



Politechnika Wroclawska

ZAKŁAD PRZERÓBKI KOPALIN I ODPADÓW

WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII, GÓRNICTWA I GEOLOGII

ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

Przedmiot: Laboratorium z Przeróbka Kopalin 2 - Technologie przeróbki surowców mineralnych,

Opracowanie: prof. dr hab. inż. Andrzej Łuszczkiewicz

Ćwiczenie: Wzbogacanie grawitacyjne w płytkim strumieniu wody (stół koncentracyjny)

Wzbogacanie minerałów ciężkich na stole koncentracyjnym

Założenia dydaktyczne

Poznanie zasad procesu rozdziału grawitacyjnego (separacji, wzbogacania) na stole koncentracyjnym oraz sposobu oceny procesu za pomocą krzywych wzbogacania w oparciu o wyniki eksperymentu.

I. Wstęp

Wzbogacanie jest operacją separacji wyróżnionego minerału od pozostałych. Separacja taka możliwa jest przez wykorzystanie charakterystycznej dla wyróżnionego minerału właściwości fizycznej, takiej jak gęstość, przewodnictwo elektryczne, podatność magnetyczna, zwilżalność, kolor. Separacja składników nadawy jest tym lepsza, im większe są różnice ich wybranej właściwości fizycznej, np. im większe są różnice w gęstości minerałów w mieszaninie nadawy, tym łatwiejszy i skuteczniejszy może być ich rozdział grawitacyjny.

Stoły koncentracyjne, obok separatorów strumieniowych (korytowych i stożkowych) oraz strumieniowo-zwojowych, należą do grupy separatorów grawitacyjnych pracujących z płytkim strumieniem wody.

Stół koncentracyjny jest nachyloną pod pewnym kątem płytą poruszaną cyklicznie w kierunku poziomym z określoną częstotliwością i amplitudą. Wzbogacanie na stołach koncentracyjnych stosowane jest do rozdzielania minerałów istotnie różniących się gęstością w płytkim laminarnym strumieniu wody, płynącym po nachylonej powierzchni płyty, prostopadle do kierunku jej poziomego ruchu posuwisto zwrotnego.

Różnica gęstości minerałów powoduje, że na rozdzielane ziarna działają siły ciężkości i bezwładności proporcjonalne do ich masy, siły naporu hydrodynamicznego, tarcia ziarna o płytę stołu oraz kąta nachylenia płaszczyzny stołu. W procesie separacji nadawa jest rozdzielana zależnie od bilansu sił działających na ziarna. Na ruch ziarna o większej gęstości większy wpływ ma siła bezwładności (dynamika ruchu), zaś na ziarna o mniejszej gęstości – siła grawitacyjna (prostopadła

do sił bezwładności). W wyniku tych różnic można otrzymać kilka produktów rozdziału o różnej koncentracji wyróżnionego minerału (rys. 1). W oparciu o uzyskane i zbilansowane wyniki rozdziału można obliczyć parametry krzywej wzbogacalności, która jest podstawą oceny skuteczności procesu, a także projektowania i kontroli technologii wzbogacania (Drzymała 2009).

Na ziarno znajdujące się na powierzchni płyty stołu koncentracyjnego działa siła wypadkowa F powodująca ruch ziarna:

$$F = F_p + F_w$$

gdzie:

F – siła działająca na ziarno,

F_p – wypadkowa siły bezwładności i siły tarcia,

F_w – siła wywołana działaniem nachylenia stołu i strugi wody. Na siłę F_w składają się trzy składowe:

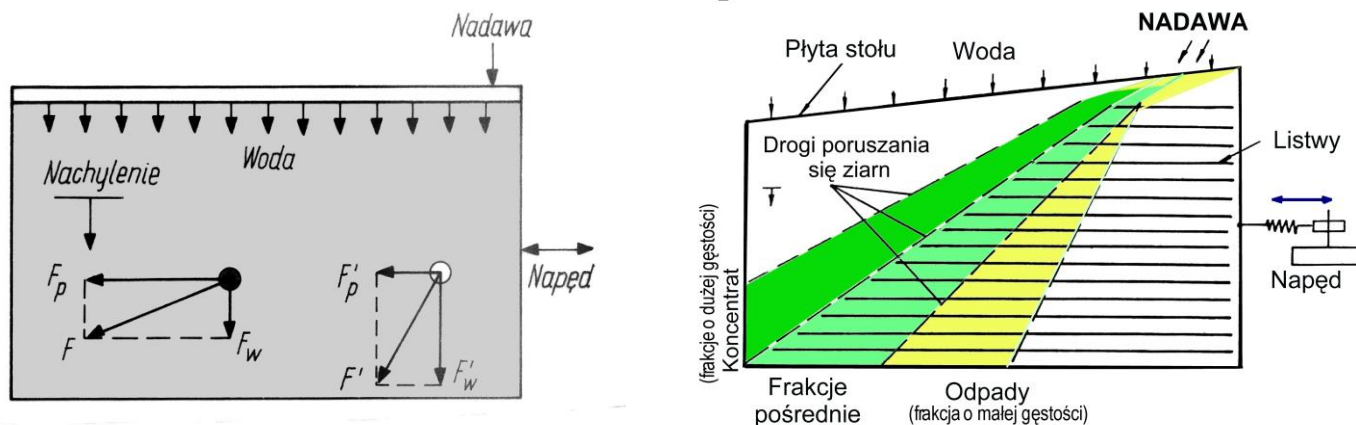
$$F_w = F_1 + F_2 + F_3$$

gdzie:

F_1 - siła grawitacji, zależna od gęstości (ρ) ziarna

F_2 - siła tarcia między ziarnem a powierzchnią stołu (równi pochyłej)

F_3 – siła naporu hydrodynamicznego cieczy na ziarno (zależne m.in. od wielkości ziarn).

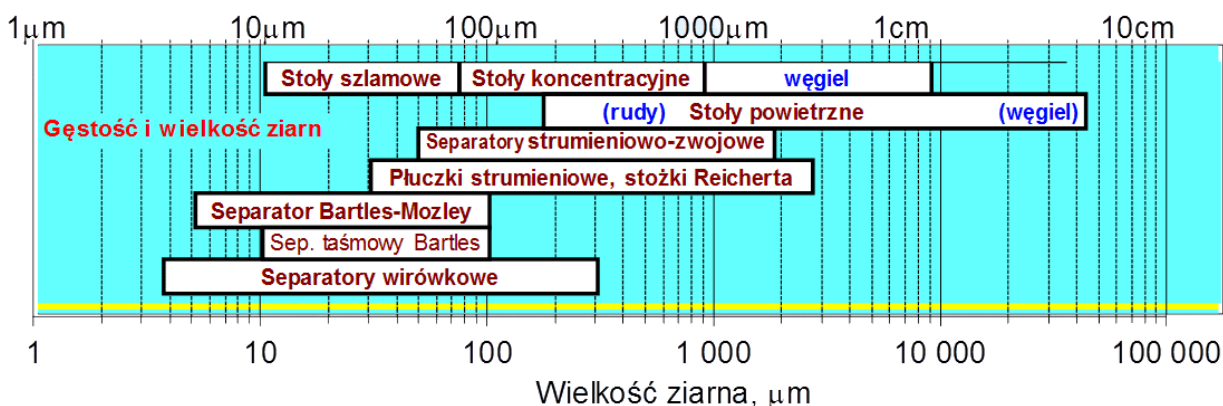


Rys. 1. Siły działające na ziarna o dużej gęstości (F) i o małej gęstości (F'), na stole koncentracyjnym oraz rozkład wachlarzowych smug produktów na płycie roboczej



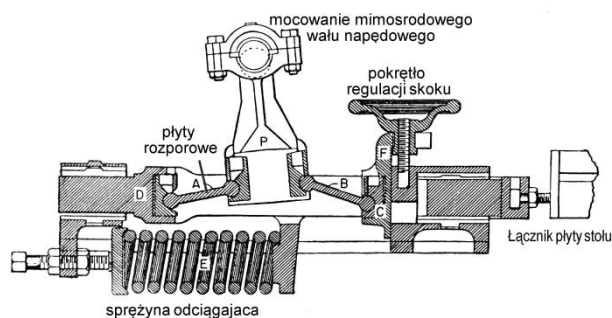
Rys. 2. Stół koncentracyjny z płytą roboczą o powierzchni 0,45 m² w Laboratorium Zakładu Przeróbki Kopalni i Odpadów

Zakresy stosowalności stołów koncentracyjnych oraz innych urządzeń do wzbogacania w płytkim strumieniu wody, ze względu na uziarnienie nadawy pokazano na diagramie na rys. 3. Stoły o gładkiej powierzchni stosuje głównie do wzbogacania ziarn bardzo drobnych $< \sim 0,03$ mm. Jednak do takich uziarnień zwykle stosuje się inne urządzenia. Do wzbogacania ziarn grubszych płyta stołu pokryta jest równoległymi listwami o zwiększającej się długości kierunku nachylenia stołu i zmniejszającej się z długością wysokości. Ogólnie dla grubszych uziarnień nadawy ($> 0,5$ mm) stosuje się listwy o wysokości maksymalnej 15 mm, dla nadawy o drobniejszym uziarnieniu ($\phi < 0,25$ mm) listwy mają wysokość 1-1,5mm. Zaletą stołów koncentracyjnych jest możliwość prowadzenia separacji dla ziarn bardzo drobnych $\sim 0,03$ mm. Im mniejsze jednak uziarnienie nadawy, tym wydajność tego urządzenia jest mniejsza, jeśli ma być utrzymywana odpowiednia skuteczność wzbogacania. W urządzeniach przemysłowych dla materiałów określanych jako piaski, przy powierzchni roboczej 20 m^2 , wydajność ta wynosi około 2-4 Mg/godz. Wydajność jednostkowa stołów koncentracyjnych w zakresie optymalnym, niezależnie od wielkości urządzenia (np. laboratoryjny czy przemysłowy) wynosi około $0,10 - 0,15 \text{ Mg/h/m}^2$ powierzchni roboczej płyty. W stosunku do innych urządzeń do wzbogacania grawitacyjnego w płytkim strumieniu wody, stoły koncentracyjne charakteryzują się najniższą wydajnością jednostkową i najwyższą energochłonnością.



Rys. 3. Orientacyjne zakresy stosowalności stołów koncentracyjnych oraz innych urządzeń do wzbogacania w płytkim strumieniu wody, ze względu na uziarnienie nadawy

Najszerzej stosowanym napędem w stołach koncentracyjnych, również w naszym urządzeniu laboratoryjnym, jest napęd typu Wilfley, którego schemat pokazano na rys. 4. Napęd ten pozwala na regulację częstotliwości i skoku ruchu posuwisto-zwrotnego płyty, które dobierane są w zależności od zakresu uziarnienia podawanej nadawy. Częstotliwość i wielkość skoku, obok ilości podawanej na płytę w jednostce czasu wody oraz nadawy są podstawowymi czynnikami eksploatacyjnymi decydującymi o skuteczności procesu. Ruch płyty stołów koncentracyjnych przemysłowych o rozmiarach płyty rzędu 2×4 m, wzbogacających nadawę o uziarnieniu 0,3- 1,0 mm, charakteryzuje się częstotliwością 240-330 n/min, przy amplitudzie 10-20 mm. Im drobniejsza nadawa tym większa częstotliwość i mniejsza amplituda. Zagęszczenie części stałych w zawieszynie nadawy wynosić powinno w granicach 20-25% (zawiesziny rudne), lub 30-35 % zawiesziny węglowe (Wills 2006)



Rys. 4. Schemat głowicy napędu stołu koncentracyjnego typu Wilfley (Wills 2006)

Minerały ciężkie

Termin **minerały ciężkie** oznacza grupę składników pobocznych i akcesorycznych skał, odróżniających się od pospolitych minerałów skałotwórczych, wyższą gęstością. Termin ten tradycyjnie wiązany jest przede wszystkim z mineralogią okruszowych skał osadowych. Minerały ciężkie to zwykle odporne na różne naturalne czynniki destrukcyjne (mechaniczne i chemiczne), produkty wietrzenia skał, w których wcześniej minerały te występowały jako składniki akcesoryczne i poboczne. Minerały ciężkie w swych skałach macierzystych należą zarówno do grupy podstawowych minerałów skałotwórczych (np. amfibole, pirokseny, miki), jak i do typowych akcesorycznych jak cyrkon, ilmenit, turmalin, apatyt itd. Nazwa tych minerałów wiąże się z ich gęstością ρ , której dolna granica określana jest umownie na poziomie $\rho = 3000 \text{ kg/m}^3$, co odróżnia je od pospolitych minerałów skałotwórczych, np. kwarcu ($\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$) i skaleni, ($\rho = 2560 - 2760 \text{ kg/m}^3$) (Łuszczkiewicz 202).

Tabela 1. Ważniejsze minerały ciężkie spotykane w skałach okruszowych (Łuszczkiewicz 2002)

	Mineral	Wzór chemiczny	Gęstość 10^3 kg/m^3 ρ	Twardość w skali Mohsa, H	Twardość Vickersa, H_v
1.	Apatyt	$\text{Ca}_5[\text{F} \text{(PO}_4)_3]$	3,16–3,22	5,0	536
2.	Cyanit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	3,60–3,70	4,5–7,0	b.d.
3.	Cyrkon	$\text{Zr}[\text{SiO}_4]$	4,67	7,5	1276–1047
4.	Diament	C	3,52	10,0	10600
5.	Granat Almandyn	$\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	4,32	6,5–7,5	b.d.
6.	Granat Pirop	$\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	3,58	6,5–7,5	b.d.
7.	Granat Spessartyn	$\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	4,19	6,5–7,5	b.d.
8.	Hematyt	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	5,20–5,30	5,5–6,0	1009
9.	Ilmenit	$\text{FeTiO}_3 = \text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	4,50–5,00	5,0–6,0	640
10.	Kasyteryt	SnO_2	6,80–7,10	7,0	1106
11.	Magnetyt	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	5,20	5,5	440–1100
12.	Monacyt	$(\text{La,Ce,Nd,..})[\text{PO}_4] = (\text{Ln})[\text{PO}_4]$	4,80–5,50	5,0–5,5	467
13.	Rutyl	TiO_2	4,20–4,30	6,0	b.d.
14.	Turmalin	$\text{Na}(\text{Mg,Fe,Li,Al})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18} \text{(BO}_3)(\text{OH,F})_4]$	3,03–3,25	7,0	1133
15.	Złoto rodzime	Au	19,28	2,5–3,0	41–94

b.d. – brak danych

Minerały ciężkie obecne są, obok głównych składników jakimi są najczęściej kwarc i pospolite minerały krzemianowe czy węglanowe – we wszystkich skałach okruchowych zdeponowanych przez przyrodę w skorupie ziemskiej, zarówno w warstwach powierzchniowych, jak i w osadach zalegających pod jej powierzchnią – zarówno w osadach luźnych jak i zlitfikowanych. Sumaryczna zawartość minerałów ciężkich w skałach najczęściej nie przekracza 1-2 %. W tabeli 1 zestawiono ważniejsze minerały ciężkie występujące w skałach okruchowych

II. Część Eksperymentalna

1. Materiały i urządzenia

- próbka piasku lądowego lub morskiego, ok. 1 kg
- stół koncentracyjny z napędem typu Wilfley
- pojemniki do odbioru produktów - wody wraz z koncentratem, produktami pośrednimi i odpadem
- naczynia na zdekantowane i odwodnione produkty wzbogacania
- suszarka
- waga laboratoryjna
- mikroskop (lupa binokularowa).

2. Metodyka i sposób postępowania

1. Zapoznanie się z instrukcją bhp i instrukcją obsługi stołu koncentracyjnego
 2. Sprawdzenie kabla zasilającego i podłączenia wtyczki do sieci elektrycznej trójfazowej
 3. Przygotowanie i sprawdzenie zasilania stołu koncentracyjnego w wodę
 4. Odważenie próbki piasku do badania i zwilżenie wodą
 5. Włączyć dopływ wody podawanej na płytę stołu oraz wody do pojemnika nadawczego
 6. Włączyć zasilanie silnika elektrycznego napędu stołu
 7. Podawać wzbogacany piasek małymi porcjami do pojemnika nadawczego stołu
- Po uruchomieniu stołu koncentracyjnego podawać materiał, prowadząc separację i odbierając 3 lub 4 produkty do pojemników podstawionych pod korytkami odbiorczymi (koncentrat, półprodukt 1, półprodukt 2 i odpad). W zależności od skutków separacji, przeprowadzić operacje czyszczące.
 - Produkty separacji zdekantować i umieścić w suszarce
 - Pobrać małe próbki produktów wzbogacania i sporządzić preparaty mikroskopowe
 - Określić pod mikroskopem zawartość procentową składnika użytecznego (ziarn kolorowych= minerałów ciężkich) i bezbarwnych (płonnych) w produktach separacji.

3. Sprawozdanie

Sprawozdanie indywidualne powinno zawierać krótki wstęp, opis stosowanych materiałów i urządzeń, opis metodyki eksperymentu, omówienie wyników (obliczenia bilansu i wykresy) oraz wnioski. Do opisu wyników należy wykorzystać krzywe wzbogacania w układzie wychód – uzysk (krzywa Mayera) i uzysk – zawartość (krzywa Halbicha). Na podstawie otrzymanych zależności

zapropnować podział nadawy na koncentrat i odpad z podaniem wszystkich podstawowych wskaźników wzbogacania (α , β , ϑ , γ_k , γ_o , ε , η), które powinny być przedmiotem wniosków.

Tabela 2. Tabela do sporządzenia bilansu wzbogacania

Lp.	Produkty	γ , g	γ , %	$\Sigma\gamma$, %	λ , %	β , %	ε , %	$\Sigma\varepsilon$, %
1.	K							
2.	P ₁							
3.	P ₂							
4.	O							
5.	Nadawa z bilansu							

gdzie:

γ - wychód produktu

λ - zawartość składnika użytecznego (minerałów ciężkich=minerałów kolorowych)

β - zawartość składnika użytecznego w produktach łącznych (kolejno sumowanych frakcjach)

$$\beta = \frac{\Sigma(\gamma \cdot \lambda)}{\Sigma\gamma}, \%$$

ε - czysty uzysk składnika użytecznego [%]

$$\varepsilon = \frac{\gamma \cdot \lambda}{\alpha}, \%$$

$\Sigma\varepsilon$ - uzysk sumaryczny (w kolejno sumowanych frakcjach)

$$\Sigma\varepsilon = \frac{\Sigma(\gamma \cdot \lambda)}{\alpha}, \% \quad \text{lub} \quad \Sigma\varepsilon = \frac{\Sigma\gamma \cdot \beta}{\alpha}, \% \quad \square$$

Wykresy muszą być wykonane czytelnie i odręcznie za pomocą krzywika na papierze milimetrowym

4. Literatura

Drzymała J., 2001, 2009, *Podstawy mineralurgii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław

Laskowski J., Łuszczkiewicz A., 1989, *Przeróbka kopalin. Wzbogacanie surowców mineralnych*. Skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław

Łuszczkiewicz A., 2002, *Poznawcze i technologiczne aspekty występowania minerałów ciężkich w surowcach okruchowych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 99, Monografie Nr 36. Wrocław

Wills, B. A., 2006, *Wills' Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. Seventh Edition, Elsevier & Butterworth-Heinemann.