

## Wydzielanie minerałów ciężkich za pomocą separatora magneto hydrostatycznego

Monika Kusiak\*,\*\*, Mariusz Paszkowski\*\*

Minerały ciężkie tj. o gęstości powyżej  $2,89 \text{ g/cm}^3$  rzadko stanowią więcej niż 1% ogólnej objętości skały (Lindholm, 1987; Tucker, 1985; Pettijohn i in., 1972; Blatt i in., 1972) dlatego zwyczajowo są nazywane akcesorycznymi. Początki badań nad tą grupą mineralną datują się na ok. 1870 r. (Hubert, 1971). Pierwsze tego typu analizy ograniczały się przede wszystkim do badań ilościowych. W miarę ogólnego postępu w naukach mineralogicznych oraz rozwoju instrumentalnych technik rosła także ilość cech minerałów akcesorycznych, których rozpoznanie wносиło istotny wkład w rozwój innych dyscyplin geologii. W tej sytuacji barierą dla uzyskania odpowiedniej jakości wyników stało się opracowanie odpowiednio selektywnej techniki otrzymywania pożądanej, relatywnie jednorodnej grupy minerałów z ich surowej mieszaniny zwanej koncentratem. Rosnąca dysproporcja pomiędzy coraz bardziej subtelnymi i wyrafinowanymi metodami analizy minerałów, a nadal stosunkowo prymitywną techniką ich wydzielenia z próbek, stwarza konieczność rozwijania odpowiednich, nowoczesnych, wysoce selektywnych technik separacji.

Koncentraty frakcji ciężkiej w większości przypadków są do dzisiaj uzyskiwane poprzez separację w cieczach ciężkich, takich jak np. bromoform ( $2,89 \text{ g/cm}^3$ ) czy tetrabromoetan ( $2,96 \text{ g/cm}^3$ ) (Mange & Maurer, 1992; Callahan, 1987; Steward, 1986; Mitchell, 1975; Carver, 1971; Barsdate, 1962; Pollack, 1962). Metody takie często są czasochłonne a także, w przypadku niektórych cieczy ciężkich, potencjalnie niebezpieczne (Hillier & Hodson, 1997; Lindholm, 1987). Mimo, że są używane powszechnie, mają one dodatkowe ograniczenia, wynikające chociażby z małej gęstości cieczy, co uniemożliwia rozdzielanie poszczególnych grup mineralnych o większych gęstościach. Roztwór poliwolframanu sodu, który jest związkiem nietoksycznym i może być zastosowany jako ciecz ciężka ( $3,1 \text{ g/cm}^3$ ) jest bardzo drogi (151USD za litr), a jego gęstość jest niewiele większa od tetrabromoetanu, którego koszt wynosi około 96USD za litr (Callahan, 1987). Jedną z nowoczesnych, wdrażanych ostatnio w świecie metod jest rozdział frakcji ciężkiej w separatorze magneto hydrostatycznym. Separacja minerałów w opisany poniżej sposób jest w zasadzie w Polsce nieznaną, choć są już dostępne na rynku profesjonalnie produkowane separatory magneto hydrostatyczne (np. firmy Carpc).

Rozdział mieszaniny ziaren mineralnych odbywa się w wodnym roztworze chlorku manganu  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  na podstawie różnicy ciężaru właściwego i różnic podatności magnetycznej poszczególnych składników koncentratu (nadawy). Wodny roztwór chlorku manganu jest cieczą zawierającą rozpuszczone jony paramagnetyczne  $\text{Mn}^{2+}$ , dzięki czemu stanowi ośrodek, w którym poprzez oddziaływanie z niejednorodnym polem magnetycznym o określonej geometrii następuje wirtualny przyrost ciężaru właściwego cieczy (Brożek, 1983). Położenie danego ziarna w kolumnie cieczy zależy więc od

podatności magnetycznej roztworu oraz jego lepkości. Podatność magnetyczna wodnego roztworu paramagnetycznej soli jest funkcją liniową gęstości roztworu. Współczynnik lepkości  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  rośnie liniowo w zakresie gęstości  $1000\text{--}1280 \text{ kg/m}^3$ . W tym zakresie zmiany gęstości roztworu nie wpływają na zmiany warunków hydrodynamicznych separacji, natomiast powyżej wartości  $1280 \text{ kg/m}^3$  następuje gwałtowny wzrost lepkości. Pewne zmiany temperatury roztworu dają możliwość regulacji warunków rozdziału ziaren.

Separator elektromagneto hydrostatyczny, zainstalowany w Instytucie Nauk Geologicznych UJ na bazie dużego elektromagnesu „Radiopan”, pozwala na rozdział minerałów w wodnym roztworze chlorku manganu przy działaniu stałego, niejednorodnego pola magnetycznego o regulowanym natężeniu. Zmiany pola magnetycznego są kontrolowane zmianami natężenia prądu. Wyskalowanie aparatury było możliwe dzięki przypisaniu wartości natężenia prądu momentowi zrównania się gęstości minerału i pozornej gęstości roztworu użytego do separacji (w tym przypadku  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Gęstości minerałów wzorcowych zostały pomierzone metodą piknometryczną (Manecki & Skowroński, 1988). Otrzymane wartości przedstawiono w tabeli (tab. 1) w zestawieniu z gęstościami znanymi z literatury.

Wzrost natężenia prądu nie we wszystkich przypadkach wpływa korzystnie na separację. Niekiedy wyraźniejszy jest rozdział frakcji ciężkiej przy niższym natężeniu, np. kwarc i dolomit najłatwiej oddzielić od siebie przy 20A, po zwiększeniu natężenia prądu o 10A rozdzielone minerały mieszają się ponownie. W celu zobrazowania wyników przeprowadzonych analiz, przedstawiono je w formie rysunku, przedstawiającego przestrzenny rozkład ziaren, zaobserwowany w poszczególnych próbkach, umieszczonych pomiędzy nabiegunkami elektromagnesu, w zależności od parametrów prądu (ryc. 1).

Na podstawie powyższych wyników można zestawzić (ryc. 2) wartości natężenia prądu potrzebne do wyseparowania poszczególnych ziaren mineralnych o znanej i określonej gęstości.

Przedstawiona metoda separacji daje możliwość sterowania gradientem pozornej gęstości cieczy roboczej poprzez zmianę natężenia prądu w elektromagnesie. Pozwala to na oddzielenie minerałów nawet niewiele różniących się gęstością, np. kwarcu od dolomitu, jak również wyseparowanie minerałów o wysokich jej wartościach (np. kasyterytu). Byłoby to praktycznie niemożliwe przy użyciu klasycznych cieczy cięż-

Tab. 1. Porównanie obliczonych i tabelarycznych gęstości poszczególnych minerałów

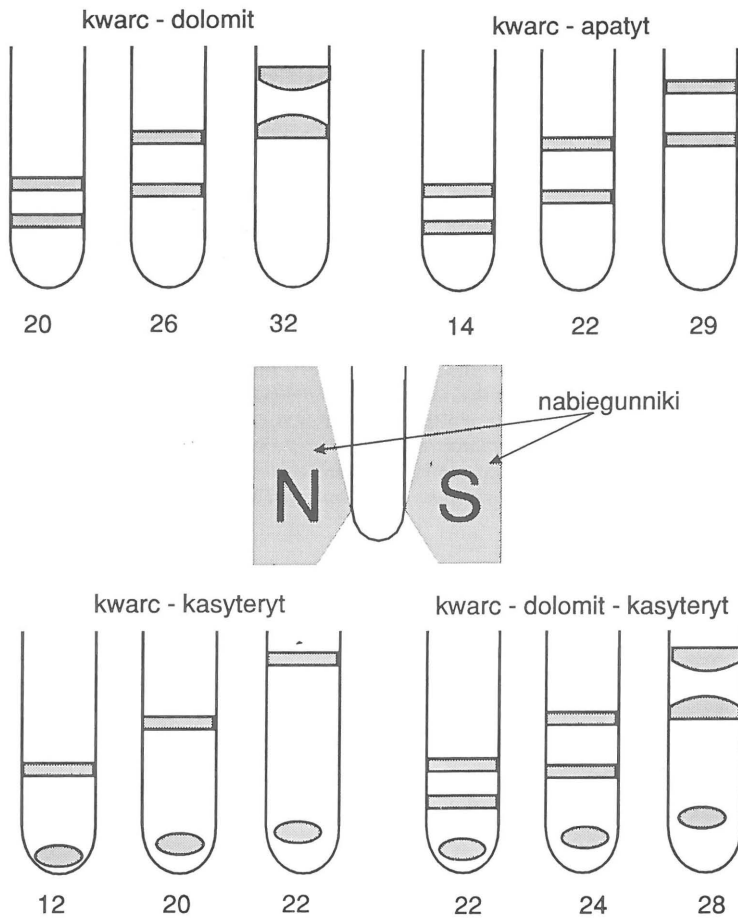
Minerał	Gęstość obliczona*	Gęstość tabelaryczna**
Kwarc	2,71	2,63
Dolomit	3,05	2,85
Apatyt	3,53	3,19
Kasyteryt	6,21	6,90

\*, \*\*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, ul. Oleandry 2a, 30-063 Kraków, e-mail: monique@ing.uj.edu.pl;

\*\*Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, ul. Senacka 1, 31-002 Kraków, e-mail: ndpaszko@cyf-kr.edu.pl

\* — obliczona metodą piknometryczną gęstość poszczególnych minerałów użytych jako wzorce

\*\* — gęstość minerałów wg źródła internetowego: tabela *Non-Metallic Minerals by Density*



Ryc. 1. Przedstawienie wyników separacji dla wzorcowych minerałów

kich, gdyż maksymalna osiągalna gęstość, jaką w ten sposób można uzyskać nie przekracza dla cieczy Clericiego  $4,24 \text{ g/cm}^3$  (Mange & Maurer, 1992). Wodny roztwór chlorku manganu jest związkciem nietoksycznym, a jego ceny są o wiele niższe od cen tradycyjnych cieczy ciężkich. Podsumowując, można stwierdzić, że metoda ta jest metodą efektywniejszą i bardziej precyzyjną od separacji w wysoce toksycznych cieczach organicznych.

Literatura

BARSDATE R.J. 1962 — Rapid heavy mineral separation. *J. Sedim. Petrol.*, 32: 608.  
 BLATT H., MIDDLETON G. & MURRAY R. 1972 — Origin of sedimentary rocks. Prentice Hall Inc.: 286–299.  
 BROŻEK M. 1983 — Magnetic properties and viscosity of fluids containing dissolved paramagnetics. *Arch. Gór.*, 28: 87–95.  
 CALLAHAN J. 1987 — A nontoxic heavy liquid and inexpensive filters for separation of mineral grains. *J. Sedim. Petrol.*, 57: 765–766.  
 CARVER R.E. 1971 — Heavy-mineral separation. [In:] *Procedures in sedimentary petrology*, R.E. Carver (ed.). Wiley, Interscience: 427–452.  
 HILLIER S. & HODSON M.E. 1997 — High-gradient magnetic separation applied to sand — size particles: an example of feldspar separation from mafic minerals. *J. Sedim. Research*, 67: 975–989.  
 HUBERT J.F. 1971 — Analysis of heavy-minerals assemblages. [In:] *Procedures in sedimentary petrology*, R.E. Carver (ed.). Wiley Interscience: 453–478.  
 LINDHOLM A. 1987 — A Practical Approach to Sedimentology. Allen & Unwin: 208–221.  
 MANECKI A. & SKOWROŃSKI A. 1988 — Oznaczanie gęstości minerałów i skał. [In:] *Metody badań minerałów i skał*, Bolewski A. (red.), Żabiński W.: 48–56.  
 MANGE M.A. & MAURER H.F. 1992 — Heavy minerals in colour. Chapman & Hall, London.  
 MITCHELL W.A. 1975 — Heavy minerals. [In:] *Soil components*, vol. 2, J.E. Giesekin (ed.). Springer-Verlag: 449–480.  
 PETTIJOHN F.J., POTTER P.E. & SIEVER R. 1972 — Sand and sandstone. Springer-Verlag: 42–43, 83.  
 POLLACK J.M. 1962 — Removal of heavy liquid separates from glass centrifuge tubes — additional suggestions. *J. Sedim. Petrol.*, 32: 607–613.  
 STEWART R.A. 1986 — Routine heavy mineral analysis using a concentrating table. *J. Sedim. Petrol.*, 56: 555–556.  
 TUCKER M.E. 1985 — Einführung in die Sedimentpetrologie. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart: 47–49.  
**Non-Metallic Minerals by Density 1998** — <http://web.wt.net/daba/Mineral/deter...tallic%20minerals%20by%20density.html>

MINERAŁ	NATEŻENIE PRĄDU WYMAGANE DO WYNIESIENIA ZIARNA NA OKREŚLONĄ WYSOKOŚĆ [A]
KWARC 2.71	12 14 20 22 24 26
DOLOMIT 3.05	20 22 24 26 28 32
APATYT 3.53	14 22 25
KASYTERYT 6.21	12 20 22 24 26 28



Ryc. 2. Zestawienie wartości natężeń prądu charakterystycznych dla danego minerału wzorcowego