

Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ*

Jerzy NAWROCKI**

SUROWCE OKRUCHOWE, CHARAKTERYSTYKA, TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA MINERAŁÓW CIĘŻKICH

Omówiono miejsce i właściwości górnictwa surowców okruchowych piasków i żwirów będących źródłem cennych pierwiastków rzadkich. Nośnikami tych pierwiastków są minerały ciężkie. Przedstawiono w ogólnych zarysach technologii pozyskiwania minerałów ciężkich a także metody otrzymywania koncentratów monomineralnych. Podsumowano stan wiedzy o zasobach minerałów ciężkich na terenie naszego kraju.

1. Wstęp

W cieniu zdominowanego przez węgiel i metale nieżelazne przemysłu górniczego w naszym kraju, wydobywane są liczne surowce okruchowe, określane też jako kopaliny luźne lub rozsypiska. Bez tych surowców nie mógłby istnieć przemysł budowlany, szklarski czy odlewniczy. Mimo tak ważnej gospodarczo roli górnictwa surowców okruchowych rzadko słyszy się o jego problemach. W świecie ten dział górnictwa traktowany jest jako oddzielna dziedzina przemysłu wydobywczego posługująca się specyficznymi metodami eksploatacji i przeróbki. Dziedzina ta wyróżniana jest specjalną nazwą; Alluvial Mining czy Placer Mining (Macdonald, 1983). W naszej literaturze technicznej dotyczącej górnictwa brak jest tego typu jednoznacznie zdefiniowanej terminologii. W ostatnim 5-cio tomowym wydaniu "Poradnika Górnika" (wyd. Śląsk 1972-1978) takie pojęcia jak surowce okruchowe, górnictwo surowców okruchowych, złoża rozsypiskowe (rozsypowe) w ogóle nie istnieją. W literaturze geologicznej natomiast pojęcia te są powszechnie używane (Gruszczuk, 1984; Łydko, 1985;

*Instytut Górnictwa, Politechnika Wrocławska, 50-370 Wrocław

**Politechnika Śląska. Treść i ramy tego artykułu pomyślanego jako nasza wspólna praca zostały nakreślone w dyskusji z Profesorem Jerzym Nawrockim na kilka dni przed jego niespodziewaną śmiercią. Ostateczna wersja artykułu nie mogła być już niestety zaakceptowana przez Profesora

Koziowski, 1986)

Obok powszechnych i dominujących wielkością wydobycia dominujących piasków i żwirów budowlanych, piasków szklarskich, formierskich itp. złoża okruchowe w świecie dostarczają ok. 20-30% złota i platyny, połowę produkcji diamentów i rud tytanu (koncentratów) a także całość cyrkonu; około 40% ziem rzadkich, 30% wolframu i 80% kasyterytu (Gruszczak 1984, Min. Ann. Rev. 1989). Eksploatacja i przeróbka tytanowo-cyrkonowych piasków plażowych w Australii, Indiach, Brazylii czy RPA stanowi poważną część przemysłu wydobywczego wymienionych krajów. Wymienione minerały należą do tzw. minerałów ciężkich i o nich traktuje niniejszy artykuł. Jego celem jest przybliżenie czytelnikowi specyfiki przemysłu surowców okruchowych szczególnie surowców zawierających cenne i rzadkie minerały ciężkie. Celem tego artykułu jest także zwrócenie uwagi na możliwość i celowość pozyskiwania minerałów ciężkich z licznych na terenie naszego kraju różnych złóż rozsypiskowych.

Termin "minerały ciężkie" najczęściej dotyczy minerałów silnie odpornych na czynniki chemiczne i mechaniczne oddziałujące na skały w procesach wietrzenia i tworzenia złóż wtórnych - osadów mechanicznych. Baker (1962) definiuje minerały ciężkie jako te, które mają ciężar właściwy większy niż lekkie minerały: kwarc i skałki oraz nade wszystko dużą trwałość chemiczną i odporność na ścieranie. Minerały ciężkie są przeważnie tlenkami i krzemianami a czasami obecne są wśród nich niektóre metale rodzime, tytany czy niobiany i nierzadko fosforany. Minerały te w pierwotnych skałach magmowych należą do składników akcesorycznych i są to przede wszystkim: ilmenit, rutyl, cyrkon, monacyt, magnetyt, tytanomagnetyt, hematyt i mniej użyteczne: granaty (almandyn, pirop, spessartyn) dysten, epidot, hornblenda, turmalin. Minerały ciężkie definiowane są też jako trwałe minerały rozsypisk, które mogą być łatwo wyseparowane w cieczy ciężkiej jako tonąca frakcja minerałów ciężkich. Jako cieczy ciężkich używa się zwykle bromoformu (CHBr_3) i czterobromoetanu ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$), których gęstości wynoszą odpowiednio 2.88 i $2.96 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Skład frakcji minerałów ciężkich zależy od genezy rozsypiska czyli składu skał macierzystych, drogi transportu itd.

2. Klasyfikacja złóż rozsypiskowych

Przebieg procesów wietrzenia skał magmowych, charakter czynników niszczących i przemieszczających okruchy skał, a zatem szeroko rozumiana geneza złóż okruchowych stała się podstawą najczęściej stosowanego ich podziału. Gruszczak (1984) i Sołomin (1981) np. proponują podział na 5

grup:

1. złoże eluwialno - deluwialne (wietrzeniowo-mechaniczne, osady in situ lub w bezpośredniej bliskości skał macierzystych)
2. aluwialne osady rzeczne
3. przybrzeżne (osady morskie i jeziorne, deltowe, mierzejowe)
4. polodowcowe (morenowe i fluwioglacjalne)
5. eoliczne (wydmowe i pustynne)

Złoże eluwialno-deluwialne, polodowcowe i eoliczne bardzo rzadko mają znaczenie gospodarcze jako źródła minerałów ciężkich, natomiast często mają takie znaczenie jako źródła żwirów i piasków np. budowlanych. Przemysłowe znaczenie mają tylko takie rozsypiska, które posiadają dostatecznie duże zasoby jednego lub kilku minerałów użytecznych.

W warunkach np. australijskich złoże piasków tytanowo cyrkonowych ma znaczenie gospodarcze jeśli zawiera co najmniej 100 tys. Mg minerałów ciężkich (Lynd, Lefond, 1975). Warunek ten spełniają praktycznie tylko złoże typu aluwialnego i przybrzeżnego.

Złoże aluwialne powstają w wyniku działalności rzek i strumieni przenoszących materiał z rozsypisk eluwialno deluwialnych na różne odległości. W wyniku transportu następuje dokładne uwolnienie minerałów oraz wyselekcjonowanie ziarn według wielkości i gęstości. Prowadzi to do podwyższenia zawartości minerałów o wyższych gęstościach w miejscu zdeponowania materiału. Złoże te mają duże znaczenie przemysłowe zarówno jako źródła żwirów i piasków jak i minerałów ciężkich: złota, platyny, kasyterytu, chromitu, scheelitu, wolframitu, cyrkonu, ilmenitu, i hematytu.

Złoże przybrzeżne mórz i oceanów powstają w wyniku dostarczenia materiału przez rzeki (deltę, ławice) a także przez działanie morza na skały przybrzeżne (fale, pływy). Najczęściej są one nazywane plażowymi (beach sands) i dzieli się je na 2 typy: on-shore - (ładowe związane z aktualną linią brzegową) oraz off-shore - podwodne. Złoże te są najważniejszymi przemysłowo rozsypiskami. Stąd pochodzi niemal cała światowa produkcja cyrkonu i rutyli i duża część ilmenitu i monacytu. Złoże te są eksploatowane na dużą skalę w Australii, USA Indiach, RPA, Indonezji i ZSRR i wielu innych miejscach w świecie.

Powstawanie złóż rozsypiskowych można traktować jako gigantyczny, powolny i precyzyjny proces przeróbczy jaki przeprowadza natura na skałach magmowych. Wynikiem tego procesu jest doskonałe uwolnienie minerałów połączone zwykle z dokładną klasyfikacją (szczególnie w piaskach morskich) i wzbogacanie materiału w najbardziej odporne minerały. Rola człowieka eksploatującego i wzbogacającego surowce okruchowe polega na zakończeniu procesu rozpoczętego i w znacznej mierze wykonanego przez przyrodę. Stosowane technologie przeróbki tych kopalin

obejmują wzbogacenie (często tylko doczyszczanie grawitacyjne) do zawartości około 90-95% frakcji minerałów ciężkich następnie rozdział na koncentraty monomineralne. Czasami natura posuwa się jeszcze dalej i dokonuje sama niemal pełnego wzbogacania grawitacyjnego w minerały ciężkie jak to ma miejsce na plażach Stanu Kerali (Indie), w rejonie Manavalakurichi. Regularnie w porze monsunów pod wpływem działania morza dochodzi tam do wzbogacenia piasków na plażach do zawartości 75-95% frakcji minerałów ciężkich (Lynd, Lefond, 1975). W okresie międzymonsunowym piaski są eksploatowane i najczęściej bez wzbogacania grawitacyjnego są rozdzielane w kilku zakładach na koncentraty ilmenitu, rutilu cyrkonu i monacytu. Przypadek ten dotyczy zjawiska unikalnego. Najczęściej występujące w świecie złoża minerałów ciężkich o zasobach przemysłowych zawierają przeciętnie 1-4% frakcji minerałów ciężkich. Jedno z największych złóż w Australii-Eneabba eksploatowane na wielką skalę zawiera przeciętnie 0,4% minerałów ciężkich (Phillips, Basset, 1979).

Wydzielanie koncentratów grawitacyjnych i ich rozdział na frakcje monomineralne w przypadku złóż rozsypiskowych są na tyle względnie łatwe, że kryteria opłacalności pozyskiwania z nich minerałów są znacznie łagodniejsze niż tych samych minerałów ze złóż pierwotnych endogeniczny (lub tzw. masywnych). W tabeli 1 porównano minimalne przemysłowe zawartości niektórych metali, które są wydobywane zarówno ze złóż wtórnych-rozsypiskowych jak i pierwotnych (Łuszczkiewicz, 1984). Te korzystne dla rud rozsypiskowych wartości wynikają z doskonałego przygotowania materiału do wzbogacania przez przyrodę a także dzięki dużej skuteczności metody wzbogacania grawitacyjnego i wysokiej sprawności stosowanych współcześnie urządzeń. W ostatniej kolumnie tabeli 1 podano średnie zawartości wymienionych pierwiastków w skorupie ziemskiej według Taylora (1964). Z porównania ostatnich dwóch kolumn tej tabeli widać, że przy eksploatacji rozsypisk zawartości przemysłowe znajdują się w przypadku tytanu, ziem rzadkich (a także nie wymienionego tu cyrkonu) w granicach przeciętnego rozproszenia pierwiastków w skorupie ziemskiej a nawet poniżej.

3. Technologie przeróbki

Eksploatacja rozsypisk prowadzona jest metodami odkrywkowymi lub podwodnie i najczęściej jest bezpośrednio związana z wstępnym wzbogacaniem grawitacyjnym. Wzbogacanie to wykonywane jest w rejonie eksploatacji np. na pokładzie pływających jednostek eksploatujących (dragii) z pozostawieniem w rejonach poeksploatacyjnych większej części masy wydobywanego materiału - odpadu po wzbogacaniu grawitacyjnym.

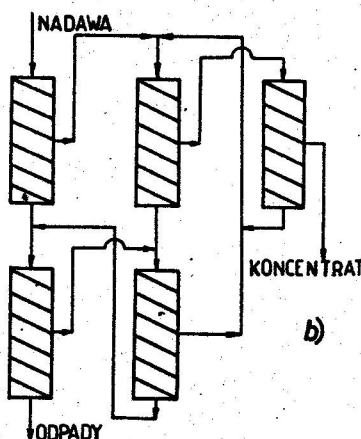
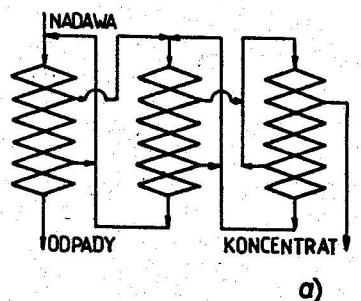
Tab.1. Orientacyjne minimalne, przemysłowe zawartości wybranych metali w kopalinach różnego pochodzenia

Metal	Złoża pierwotne (endogeniczne)	Złoża rozsypiskowe	Przeciętne rozproszenie w skorupie ziemskiej*
złoto	2-3 g/t	0.02 - 0.03 g/t	0.004 g/t
platyna	1-1.5 g/t	0.015 - 0.02 g/t	<0.004 g/t
cyna w (kasyterycie)	0.2-0.3%	0.004 - 0.006	0.0001 %
tytan w (ilmenicie)	5.0-8.0%	0.4 - 0.8%	0.57 %
ziemie rzadkie	3.0-4.0%	0.001 (produkt uboczny)	0.018 %

*Według danych Taylora (1964)

Piaski lądowe (aluwialne) i morskie (przybrzeżne) różnią się często między sobą składem mineralogiczno-petrograficznym stąd technologie ich przeróbki też muszą się różnić. Piaski lądowe zwykle wymagają we wstępnych etapach przeróbki odmycia iłów i odsiania żwirów, zatem wymagają rozwiniętych schematów klasyfikacji ziarnowej. Piaski morskie natomiast są na ogół doskonale wysortowane i odmyte przez działanie morza.

Minerały użyteczne (rutyl, cyrkon, ilmenit i monacyt) w większości przypadków występują w klasach ziarnowych 0,06-0,25mm (piaski morskie, (Baker, 1962) przy czym cyrkon i monacyt, szczególnie w aluwiach, występuje często w postaci ziarn 0,04-0,071mm. Generalnie w typowych złożach rozsypiskowych przeważa klasa ziarnowa 0,1-0,5mm i stanowi ona zwykle 80-95% materiału (bez uwzględnienia obecności żwirów +2mm w osadach żwirowo-piaszczystych). Wzbogacanie grawitacyjne jest niezależnie od pochodzenia złoża zawsze takie samo i



Rys.1. Typowe rozwiązania wstępnego wzbogacania grawitacyjnego piasków w Australii
a) stożki Reicherta (Associated Minerals)
b) spirale Reicherta (Cable Sands), Burt (1984)

składa się z operacji głównej i 2-3 czyszczeń; dokonywane jest przy użyciu separatorów strumieniowo-zwojowych (spirale Humphreya lub Reicherta) lub na bardziej wydajnych stożkach Reicherta, (Rys 1) (Burt, 1984)

Rozdział kolektywnych koncentratów grawitacyjnych oparty jest na kombinacji metod magnetycznych, elektrycznych i grawitacyjnych. Schemat takich operacji zależy od tego czy w koncentracie przeważają minerały magnetyczne (ilmenit) czy niemagnetyczne (rutyl, cyrkon, monacyt) (Wills, 1985). Monacyt a szczególnie ksenotym (podstawowe minerały ziem rzadkich) występują w koncentratkach grawitacyjnych w niewielkich (0,5-1,0 %) lub śladowych ilościach i nie decydują o technologii - są typowym produktem ubocznym i pomimo tego, około 35% światowej produkcji ziem rzadkich pochodzi z tego właśnie źródła (Hedrick, Templeton 1988).

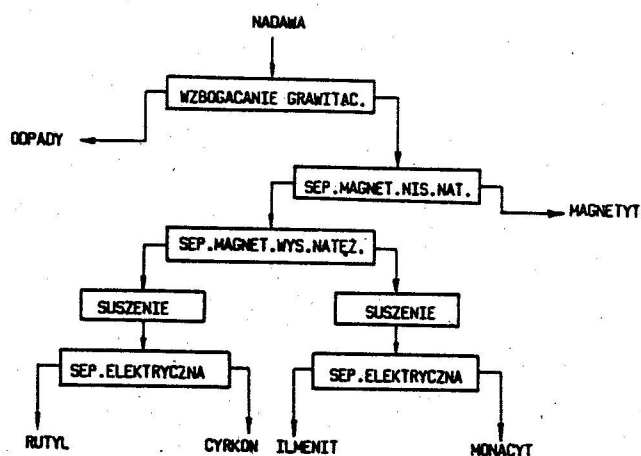
Technologie rozdziału kolektywnych koncentratów grawitacyjnych oparte są na własnościach fizycznych minerałów (tabela 2, Łuszczkiewicz, 1990). Technologie te można podzielić na dwa rodzaje pokazane na uproszczonych schematach na rys 2 i 3.

Tab.2. Główne własności fizyczne wybranych minerałów ciężkich (dane literaturowe, zebrane w pracy Łuszczkiewicza, 1990).

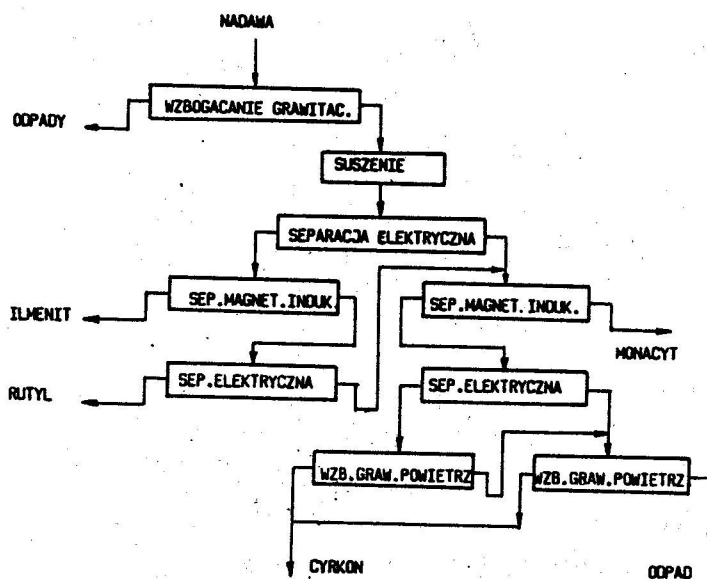
Minerał	Gęstość 10^3 kg/m^3	Względna podatność magnetyczna 10^{-6} cm/g	Przewodnictwo $\frac{1}{\Omega \text{ cm}^{-1}}$	Przenikalność dielektryczna Farad/m
cyrkon	4,3-4,6	-1,0-4,0	10^{-15} - 10^{-18} N	3,6-12,0
rutyl	4,2-4,4	-1,0-10,0	10^4 - 10^0 P	89,0- 73,0
ilmenit	4,6-5,0	85,0-450,0	10^4 - 10^2 P	33,7-81,0
monacyt	4,9-5,5	8,2-23,0	10^{-11} - 10^{-14} N	3,0-12,0
ksenotym	4,5-5,1	25,4-38,7	b. d. b. d.	b. d.
granaty (almandyn)	3,8-4,0	73,0-85,0	10^{-11} - 10^{-14} N	3,5-4,0
magnetyt i tytanomagnetyt	4,8-5,1	0,03-0,1	$>10^{-6}$ P	4,4
kwarce	2,65	-0,2-8,0	10^{-13} - 10^{-16} N	4,5-8,0

N - nieprzewodnik

P - przewodnik



Rys. 2. Schemat rozdziału koncentratów grawitacyjnych z przewagą minerałów magnetycznych



Rys. 3. Schemat rozdziału koncentratów grawitacyjnych z przewagą składników niemagnetycznych

Różnica polega na tym, że w przypadku przewagi w koncentracie grawitacyjnym minerałów niemagnetycznych (cyrkon, rutył) pierwszą główną operacją jest separacja elektryczna; w przypadku natomiast przewagi w koncentratkach grawitacyjnych minerałów magnetycznych (ilmenit) pierwszą i główną operacją rozdziału jest separacja magnetyczna.

Ostatnio zaczęto rozważać zastosowanie do wydzielania i rozdzielania minerałów ciężkich flotacji choć proces ten jest od dawna znany i opisany np w pracach Polkina (1967). Wiąże się to z odkryciem w Australii wielkiego złoża Wimera w rejonie Horsham, Victoria (zasoby szacowane na ponad 1000 tys. Mg minerałów ciężkich) i przygotowaniem go do eksploatacji (O'Driscoll, 1988). Minerały ciężkie tam obecne posiadają uziarnienie przeciętnie około 0.05 mm (McIntyre, 1989) i jedynym skutecznym sposobem wzbogacania będzie tu prawdopodobnie flotacja.

4. Rozsypiska minerałów ciężkich na terenie Polski

Występowanie minerałów ciężkich w Polsce w różnych złożach okruchowych jest słabo rozpoznane. Najwięcej informacji można znaleźć w pracach dotyczących aluwów sudeckich oraz rejonu wybrzeża Bałtyku i przede wszystkim jego zachodniej części.

Większość prac traktujących o minerałach ciężkich stwierdza fakt ich obecności i podaje ich skład jakościowy. Na tej podstawie rejon dolnośląski traktowany jest jako obszar perspektywiczny jako źródło niektórych pierwiastków rzadkich (Grodzicki 1977, 1985 i 1990). Potwierdza to Jeliński (1971) zwracając między innymi uwagę na potencjalne możliwości ubocznego odzysku minerałów ciężkich z piasków wydobywanych na terenie Polski do różnych celów. Zwrócił on także uwagę na duże nadzieje w tym względzie związane z piaskami wybrzeża Bałtyku. Przesłanek do tego dostarczały wyniki badań plaż (Łoziński, Masicka, 1962; Maczka Racinowski, 1969). Nadzieje te potwierdziły dopiero prace Wajdy (1984), Kotlińskiego i Masłowskiej (1984), w których stwierdzono znaczące gospodarczo zasoby minerałów ciężkich w piaskach morskich (podwodnych) w rejonie pływów: Ławicy Odrzańskiej i Słupskiej. Zasoby te oszacowano na ok. 1.5 mln. Mg w tym około 820 tys. Mg ilmenitu i 80 tys. Mg cyrkonu i monacytu (razem) (Glapa, Łuszczkiewicz 1988). Dane te dotyczą części ławic stosunkowo dokładnie rozpoznanych geologicznie.

Możliwości pozyskiwania minerałów ciężkich z rozsypisk dolnośląskich stwierdził Łuszczkiewicz (1988) badając najdrobniejsze klasy ziarnowe (stanowiące odpady) powstające przy produkcji kruszyw naturalnych. Autor w cytowanej pracy oszacował, że w stawach osadowych gromadzących odpady drobnoziarniste po płukaniu kruszywa w 11

zwirowniach dolnośląskich zdeponowane jest około 40-60 tys. Mg ilmenitu, 10-15 tys. Mg cyrkonu i po około 3. 5 tys. Mg monacytu i rutylu a rocznie przybywa ich (wszystkich razem) około 4500 Mg. Ilości te traktowane są jako takie, które można odzyskać w sprawdzonych technologiach. Zatem szacunki te oparte są na badaniach przeróbczych (wzbogacalności) na rzeczywistych urządzeniach. Na Dolnym Śląsku znajduje się ponad 180 udokumentowanych złóż piaskowo-żwirowych i około 70 z nich jest aktualnie przedmiotem eksploatacji. Większość z nich może być źródłem minerałów ciężkich, które można wydzielić wzbogacaniem grawitacyjnym wprowadzonym do pracujących technologii produkcji kruszyw bez ich zakłócania tej produkcji.

Również liczne badania przeróbcze wykonano dla piasków Bałtyckich poczynając od plaż (Biernat i in. 1983, Pilch, Stachurski, Sztaba 1990) do piasków morskich (Łuszczkiewicz, 1984), (Łuszczkiewicz, Glapa 1985), (Łuszczkiewicz i inni 1988). Technologie te szczegółowo omówiono w innych pracach zamieszczonych w tym zeszycie.

5. Podsumowanie

- Górnictwo surowców okruchowych jest bardzo ważną dziedziną przemysłu wydobywczego dostarczającą surowców głównie dla budownictwa a także szeregu surowców metali rzadkich zawartych w tzw. frakcji minerałów ciężkich.

- Technologie pozyskiwania minerałów ciężkich wykorzystują fakt doskonałego przygotowania materiału dokonanego przez naturę (uwolnienie i wysortowanie) co czyni kryteria opłacalności wydobycia znacznie łagodniejszymi w stosunku do surowców pierwotnych.

- Najważniejszymi i decydującymi o efekcie technologii jest wzbogacalność grawitacyjna minerałów ciężkich i stopień doskonałości urządzeń do wzbogacania grawitacyjnego.

- Na terenie naszego kraju występuje wiele osadów piaszczystych i piaszczysto-żwirowych, w których obecne są minerały ciężkie: cyrkon, rutyl, ilmenit i monacyt. Badania wielkolaboratoryjne a także w skali półtechnicznej dowiodły, że minerały te można skutecznie i opłacalnie odzyskać.

6. Literatura

Baker G. (1982), Detrital heavy minerals in natural accumulates, Australas. Inst. Min. Metall. Melbourne.

Biernat J. , Głowacz K. , Łoziński J. , Pilch W. , Stachurski J. (1983). Aktualne problemy wzbogacania krajowych piasków morskich. Zeszyty Naukowe AGH. Górnictwo Z. 8, Nr 43, 147-156.

- Burt O.B.(1984), Gravity Concentration Technology, Elsevier Science Publishers B. V., D. W. Fuerstenau, Ed., Amsterdam.
- Glapa W., Łuszczkiewicz A.(1988), Możliwości eksploatacji minerałów ciężkich z ławicy Odrzanej i Słupskiej., *Górnictwo Odkrykowe*, R. XXX, Nr 1(197), 34-49
- Grodzicki A.(1977), Rozsypiskowe koncentracje minerałów ciężkich występujących na Dolnym Śląsku., *Acta Univ. Wratislavi.* No. 378, 157-182.
- Grodzicki A.(1985) Koncentracje minerałów ciężkich na Dolnym Śląsku jako przyszłościowe źródło pierwiastków rzadkich oraz niektóre metody ich pozyskiwania., *Chemik*, R. XXXVII, Nr 11-12, 279-284.
- Grodzicki A.(1990), Geneza i kierunki poszukiwań niektórych perspektywicznych wystąpień minerałów ciężkich na Dolnym Śląsku. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, Nr 23.
- Gruszczak H.(1984), Nauka o złożach., *Wyd. Geol. Warszawa* (Wyd. 2).
- Hedrick J.B., Templeton D.A.(1988), Rare-Earth Minerals and Metals; Minerals Yearbook 1988, U.S. Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.
- Jeliński A.(1971), Rozsypiska minerałów ciężkich jako źródła pierwiastków rzadkich., *Kwart. Geol.* t.15, Nr1., 161-171.
- Kotliński R., Masłowska M.(1984), Perspektywy występowania podmorskich złóż surowców okruchowych w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku. *Mat. CVII Sesji Nauk. Inst. Geol.*, Gdańsk, 108-127.
- Koziowski S.(1986), Surowce skalne Polski, *Wyd. Geol., Warszawa*
- Lynd E.L., Lefond S.J.(1975), Titanium minerals., in: *Ind. Minerals and Rocks*. 4-th. Ed., Stanley J. Lefond Ed., 1149-1208.
- Łoziński J., Masicka H.(1982), Badania minerałów ciężkich w piaskach plażowych Zatoki Gdańskiej., *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, vol. XXXII, Zeszyt Nr4 (Kraków) 579-599.
- Łuszczkiewicz A.(1983), Próby wydzielania koncentratów ilmenitu i cyrkonu z piasków morskich południowego Bałtyku., *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, Nr15, 55-63.
- Łuszczkiewicz A.(1984) Technologiczna ocena możliwości wzbogacania piasków morskich Bałtyku., *Prace Nauk. Inst. Ch. Nieorg. Met. Pierw. Rzadkich Politechn. Wrocław*, Nr. 51, 107-116.
- Łuszczkiewicz A.(1988), Odpady z płukania żwirów jako znaczące źródło minerałów ciężkich. ; *Mat. Sympozjum: "Optymalizacja wykorzystania surowców mineralnych w procesach przeróbki i przetwórstwa"*. PAN-AGH, Kraków, 154-165.
- Łuszczkiewicz A.(1990), Własności minerałów ziem rzadkich., *Rozdział w monografii pt. "Ziemie Rzadkie w Polsce"*., WNT, Warszawa, w druku.
- Łuszczkiewicz A., GLAPA W.(1985), Koncepcja otrzymywania koncentratów minerałów ciężkich z piasków ławic Bałtyckich. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, Nr17, 205-218.

- Luszczkiewicz A., Kurzyca M., Steinhoff J., Świerkot-Kapała A. (1988), Ocena możliwości pozyskiwania minerałów ciężkich z piasków ławic Słupskiej i Odrzańskiej, *Przegląd Górniczy*, Nr 10, 12-18.
- Łydka K. (1985), *Petrologia skał osadowych*, Wyd. Geol. Warszawa.
- Macdonald E.H. (1983), *Alluvial mining: The geology, technology, and economics of placers.*, Chapman and Hall Pub., London-Sydney, 508 pp
- Mączka L., Racinowski R. (1969), Formy występowania skupień minerałów ciężkich na plażach Pomorza Zachodniego., *Kwart. Geol.* t. 13, Nr 1, 221-232.
- Mining Annual Review, (1989), special issue of Mining J. (London); Rare Earth, Titanium, Zirconium and Hafnium, Tungsten.
- McIntyre S. (1989), The WIM 150 mineral sand project., *The Austral. Inst. Min. Metall. Bull. and Proceed.*, vol. 294, No 5, Sept., 24-28.
- O'Driscoll M. (1988), Rare earths: Enter the dragon. *Industrial Minerals*, (London), No 254, Nov., 21-55.
- Phillips B.M., Bassett N. (1979), Development of the Eneabba mineral sands operation of Associated Minerals Consolidated Limited., *The Austral. Inst. Min. Metall. Conf.*, Western Australia, Aug. 1979, 69-77.
- Pilch W., Stachurski J., Sztaba K. (1990), Badania i możliwości wykorzystania minerałów ciężkich z bałtyckich piasków plażowych *Fizykochem. Probl. Mineralurgii* Nr 23.
- Polkin S.I. (1967), *Obogascenie rud i rossypej redkich metallov.*, Izd. Nedra Moskva.
- Solomin K.V. (1961), *Obogascenie peskov rossypnykh mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh.*, Izd. Nedra Moskwa.
- Taylor S.R. (1964), Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 28, No 8, 1273-1285.
- Wajda W. (1984), Koncentracje minerałów ciężkich w polskiej strefie konwencyjnej Bałtyku, ze szczególnym uwzględnieniem rejonu ławicy Odrzańskiej., *Prace Nauk. Inst. Ch. Nieorg. Met. Pierw. Rzadkich Politechn. Wrocł.* Nr 51., 87-105.
- Wills B. A. (1985) *Mineral Processing Technology.*, 3-rd. Edition, Pergamon Press, Oxford.

ABSTRACT

Luszczkiewicz A., 1990., Properties and methods of recovering of heavy minerals from placers., *Physicochemical Problems of Mineral Processing.*, 23; 7-17 (polish text)

Physical and chemical properties of dense valuable minerals in alluvial and marine beach sands are presented and methods of their beneficiation are discussed.