów. Najbardziej interesujące wystąpienia cennych minerałów związane są z intruzjami zasadowymi i ultrazasadowymi. Materiał okruchowy z miejsc powstania dostarczały na często dalekie przedpola Sudetów liczne rzeki, które w dużym stopniu pokrywają się ze współczesnymi dorzeciami Odry, Nysy Kłodzkiej, Bystrzycy, Bobru, Kaczawy, Kwisy, Czarnej Wody i Nysy Łużyckiej. Liczne ślady pozostawiła tu działalność lodowców, które przywlokły nieładko znaczne ilości materiału okruchowego aż ze Skandynawii.

Na Dolnym Śląsku eksploatuje się kilkadziesiąt złóż surowców okruchowych, wśród których przeważają mieszanki żwirowo-piaszczyste (pospółki) dla celów budowlanych. Złóża te są przeważnie eksploatowane metodą podwodną przy pomocy jednostek pływających. Przetransportowany do zakładu przerobczego urobek poddawany jest mokrej klasyfikacji. Schemat typowego zakładu pokazano na rys.1. W wyniku odmycia żwirów powstaje odpad będący zawiesziną mułową i drobnoziarnistych piasków, który kierowany jest do stawów osadowych i które są często tymi samymi zbiornikami wodnymi w których prowadzi się eksploatację złóża. Odpady te często gromadzone przez wiele lat tworzą złóża antropomorficzne piasków i obok innych naturalnych złóż piasków były przedmiotem zainteresowania autora jako źródło minerałów ciężkich takich jak: cyrkon, rutyl, monacyt, ksenotym i ilmenit.

Celem tej pracy jest ocena możliwości pozyskiwania minerałów

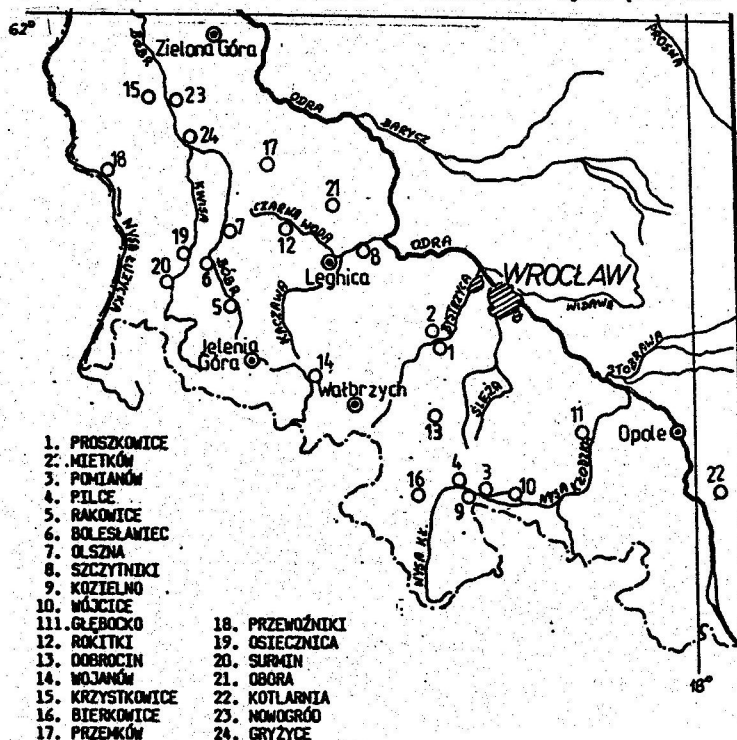


Rys.1. Schemat typowego zakładu eksploatacji i przeróbki żwirów

ciężkich z naturalnych i antropomorficznych złóż piasków na Dolnym Śląsku oraz dokonanie wstępnego bilansu ilościowego i jakościowego tych minerałów.

2. Materiały do badań i metodyka

Spośród kilkudziesięciu wspomnianych tu zakładów eksploatujących surowce okruskowe wybrano w pierwszym etapie prezentowanych tu badań 18 zakładów eksploatujących duże przeważnie złoża kruszyw naturalnych oraz 6 złóż piasków. Mapa na rys.2 pokazuje geograficzne rozmieszczenie wziętych pod uwagę złóż i zakładów. W zakładach tych pobrano 50-150 kg



Rys.2. Mapa Dolnego Śląska z zaznaczonymi miejscami pobrania prób piasków

próbki piasków ze stawów osadowych lub ze złóż. Dla możliwie jak najlepszej reprezentatywności próbki, pobierano w kilkudziesięciu punktach. Tych kilkadziesiąt punktów pobrania prób było rozmieszczonych na przestrzeni objętej łukiem o promieniu 20-30 m od końcówki rurociągu dostarczającego zawieszinę odpadu do stawu. Próbkę pobierano do głębokości około 30 cm. Po wysuszeniu próbki przesiano przez sito 0.5mm usuwając głównie różne zanieczyszczenia po czym, po uśrednieniu pobrano

małe próbki do oznaczeń składu ziarnowego i badań frakcji minerałów ciężkich oraz oznaczeń chemicznych i mineralogicznych. Zawartość minerałów ciężkich oznaczano przy pomocy czterobromoetanu, w którym rozdzielano odmulone i suche próbki piasków. Piaski, w których stwierdzono podwyższone zawartości minerałów ciężkich (powyżej 1%o) poddano wzbogacaniu na stole koncentracyjnym typu Wilfley, którego powierzchnia wynosiła $0.7m^2$. Szacunki ilości (lub zasobów) minerałów ciężkich w złóżach lub odpadach oparto o wielkości wydobywania, oznaczenia zawartości minerałów ciężkich dla odmulonych i po odrzuceniu ziarn $+0.5mm$ próbek piasku oraz uwzględniając średnie roczne składy ziarnowe otrzymane z Działów Kontroli Jakości wziętych pod uwagę zakładów. W zakładach eksploatacji kruszyw nie bilansuje się materiału odpadowego kierowanego do stawów osadowych i dokładne informacje o składach ziarnowych nadawy i ilości sprzedanych w ciągu roku produktów pozwoliły wyliczyć prawdopodobne ilości materiału $-0.5mm$ kierowanego do stawów. Dane te wraz z wynikami wzbogacania na stole koncentracyjnym pozwoliły na obliczenie zasobów minerałów ciężkich możliwych do pozyskania. Dla zakładów wydobywających piaski budowlane, formierskie, podsadzkowe i szklarskie ilości klasy $-0.5mm$ określono na podstawie składów pobranych prób.

3. Omówienie wyników

Określenie dokładnych ilości minerałów ciężkich w rozsypiskach jest bardzo trudne. Pobranie średnich próbek jest bardzo kosztowne a często niemożliwe. Ilustracją tego niech będzie tabela 2 pokazująca zmienność zawartości frakcji minerałów ciężkich w próbach pobieranych na plażach stawów tych samych zakładów na przestrzeni 5 lat. Przyczyny tej zmienności mogą być związane z naturalną zmiennością eksploatowanych złóż jak i z błędów pobierania prób tak niejednorodnego materiału. Z tego też powodu dane publikowane wcześniej i dotyczące tych samych zakładów (np. Łuszczkiewicz, 1988) mogą się w pewnym stopniu różnić od danych z tej pracy gdy tu skorzystano z danych późniejszych.

Do rozważań wzięto pod uwagę materiał o uziarnieniu $-0.5mm$ gdyż, jak stwierdzono, w klasach $+0.5mm$ praktycznie nie obserwuje się obecności minerałów ciężkich. Przekonuje o tym tabela 3, która przedstawia skład ziarnowy oraz rozkład minerałów ciężkich i cyrkonu w klasach. Do frakcji ciężkiej w klasie $+0.25mm$ trafiają jedynie łuszczyki i okruchy skał, czasem granaty. Jak widać z rozkładu cyrkonu, prawie w całości trafia on do klas ziarnowych poniżej $0.25mm$ i niewielkie jego ilości trafiają do klas najdrobniejszych.

Tab. 2. Wyniki oznaczeń zawartości frakcji minerałów ciężkich w czterech osadnikach na przestrzeni pięciu lat.

Zakład	1984	1985	1987	1988	1989
Proszkowice	6.62	5.10	5.61	3.52	5.25
Piłce	4.80	2.52	-	1.96	2.17
Rakowice	4.80	5.38	3.77	4.00	3.68
Rokitki	3.96	-	4.00	2.86	1.26

Tab. 3. Skład ziarnowy próbki piasku ze stawu osadowego w Proszkowicach z oznaczeniami frakcji minerałów ciężkich (f.m.c.) w klasach i cyrkonu we frakcjach minerałów ciężkich.

Klasa ziarnowa [mm]	Wychód γ, %	Zawartość f.m.c., %	Uzysk f.m.c., %	Cyrkon %	
				zawartość	uzysk
+0.5	14.2	0.04	0.22	0.00	0.00
-0.5 +0.25	23.9	1.25	11.70	0.50	1.01
-0.25 +0.16	22.9	2.66	23.86	2.32	9.52
-0.16 +0.125	10.7	4.36	18.28	1.98	6.23
-0.125+0.09	9.9	5.79	22.46	11.34	43.81
-0.09 +0.063	8.8	6.56	22.62	10.00	36.90
-0.063	9.6	0.23	0.86	3.55	0.53
Nadawa z bilansu	100.00	2.55	100.00	0.148	100.00

Chcąc prześledzić drogę minerałów ciężkich z nadawy ze złóż zakładzie przeróbki żwirów, przeanalizowano bilans tych minerałów w jednej ze żwirowni (zakład "Rakowice"). Bilans ten zestawiono w tabeli 4. Piasek płukany (0-2mm) i żwir są produktami sprzedażnymi zakładu a odpad jest kierowany do stawu osadowego (rys.1). Jak widać z tabeli 4 tylko około 40% minerałów ciężkich obecnych w nadawie do zakładu trafia do odpadów. Stopień wzbogacenia w minerały ciężkie w odpadzie w stosunku do nadawy wynosi w procesie płukania żwirów około 1000.

W tabeli 5 zestawiono dane dotyczące 24 wziętych pod uwagę zakładów eksploatujących surowce okrucowe. Osiemnaście pierwszych w tej tabeli to zakłady eksploatujące i przerabiające żwiry a sześć ostatnich to piaskownie:

1. Osiecznica: piaski szklarskie, dane dotyczą tylko ok.10% produkcji zakładu piasków oczyszczanych na stołach koncentracyjnych gdzie minerały ciężkie wydzielane są jako odpad, (Łuszczkiewicz, 1987).
2. Surmin: dane dotyczą wylęwu hydrocyklonów przy wzbogacaniu kaolinów

Tab. 4. Bilans minerałów ciężkich w procesie przeóbki żwirów w żwirowni "Rakowice".

Produkty	wychód γ, %	zawart. klasy -0.5mm %	zawart. f.m.c. % w -0.5	uzysk f.m.c w kl. -0.5	TiO ₂		ZrSiO ₄	
					λ, %	ε, %	λ, %	ε, %
Odpady	6.23	58.11	2.58	38.08	4.29	32.39	0.21	46.37
Piasek	24.77	35.10	1.63	57.77	5.50	63.02	0.15	50.26
Żwir	89.00	1.20	1.23	4.15	5.57	4.59	0.14	3.37
Nadawa z bil.	100.0		0.0024	100.0	5.03	100.0	0.17	100.

* zawartości λ oznaczano we f.m.c. natomiast uzyski obliczono jako rzeczywiste.

Tab. 5. Szacunek ilości minerałów ciężkich obecnych w produkcji wybranych zakładów, wg danych 1988 roku.

Nazwa Zakładu	Ilość/rok materiału -0.5 mm tys. Mg	Zawartość minerałów ciężkich % w mat. -0.5mm	Teoret. ilość frakcji ciężkiej Mg/rok	Prawdop. ilość konc. grawitac. Mg/rok *	Lata pracy
Proszkowice	8.0	5.3	407.0	285.0	20
Mietków	80.0	3.0	2400.0	1680.0	2
Pomianów	40.0	3.0	1200.0	840.0	20
Pilce	46.0	2.2	1000.0	700.0	10
Rakowice	92.0	3.7	3312.0	2318.0	20
Bolesławiec	44.0	1.0	440.0	308.0	10
Olśzna	140.0	0.5	700.0	490.0	10
Szczytniki	10.0	1.0	100.0	70.0	10
Kozielec	58.0	2.0	1160.0	812.0	15
Wójcice	60.0	4.0	2400.0	1680.0	10
Głębocko	100.0	1.9	1900.0	1330.0	10
Rokitki	5.0	1.3	65.0	45.5	12
Dobrocin	50.0	0.2	100.0	70.0	-
Wojanów	7.0	1.7	119.0	83.3	-
Krzyszkowice	17.0	0.7	120.0	84.0	-
Bierkowice	5.0	0.5	25.0	17.5	-
Przemków	28.0	1.6	448.0	313.6	-
Przewoźniki	18.0	0.3	54.0	37.8	-
Osiecznica	30.0	0.1	30.0	21.0	15
Surmin	10.0	0.2	20.0	14.0	15
Obora	600.0	0.9	540.0	378.0	-
Kotlarnia	387.0	0.7	2709.0	1896.3	-
Nowogród	32.0	0.6	192.0	134.4	-
Gryżycze	57.0	1.3	741.0	518.7	-
Razem			25750.0	17934.0	

* Przy założonym uzysku minerałów ciężkich = 70%

3. Obora i Kotłarnia - zakłady produkujące piaski podsadzkowe. Materiał z Kotłarni zawiera około 80-70% ziarn -0.5mm i około 2-10% zwirow. Piaski z zakładu "Obora" zawierają 70-85% klasy ziarnowej -0.5mm .
4. Nowogród (Cisów) - zakład produkujący piaski formierskie; zawierają 80-90% klasy -0.5mm .
5. Gryżyce - zakład produkujący piaski budowlane; zawierają około 50% ziarn -0.5mm .

W ostatniej kolumnie tabeli 5 zaznaczono lata pracy niektórych zakładów co pozwala na oszacowanie ilości minerałów ciężkich zdeponowanych w stawach osadowych przy założeniu, że podane tu dane za rok 1988 można przenieść na lata poprzednie. Według rozeznania autora można dokonać takiej ekstrapolacji.

Z podsumowania tabeli 5 wynika ilość 25000 Mg minerałów ciężkich w materiale przerabianym w rozważanych zakładach. Przy założeniu uzysku 70% przy ewentualnym wzbogacaniu grawitacyjnym otrzymamy około 18000 Mg minerałów ciężkich.

Na podstawie danych tabeli 5 oraz oznaczeń chemicznych i mineralogicznych frakcji minerałów ciężkich w tabeli 6 oszacowano ilości czterech głównych minerałów użytecznych w przeliczeniu na jeden rok produkcji. Analizami chemicznymi oznaczono zawartości TiO_2 , Zr, TR_2O_3 , Fe i Th. Korelując wyniki tych oznaczeń z oznaczeniami mikroskopowymi i zakładając, że cały Zr znajduje się w mineralu cyrkonie (ZrSiO_4) i całe TR_2O_3 w monacycie (co potwierdzają oznaczenia Th) a Ti w ilmenicie i rutylu, wyliczono w tabeli 6 zawartości minerałów we frakcjach minerałów ciężkich. Biorąc pod uwagę ilości roczne koncentratów (podane w tabeli 5) wyliczono, że rozważane piaski niosą rocznie około 4500 Mg ilmenitu, 700 Mg cyrkonu, 180 Mg monacytu i 400 Mg rutylu. Ilości te w przypadku cyrkonu stanowią około 15% potrzeb naszego kraju a w przypadku monacytu 100%. Należy tu podkreślić że dane w tabelach 5 i 6 wyliczono z dużą ostrożnością i z raczej z tendencją do zaokrąglania w dół. Ponieważ prezentowanymi tu badaniami objęto ponad 40 innych zakładów eksploatujących surowce okruchowe na Dolnym Śląsku można się spodziewać zwiększenia podanych w tabelach 5 i 6 "zasobów" minerałów.

Jeśli podane w tabeli 6 wartości pomnożymy przez lata pracy zakładów (posiadających stawy osadowe) to otrzymamy zasoby minerałów ciężkich nagromadzone w osadnikach. Wynoszą one około:

40-50 tys. Mg	ilmenitu
10-15 tys. Mg	cyrkonu
3.5-5 tys. Mg	monacytu
2-3.5 tys. Mg	rutylu.

W tym miejscu nasuwa się pytanie czy takie "zasoby" rozproszone w 24 zakładach mogą być interesujące dla gospodarki naszego kraju? Odpowiedzi

Tab. 6. Szacunki ilości minerałów użytecznych w koncentratkach kolektywnych, wg danych tab. 5, oznaczeń chemicznych i mineralogicznych frakcji minerałów ciężkich.

Nazwa Zakładu	Ilmenit		Cyrkon		Monacyt		Rutyl	
	%	Mg	%	Mg	%	Mg	%	Mg
Proszkowie	22.0	63.0	5.0	14.2	4.0	11.4	1.0	2.8
Mietków	22.0	370.0	6.0	100.8	3.0	50.4	2.0	33.6
Pomianów	18.0	151.0	5.5	45.2	0.5	4.2	1.0	8.4
Pilce	10.0	70.0	1.7	11.9	0.4	2.8	2.7	18.9
Rakowice	18.0	417.0	4.5	104.3	0.3	6.9	0.6	13.9
Bolesławiec	20.0	81.0	2.5	7.7	0.6	1.8	1.0	3.1
Olszna	22.0	108.0	2.0	9.8	0.0	0.0	1.0	4.9
Szczytniki	40.0	28.0	8.5	5.9	2.0	1.4	2.0	1.4
Kozielno	16.0	112.0	0.5	3.5	0.4	2.8	0.5	3.5
Wójcice	20.0	448.0	2.5	56.0	0.5	11.2	2.0	44.8
Głębocko	15.0	200.0	1.5	20.0	4.0	53.2	1.0	13.3
Rokitki	18.0	5.0	10.0	2.6	0.2	0.1	7.5	2.0
Dobrocin	20.0	12.0	2.0	1.2	0.5	0.7	0.5	0.7
Wojanów	3.0	2.0	1.3	1.1	0.1	0.1	0.6	0.5
Krzystkowice	-	-	2.4	2.0	0.1	0.1	-	-
Bierkowice	6.0	1.0	12.0	2.0	0.6	0.1	7.0	1.2
Przenków	-	-	10.0	32.2	0.2	0.6	-	-
Przewoźniki	-	-	-	-	-	-	-	-
Osiecznica	5.0	1.0	34.0	10.2	2.5	0.8	34.0	10.2
Surmin	15.0	2.0	7.0	1.0	1.5	0.2	3.0	0.4
Obora	45.0	1701.0	2.0	75.6	0.1	3.8	3.0	113.4
Kotłarnia	35.0	664.0	8.0	151.7	0.2	3.8	6.0	113.8
Nowogród	25.0	29.0	5.0	5.7	1.5	1.7	1.0	1.2
Gryżyce	14.0	74.0	0.6	3.2	0.2	1.1	0.4	2.1
Razem		4519.0		700.5		159.2		393.7

pozytywnej udzieliła wykonana ekspertyza ekonomiczna (Zmudziński i inni, 1988) a także prosty rachunek. Wymienione surowce kraj nasz w całości zakupuje za granicą, a wartość zestawionych w tabeli 6 produktów według cen z końca 1989 roku wynosi około 1 mln. \$ USA na 1 rok (zatem ok. 10 mld. zł). Technologia pozyskiwania tych minerałów byłaby dość prosta gdyż mogłaby stanowić przedłużenie stosowanej (jak na rys 1) technologii przeróbki żwirów. Przedłużenie to polegałoby na zainstalowaniu w każdym z wymienionych zakładów przerobczych, prostych urządzeń do wzbogacania grawitacyjnego odpadów. Otrzymane koncentraty kolektywne zwożono by do

Przyporządkowane poszczególnym węzłom tego schematu odpowiednie urządzenia dla całego przedsięwzięcia kosztowałyby prawdopodobnie nie więcej niż 3 mln. \$. USA, zatem cała instalacja zamortyzowałaby się w ciągu około 3 lat.

Na schemacie na rys.3 wydzielono "etap I" przeróbki dokonywany w poszczególnych zakładach.

Dla potwierdzenia przewidywanych (i założonych) w tabelach 5 i 6 wyników wzbogacania materiałów z kilkunastu z wymienionych tam zakładów wzbogacono na laboratoryjnym stole koncentracyjnym. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 7.

Tab.7. Koncentraty wydzielone na stole koncentracyjnym z prób z wybranych osadników odpadów

Nazwa Zakł.	Wychód konc. grawit	f.m.c		TiO ₂		ZrSiO ₄		TR ₂ O ₃	
		β %	ε %	β %	ε %	β %	ε %	β %	ε %
Proszkowice	2.1	88.7	57.1	11.9	83.8	5.7	97.5	1.9	98.5
Mietków	2.9	88.4	79.3	10.6	91.0	5.8	96.0	1.8	93.2
Pomianów	1.8	93.0	55.8	12.0	55.1	5.7	59.3	0.6	91.9
Pilce	1.3	87.1	60.3	8.7	82.2	6.0	95.9	0.1	95.0
Rakowice	4.4	97.0	66.5	13.9	83.7	4.6	98.3	0.2	90.9
Bolesławiec	2.8	89.5	74.6	12.8	80.5	2.8	93.7	0.4	91.3
Olszna	0.6	90.0	52.1	15.3	60.0	2.4	72.0	0.3	75.0
Rokitki	1.9	81.0	82.0	27.3	81.1	21.6	91.4	1.3	95.8
Kozielec	1.1	96.3	47.5	11.9	39.4	0.4	42.3	0.3	51.0
Głębocko	1.9	85.4	82.6	17.1	78.8	2.0	98.3	1.9	92.6
Osiecznica	2.2	97.5	89.0	45.9	87.5	33.0	93.0	1.0	89.0
Szczytniki	0.7	80.1	62.3	20.3	70.2	8.6	83.4	1.2	92.1

Z tabeli tej widać, że o ile wyniki ze względu na frakcje minerałów ciężkich sięgają uzysków rzędu 60-80% to w cyrkonie i monacycie uzyski przekraczają 90%. Zatem wyniki te są na ogół korzystniejsze niż założone w tabelach 5 i 6. Te korzystne wyniki potwierdzone zostały także na urządzeniach przemysłowych (Łuszczkiewicz, Mazanek, 1990)

4. Podsumowanie i wnioski

- Droбноziarniste odpady powstające przy płukaniu żwirów w dużej części zakładów na Dolnym Śląsku są wzbogacone w minerały ciężkie; piaski szklarskie, formierskie i podsadzkowe również są nośnikami tych minerałów. Minerały te to: cyrkon, rutyl, ilmenit i monacyt.

- Zbadano materiał z 24 zakładów wydobywających piaski i żwiry na Dolnym Śląsku i stwierdzono w ich ręcznej produkcji obecność

teoretycznie około 25 tys. Mg minerałów ciężkich z czego, jak oszacowano, praktycznie można odzyskać około 4500 Mg ilmenitu, 700 Mg cyrkonu, 150 Mg monacytu i 400 Mg rutyli. Dane te potwierdzono próbami wzbogacania materiału pobranego w połowie z wymienionych zakładów.

- Badane próbki piasków okazały się materiałem łatwo wzbogacalnym przy pomocy znanych metod grawitacyjnych. Operację wzbogacania grawitacyjnego można wprowadzić w strukturę istniejących zakładów nie zakłócając ich dotychczasowej produkcji (żwirownie) lub zmieniając obecną technologię w przypadku piaskowni.

- Stwierdzono, że w warunkach żwirowni tylko około 40% minerałów ciężkich obecnych w materiale ziłozowym trafia do odpadów po płukaniu żwirów a stopień wzbogacania minerałów ciężkich w procesie płukania żwirów wynosi około 1000.

- Zaproponowano technologię pozyskiwania minerałów ciężkich polegającą na zainstalowaniu w poszczególnych rozważanych zakładach urządzeń do wzbogacania grawitacyjnego odpadów. Otrzymane koncentraty wstępne kierowanoby do jednego centralnego zakładu rozdzielającego.

- Zbadano zawartość minerałów ciężkich w mniej więcej jednej trzeciej zakładów eksploatujących surowce okrucowe na Dolnym Śląsku. Należy się spodziewać, że wyniki badań pozostałych poszerzą opisywaną tu nową bazę surowcową naszego kraju.

5. Literatura

Baker G. (1962), Detrital heavy minerals in natural accumulates., Austral. Inst. Min. Metall., Melbourne.

Grodzicki A. (1990), Geneza i kierunki poszukiwań niektórych perspektywicznych wystąpień minerałów ciężkich na Dolnym Śląsku., Fizykochem. Probl. Mineralurgii, Nr. 23.

Kozłowski S. (1986), Surowce skalne Polski., Wyd. Geol. Warszawa.

Lynd E. L., Lefond S. J. (1975), Titanium minerals., in: Industrial Minerals and Rocks, 4th ed., Stanley J. Lefond Editor., 1149-1208.

Łuszczkiewicz A. (1987), Odzysk minerałów ciężkich z piasków szklarskich Kopalni "Osiecznica", Fizykochem. Probl. Mineralurgii, Nr 19, 309-319.

Łuszczkiewicz A. (1988), Odpady z płukania żwirów jako znaczące źródło minerałów ciężkich., Nat. Symp.: Optymalizacja Wykorzyst. Sur. Miner. w Proc. Przeróbki i Przetw., PAN-AGH, Kraków, 154-163.

Łuszczkiewicz A., Mazanek C. (1990), Pozyskiwanie koncentratów minerałów ciężkich z aluwów przedsudeckich na przykładzie złóża "Proszkowice", Fizykochem. Probl. Mineralurgii, Nr 23.

Taylor S. R. (1964), Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table., Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 28, No 6, 1273-1285.

ABSTRACT

Łuszczkiewicz A. (1990), Heavy minerals occurrences in sand and gravel mined in Lower Silesia, Poland., Physicochemical Problems of Mineral Processing, 23, 27-39 (polish text)

The feasibility of recovering of heavy minerals as by-products from sand and gravel operations in Lower Silesia was investigated. Sand samples from 24 locations (settling ponds with gravel wash fine sands tailings, and glass-making, moulding and filling sands) were analysed in heavy liquids. The recoverable reserves of zircon, ilmenite, monazite and rutile were determined. The results of gravity separation tests for selected deposits indicated that Lower Silesia placers may become significant source of commercial ilmenite, monazite, zircon and rutile concentrates.