



Przedmiot: Laboratorium z Przeróbki Kopaliny 2 - Technologie przeróbki surowców mineralnych,

Opracowanie: prof. dr hab. inż. Andrzej Łuszczkiewicz

Ćwiczenie laboratoryjne: Flotacja

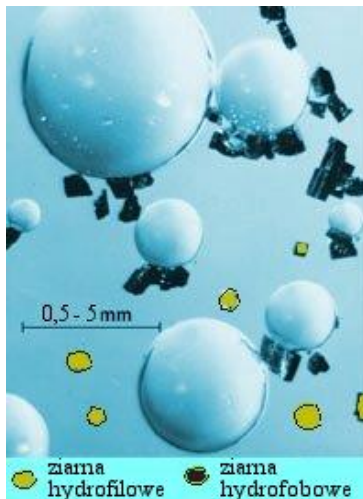
Wzbogacanie surowców mineralnych metodami flotacyjnymi

Założenia dydaktyczne

Praktyczne zapoznanie się z zasadami rozdzielania (separacji, wzbogacania) w procesie flotacji oraz metodyką oceny i analizy procesu za pomocą krzywych wzbogacania w oparciu o wyniki eksperymentu.

1. WPROWADZENIE

Flotacja jest jedną z metod wzbogacania stosowaną do rozdzielania bardzo drobnych ziarn mineralnych. Proces flotacji przeprowadza się w zawiesinie wodnej drobno zmielonego surowca mineralnego i polega na selektywnym przyczepianiu się rozpraszanych w tej zawiesinie pęcherzyków powietrza do



Rys.1. Zjawisko flotacji

wybranych ziarn mineralnych, charakteryzujących się hydrofobowością powierzchni (rys. 1). Powstający agregat pęcherzyk powietrza - ziarno jest lżejszy od wody i wypływa na powierzchnię zawiesiny tworząc zmineralizowaną pianę, która może być zebrana jako wzbogacony w wybrany minerał produkt. Flotacja jest stosowana powszechnie do wzbogacania wszelkich surowców mineralnych, w których dla uwolnienia minerału użytecznego wymagane jest rozdrobienie nadawy do ziaren o wielkości mniejszej od około 0,3-0,1mm do pojedynczych mikrometrów, zależnie od gęstości ziarna mineralnego. W przypadku ziaren węgla kamiennych uziarnienie to może być grubsze tj. <0.5mm a nawet <1mm, co wynika to z małej gęstości węgla kamiennego. Metodą flotacji wzbogaca się miliony megagramów wszelkich surowców mineralnych np. 80-90% wydobywanych w świecie rud metali nieżelaznych. W samej tylko Polsce np. tą metodą, przerabia się całość wydobywanych rud miedzi (tj. rocznie ponad 30 mln. Mg) i około 5 mln. Mg rud cynkowo-ołowiowych. Wydobywane w świecie siarczkowe rudy miedzi przeciętnie zawierają 0,4-1,5% Cu, z których w wyniku wzbogacania otrzymuje się koncentraty o zawartości od 20 do 40% Cu.

W przeróbce kopaliny, flotacja zaliczana jest do fizykochemicznych metod wzbogacania surowców mineralnych, do których zalicza się także selektywną flokulację i koagulację, aglomerację olejową (patrz Drzymała J., 2001, 2009, *Podstawy mineralurgii*; skrypt Laskowski J, Łuszczkiewicz A., 1989, *Przeróbka kopaliny* oraz wykłady).

Ważniejsze elementy zagadnienia do indywidualnego przygotowania przez studenta przed ćwiczeniami:

1. Właściwości fizykochemiczne powierzchni minerałów.
2. Zwilżalność powierzchni mineralnej.
3. Minerały charakteryzujące się wysoką naturalną hydrofobowością (Θ ??).
4. Właściwości nowoutworzonej powierzchni minerału (tzn. powstała w chwili rozdrabiania).
5. Sposoby, istota i cel zmieniania właściwości powierzchniowych minerałów. Kolektory, rola rodników węglowodorowych; odczynniki pianotwórcze i regulujące.
6. Odczynniki flotacyjne, podział i cel zastosowania (trzy grupy: jakie, podać przykłady konkretnych substancji w poszczególnych grupach).
7. Podział (z przykładami) i zasady działania zbieraczy (rodzaje adsorpcji)
8. Najważniejsze rodzaje i działanie odczynników modyfikujących
9. Maszyny flotacyjne. Podstawowe rodzaje, budowa i zasady działania.

Układ flotacyjny jest bardzo złożonym systemem oddziaływań o charakterze fizykochemicznym. Wyniki rozdziału (wzbogacania) flotacyjnego zależą od bardzo wielu czynników. Czynniki te można sprowadzić do czterech grup związanych z:

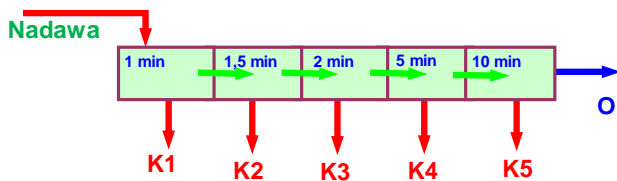
1. własnościami chemicznymi i fizycznymi powierzchni mineralnej, składem i własnościami mineralogicznymi i petrograficznymi kopaliny,
2. charakterystyką zawiesiny flotacyjnej: pH środowiska, składem jonowym, zagęszczeniem części stałych, temperaturą, składem granulometrycznym,
3. charakterem dodawanych do zawiesiny substancji chemicznych – odczynników flotacyjnych (rodzaj, postać, ilość, sposób i kolejność ich dozowania, czas kontaktu),
4. charakterystyką pracy flotowników (maszyn flotacyjnych): wydajność, intensywność mieszania i napowietrzania zawiesiny flotacyjnej, poziom zawiesiny w komorze, sposób odbierania piany, czas flotacji.

Część doświadczalna

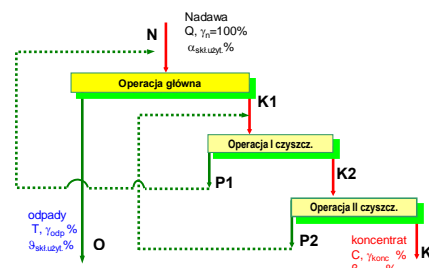
WSTĘP

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie procesu flotacji, a w szczególności z najważniejszymi rodzajami operacji flotacji związanymi ze wzbogacaniem różnych surowców mineralnych oraz sposobami przeprowadzania badań i oceny wzbogacalności (flotowalności) tych surowców. Doświadczenia flotacji wykonuje się według dwóch metodyk:

1. **metodą pojedynczej operacji (flotacja frakcjonowana)**, rys 2
2. **metodą operacji wielokrotnych (flotacja główna, czyszcząca)**, rys. 3



Rys. 2. Schemat doświadczenia operacji flotacji frakcjonowanej



Rys. 3 Schemat doświadczenia operacji wielokrotnych wzbogacania (wielostopniowych). Linie przerywane symulują obieg ciągły

Sposób przeprowadzania doświadczeń nie wynika z rodzaju surowca, lecz związany jest z celem eksperymentu. Flotacje frakcjonowane dostarczają danych kinetycznych, a flotacje metodą operacji wielokrotnych według schematu: operacja główna + operacje czyszczące – danych jakościowo-ilościowych procesu. Badając wzbogalność danej kopaliny wykonuje się eksperymenty w obu wersjach.

Ćwiczenie składa się z dwóch części:

1. Flotacja węgla kamiennego. Jest to przykład flotacji zbieraczami apolarnymi. Doświadczenie to wykonywane będzie metodą flotacji frakcjonowanej.

Celem wzbogacania węgla kamiennych jest usunięcie z węgla zanieczyszczeń mineralnych, które obniżają jego kaloryczność i mogą być źródłem składników toksycznych przechodzących do atmosfery w reakcji jego spalania. Węgiel kamienny wzbogaca się głównie metodami grawitacyjnymi (gęstość węgla $\rho_1=1\ 200\div 1\ 400\ \text{kg/m}^3$, gęstość skały płonnej $\rho_2=2\ 500\div 2\ 700\ \text{kg/m}^3$). Metody te tracą jednak swą skuteczność przy uziarnieniu mniejszym od około 0,5 mm i wówczas praktycznie jedyną metodą wzbogacania gwarantującą odpowiednio wysoką skuteczność jest flotacja. Ziarna węgla kamiennego ze względu na węglowodorowy charakter ich powierzchni mogą wykazywać wysoką hydrofobowość naturalną. Ze wzrostem stopnia uwęglenia węgla kamiennych na ogół rośnie ich hydrofobowość. Decydującym czynnikiem o właściwościach powierzchniowych węgla kamiennych jest także jego skład petrograficzny. Najczęściej stwierdzana jest flotowalność malejąca od wityrynit poprzez inertynit, leptynit do fuzynit. Substancja węglowa w trakcie swej genezy zanieczyszczana była substancją mineralną (nieorganiczną) najczęściej typu ilasto-węglanowego o charakterze hydrofilowym. Jest to przyczyną obniżenia wartości opałowej węgla i utraty hydrofobowości a zatem podwyższenia zwilżalności jego powierzchni. Utracie naturalnej hydrofobowości sprzyjają również procesy utleniania (wietrzenia) substancji węglowej wynikiem, czego są mikro spękania, zmatowienie powierzchni ziaren, ułatwiające wnikanie wody. W celu podwyższenia hydrofobowości ziaren węglowych stosuje się apolarne zbieracze flotacyjne, najczęściej typu węglowodorów alifatycznych lub aromatycznych. Zbieracze apolarne wiążą się z powierzchnią mineralną na drodze adsorpcji fizycznej.

Zawartość substancji mineralnej w węglu, mierzona zawartością w nim popiołu, jest jednym z podstawowych wskaźników jakościowych węgla. Wzbogacanie węgla ma zatem na celu obniżenie zawartości w nim popiołu. Im wyższa jest zawartość popiołu w ziarnach węglowych, tym najczęściej gorsza jest ich flotowalność.

2. Flotacja rudy miedzi. Przykład flotacji rudy siarczkowej metali nieżelaznych, do której używa się głównie zbieraczy jonowych z grupy związków tiolowych.

Flotacja minerałów siarczkowych i innych o właściwościach flotacyjnych zbliżonych do minerałów siarczkowych jest szczególnym typem procesu wzbogacania. Ze względu na wysoką selektywność odczynników zbierających stosowanych do flotacji tego typu minerałów, przede wszystkim z grupy związków tiolowych, możliwe jest osiąganie niezwykle wysokich stopni koncentracji i wydzielanie minerałów obecnych w surowcach w stanie silnie rozproszonym (nawet obecnych w śladowych ilościach). Prawie wszystkie rudy siarczkowe w świecie wzbogaca metodą flotacji. Znacząca część zasobów metali nieżelaznych, w tym miedzi, występuje w formie niesiarczkowej (rudy utlenione) i przetwarzane są głównie metodami chemicznymi (hydrometalurgia). Rudy siarczkowe miedzi, współcześnie eksploatowane w świecie, zawierają przeciętnie mniej niż 1% Cu, a wsad hutniczy powinien jej zawierać mniej niż 20-25%, zatem w takich przypadkach konieczne jest wzbogacanie ze stopniem wzbogacania rzędu kilkadziesiąt (razy).

Materialy i urządzenia

Urządzenia: laboratoryjna maszynka flotacyjna mechaniczna typu *Mechanobr* lub *Denver* z odpowiednim kompletem komór flotacyjnych (konstrukcja opisana w prezentacji wykładu *Technologia flotacji*), stoper do pomiaru czasu, waga techniczna, naczynia szklane i cylindry miarowe do przygotowania odczynników i odbioru produktów flotacji, suszarka

Nadawa (w zależności od zakresu ćwiczenia):

Węgiel kamienny z Górnego Śląska: miał węglowy o uziarnieniu -0.5 mm

Ruda miedzi z rejonu wydobywania kopalń LGOM, zmielona do uziarnienia -0.3 mm

Odczynniki:

olej napędowy (zbieracz stosowany do flotacji węgla) w postaci emulsji wodnej o określonym stężeniu*;

etyloksantogenian potasu (typowy zbieracz stosowany do flotacji minerałów siarczkowych) w postaci roztworu o odpowiednim stężeniu*;

α -terpineol (odczynnik pianotwórczy) w postaci roztworu o określonym stężeniu

Uwaga: zwrócić uwagę w jakiej postaci i jakim stężeniu przygotowane są odczynniki

Metodyka flotacji rudy miedzi i opracowanie wyników

Należy odważyć 300g (w przypadku pracy z maszynką *Mechanobr*) zmielonej rudy miedzi, przygotować naczynia na produkty oraz przygotować odpowiednie naważki i porcje odczynników flotacyjnych:

1. etylowy ksantogenian potasu **w ilości 100 g/Mg rudy***. Odczynnik ten jest przygotowany do ćwiczenia albo w postaci roztworu o stężeniu 3 g/dm^3 (należy wówczas odmierzyć jego odpowiednią objętość), albo w postaci czystej suchej substancji i należy wówczas odważyć wyliczoną jego ilość. Przygotowując się do ćwiczenia należy wyliczyć tą objętość lub masę.

* dokładne stężenia i zalecane ilości dozowanych odczynników mogą być inne niż w instrukcji i będą podane w trakcie ćwiczenia

2. terpeneol w ilości **150 g/Mg rudy**. Odczynnik ten jest przygotowany w postaci 0.1% ($1\text{g}/\text{dm}^3$) roztworu i należy zatem odmierzyć jego odpowiednią (wyliczoną przed ćwiczeniami) objętość.

Rudę wsypać do komory maszyny flotacyjnej *Mechanobr* o pojemności 1 dm^3 następnie dodać wody do wyznaczonego poziomu. Komorę zamocować w uchwycie maszyny, sprawdzić zamknięcie zaworu wlotu powietrza w obudowie wirnika, włączyć napęd wirnika i mieszać zawiesinę przez 1 minutę w celu pełnego zwilżenia rudy. Po dobrym zwilżeniu rudy wykonać kolejno następujące czynności:

1. dodać odczynniki flotacyjne w następującej kolejności:

a) etylowy ksantogenian potasu w przygotowanej ilości odpowiadającej **100 g/Mg rudy** i mieszać z zawiesiną rudną przez 3 min.

b) α -terpeneol w przygotowanej objętości jego roztworu odpowiadającej ilości **150 g/Mg rudy**.

Po wprowadzeniu tego odczynnika mieszać dalej zawiesinę przez kolejną 1 min.

2. Przygotować zgarniak do ręcznego zgarniania piany flotacyjnej

3. W trakcie mieszania z odczynnikiem, na ramieniu ruchomej podstawki maszyny umieścić komorę flotacyjną o pojemności $0,5\text{ dm}^3$. Do której będzie odbierany produkt pianowy (lub kolejną, o mniejszej pojemności komorę flotacyjną – zgodnie z poleceniem prowadzącego ćwiczenia).

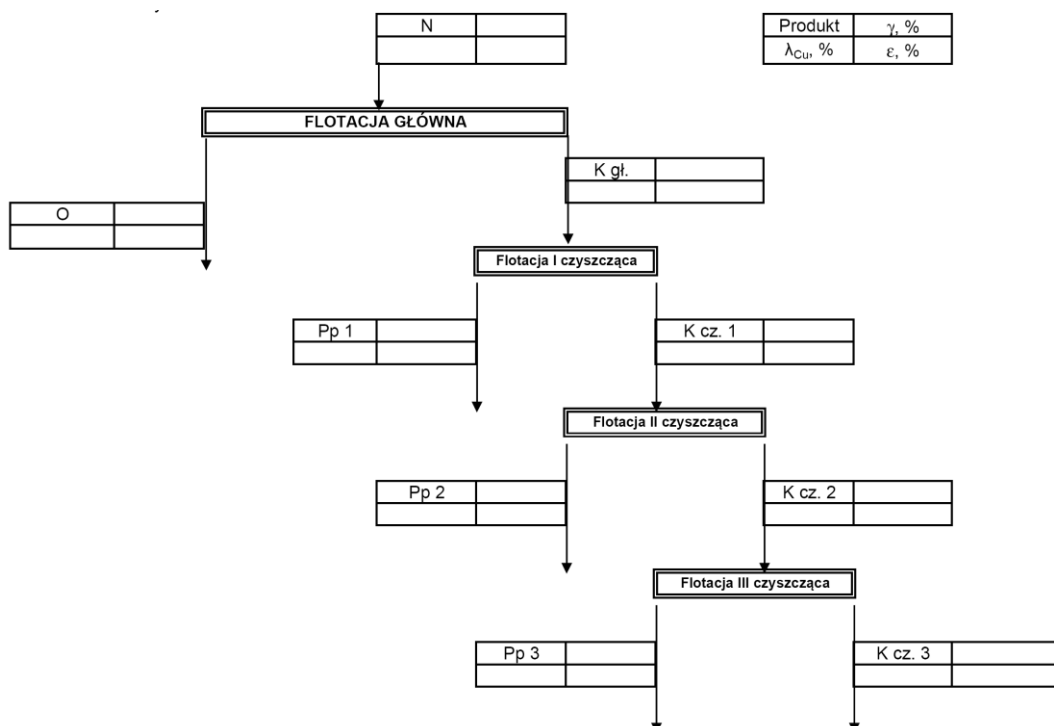
4. Otworzyć ostrożnie i powoli zawór doprowadzający zasysane przez wirnik powietrze pozostawiając go tylko częściowo otwartym. Obserwując powstającą na powierzchni zawiesiny pianę rozpocząć jej zgarnianie do podstawionej na ruchomej podstawie mniejszej komory flotacyjnej przy pomocy ręcznego zgarniacza. Z chwilą pierwszego zgarnięcia piany rozpocząć pomiar czasu flotacji (tzn. czasu zbierania danego produktu). W następnych operacjach również mierzymy czas. Pianę należy zgarniać z powierzchni zawiesiny przez 10 min. uzupełniając ubytek zawiesiny w komorze przez dolewanie wody z tryskawki. Strumień wody z tryskawki należy kierować do tylnej części komory za obudową wirnika. Po 10 min. zgarniania piany, zamknąć dopływ powietrza i wyłączyć napęd. Zdjąć (obniżyć) komorę z pozostałością, zatrzymując ją pod wirnikiem następnie tryskawką spłukać do komory wirnik i jego obudowę. Pozostałość w komorze stanowi odpad **flotacji głównej**, który po dekantacji przenosimy do naczynia szklanego i następnie kierujemy do suszenia. Tą bowiem zakończoną właśnie operację nazywamy flotacją główną. Następnie zmieniamy wirnik maszyny na mniejszy przeznaczony do komory $0,5\text{ dm}^3$. Komorę $0,5\text{ dm}^3$ z produktem pianowym – koncentratem wstępnym K_{gł} z flotacji głównej umocowujemy pod zmienionym wirnikiem i powtarzamy operację flotacji. Operację tą nazywamy **flotacją czyszczącą I** (pierwszą) a zbierany produkt pianowy koncentrat K_{cz1} zgarniamy do mniejszej komory ($0,3\text{ dm}^3$) wykonując operację flotacji czyszczącej II, wydzielając koncentrat K_{cz2}. Na ogół do flotacji czyszczących nie dodaje się nowych porcji odczynników flotacyjnych i prowadzi się ją "do zaniku piany". Po zebraniu produktu pianowego K_{cz2} powtórzyć flotację kolejnej komorze o pojemności $0,2\text{ dm}^3$ wykonując operację flotacji czyszczącej III wydzielając koncentrat K_{cz3}. Produkty pozostające w komorach (w 1 dm^3 –odpad O, w $0,5\text{ dm}^3$ - Pp1 - **półprodukt I**, w $0,3\text{ dm}^3$ - Pp2 **półprodukt II**, itd) zdekantować, przenieść do szklanych naczyń i umieścić w suszarkach do wysuszenia, następnie zważenia. Wysuszone i zważone produkty należy przygotować do oznaczeń chemicznych. W tym celu każdy z produktów należy utrzyć w moździerzu i pobrać uśrednione próbki zgodnie z wymaganiami procedur analitycznych. Po określeniu wychodów produktów i oznaczeniu w nich zawartości metalu wyniki eksperymentu **należy opra-**

ować w formie tabelarycznej (np. według tabeli 1) i graficznej (krzywe wzbogacalności $\varepsilon=f(\gamma)$, $\beta=f(\varepsilon)$ i $\eta_{no}=f(\varepsilon)$) (η_{no} = uzysk części nieużytecznej w odpadach) oraz schematu ilościowo-jakościowego i umieścić w sprawozdaniu. Zasady oceny wyników wzbogacania przy pomocy krzywych wzbogacania są szczegółowo omówione na wykładach a także w zalecanych podręcznikach. W omówieniu wyników **zapropionować i uzasadnić**, odczytując z krzywych i wyliczając, wskaźniki rozdziału na trzy produkty: koncentrat, półprodukt i odpad:

- wychód koncentratu, półproduktu i odpadów
- zawartość miedzi w koncentracie, odpadzie i półprodukcie
- stopień wzbogacania
- uzysk miedzi w koncentracie i półprodukcie
- zawartość miedzi w odpadach
- strata miedzi w odpadach
- wskaźnik selektywności z krzywej Fuerstenaua ($\eta_{no}=f(\varepsilon)$)

Zapropionowane wskaźniki i wynikające z nich pozostałe, odczytane z wykresów i obliczone parametry powinny się znaleźć we wnioskach z ćwiczenia.

Schemat jakościowo-ilościowy (rys. 4) powinien być sporządzony z pełnym bilansem wszystkich operacji doświadczenia według otrzymanych wyników (z umieszczeniem „tabliczek znamionowych” przy wszystkich produktach). Na podstawie krzywych wzbogacalności $\varepsilon=f(\gamma)$, $\beta=f(\varepsilon)$ należy zapropionować podział na produkty przyjmując jako kryterium górnicze strata metalu w odpadach $\eta < 10\%$ i kryterium hutnicze, zawartość metalu w koncentracie $\beta > 20\%$. Wykreślić krzywą Fuerstenaua $\eta_{no}=f(\varepsilon)$ oraz krzywą kinetyki flotacji $\varepsilon=f(t)$. Wszystkie wykresy powinny być narysowane na papierze milimetrowym (formatu $\leq A4$) ręcznie (**bardzo starannie i czytelnie! przy pomocy krzywików**). Zapropionowany podział na produkty zaznaczyć na wykresach i krótko (ilościowo) skomentować. Należy zwrócić uwagę czy proponowane wskaźniki nawzajem odpowiednio się bilansują.



Rys. 4. Schemat jakościowo-ilościowy eksperymentu flotacji rudy miedzi

Tabela 1. Wyniki doświadczenia flotacji rudy miedzi

Produkt	Wychody			Metal				Części nieużyteczne			
	Wychód, g	Wychód $\gamma\%$	Wychód kumulowany $\Sigma\gamma, \%$	Zawartość metalu, $\lambda\%$	$\beta, \%$	Uzysk metalu w koncentracie $\varepsilon, \%$	uzysk met. kumulowany $\Sigma\varepsilon, \%$	Zawart. części nieużytecznych $100-\lambda, \%$	uzysk cz. nieużyty. w konc. $\varepsilon_{nk}, \%$	uzysk cz. nieużyty. w odpadach $\varepsilon_{no}=100-\varepsilon_{nk}, \%$	uzysk cz. nieużyty. kumul. w odp., $\Sigma\varepsilon_{no}, \%$
			0,0		β_t		0,0				100,0
Koncentrat											
Prod. pośr.3											
Prod. pośr.2											
Prod. pośr.1											
Odpad			100,0				100,0				0,0
Nadawa wyliczona z bilansu		100,0		α		100,0		$100-\alpha$	100,0	100,0	

γ -wychód produktu, %

ε - uzysk składnika użytecznego w produkcji, %

$100-\lambda$ - zawartość części nieużytecznych w produktach, %

$\alpha, 100-\alpha$ - zawartość w nadawie (w tabeli mają być odpowiednie liczby, a nie symbole)

λ -zawartość składnika w produkcji, %

$\Sigma\lambda = \beta, \Sigma\varepsilon$ - zawartości i uzyski kumulowane, %

ε_{nk} - uzysk części nieużytecznych w koncentracie, %

ε_{no} - uzysk części nieużytecznych w odpadach, %

Metodyka flotacji węgla kamiennego i opracowanie wyników

Przygotować naważkę 200 g drobno uziarnionego węgla kamiennego (w przypadku pracy z maszynką *Mechanobr*) oraz odmierzyć odpowiednią objętość emulsji wodnej oleju napędowego (zbieracz stosowany we flotacji węgla) w ilości odpowiadającej 300 g oleju napędowego na 1 Mg węgla. Objętość tą należy wyliczyć przed ćwiczeniami. Do jej wyliczenia należy znać "stężenie" oleju napędowego w emulsji tzn. ilość gramów oleju na 100 cm³ emulsji. Należy przyjąć, że wartość ta wynosi 0.41933 g. Przygotować zestaw naczyń szklanych, których ilość musi odpowiadać przewidywanej ilości produktów

Odmierzyć wyliczoną dla naważki 200 g węgla objętość roztworu odczynnika pianotwórczego w ilości odpowiadającej **150 g/Mg węgla**. Odczynnik ten (α -terpineol) jest w postaci 0.1% roztworu (1g/dm³) i należy zatem odmierzyć jego odpowiednią (wyliczoną przed ćwiczeniami) objętość.

Wsypać odważony węgiel do komory o pojemności 1 dm³ maszynki flotacyjnej, napęlnić wodą do zaznaczonego na ściance komory poziomu. Komorę zamocować w maszynie i sprawdzając czy zawór wlotu powietrza jest zamknięty, włączyć napęd wirnika i mieszać zawiesinę przez 2 minuty, aby węgiel został całkowicie zwilżony.

Do mieszanej zawiesiny wprowadzić wyliczoną i odmierzoną objętość emulsji odczynnika zbierającego. Mieszanie z odczynnikami powinno trwać 5 min. Po tym czasie dodać do mieszanej nadal zawiesiny przygotowaną i odmierzoną ilość odczynnika pianotwórczego i mieszać przez kolejną 1 minutę. Przygotować zgarniak do ręcznego zgarniania piany flotacyjnej.

Otworzyć ostrożnie i powoli zawór wlotu zasysanego przez wirnik powietrza, pozostawiając go tylko częściowo otwartym. Obserwując wytwarzającą się na powierzchni zawiesiny pianę rozpocząć jej zgarnianie do podstawionego na ruchomej podstawie maszynki naczynia. Z chwilą pierwszego zgarnięcia piany rozpocząć pomiar czasu flotacji (tzn. czasu zbierania danego produktu). Produkty pianowe należy zbierać do oddzielnych, kolejno podstawianych naczyń w tzw. sposób frakcjonowany (**flotacja frakcjonowana**) w ciągu następujących odcinków czasu*::

- 1) 30 s
- 2) 30 s
- 3) 1 min.
- 4) 3 min.
- 5) 6 min

(Czas mierzony bez wyłączania stopera: 30", 1', 2', 5', 12'). Produkt pozostający w komorze stanowi szóstą frakcję - odpad.

Zbierane do oddzielnych naczyń produkty po zgaszeniu piany i zdekantowaniu umieścić w suszarce do wyschnięcia i obróbki w trakcie drugiej części ćwiczenia (w następnym tygodniu). Na następnych ćwiczeniach, po wysuszeniu produkty poważyć, określić ich wychody i przygotować do oznaczenia zawartości popiołu.

* ze względu na właściwości badanej/flotowanej próbki nadawy, ilość produktów i czasy ich zbierania mogą zostać zmienione według polecenia prowadzącego ćwiczenie

Oznaczenie popiołu w produktach flotacji węgla kamiennego*

Materiały i aparatura

Wysuszone produkty flotacji węgla, moździerz do ucierania próbek, piec muflowy, eksykator, tygle porcelanowe, waga analityczna, szpatułka.

Wykonanie oznaczenia

Wysuszone produkty flotacji zważyć z dokładnością do 0,1 g przenieść materiał do moździerza i w całości utrzeć do rozmiarów ziarn $<0,2$ mm. W eksykatorze znajdują się przygotowane do oznaczeń tygle porcelanowe. Zostały one wcześniej wyprażone do tzw. stałej masy. Przy użyciu pęsety i w miarę potrzeby należy wyjmować pojedyncze tygle i określić ich masę na wadze analitycznej z dokładnością do 0,0001 g. Po dokładnym uśrednieniu, roztarciu i wymieszaniu każdego z produktów flotacji, odważyć w zważonym wcześniej tygielku porcelanowym ich naważki o masie 1g z dokładnością do 4-go miejsca po przecinku. Tygle z naważkami produktów umieścić w piecu muflowym wcześniej rozgrzanym do temperatury nie większej niż 300°C . Po osiągnięciu przez piec temperatury 800°C wyprażać próbki przez 2 godziny w temperaturze 800°C . Na drugi dzień do laboratorium muszą zgłosić się wydelegowane z grupy osoby w celu zważenia wystudzonych tygli. Warząc tygle po wystudzeniu (umieszczone przez obsługę ćwiczeń w eksykatorze) określamy masę otrzymanego popiołu i należy wyliczyć jego zawartość w badanych produktach flotacji.

Otrzymane wyniki należy opracować (tabela 2) przy pomocy krzywych wzbogacania Mayera i Fuerstenaua i umieścić w sprawozdaniu. W sprawozdaniu należy także sporządzić schemat ilościowo-jakościowy eksperymentu analogicznie do schematu w części z flotacją rudy miedzi i pokazanym na rys. 5. Zasady oceny wyników wzbogacania przy pomocy krzywych wzbogacania są szczegółowo omówione na wykładach, a także w zalecanych podręcznikach. Na podstawie otrzymanych charakterystyk (krzywych wzbogacania) oraz zadanego przez prowadzących ćwiczeniu kryterium rozdziału **zapropionować i uzasadnić** rozdział wzbogacanego węgla na koncentrat i odpady z podaniem głównych wskaźników technologicznych:

- wychód koncentratu i odpadów
- zawartość i uzysk popiołu w proponowanym koncentracie
- zawartość i uzysk części palnych w proponowanym koncentracie
- zawartość i uzysk części palnych w odpadach
- zawartość i uzysk popiołu w odpadach
- wskaźnik selektywności z krzywej Fuerstenaua ($\eta_{no}=f(\varepsilon)$)

Należy zwrócić uwagę czy proponowane wskaźniki nawzajem odpowiednio się bilansują.

Zaproponowane wskaźniki oraz wynikające z nich pozostałe parametry powinny być podstawą wniosków z ćwiczenia opisanych w sprawozdaniu.

Na podstawie krzywych wzbogacalności zaproponować podział na koncentrat i odpady. Przy formułowaniu propozycji podziału należy przyjąć kryterium jakości, że zawartość popiołu w koncentracie (β) **powinna być mniejsza od X?%** (jak zaleci prowadzący ćwiczenia). Potrzebne wykresy krzywych wzbogacalności ($\Sigma\gamma-\Sigma\varepsilon(A)$ i $-\Sigma\varepsilon(L)$) oraz $\Sigma\eta(A)-\Sigma\varepsilon(L)$ i krzywe kinetyki flotacji $\Sigma\varepsilon(A)$ i $\Sigma\varepsilon(L)=f(t)$ proszę rysować **wyłącznie przy użyciu krzywika i na papierze milimetrym (formatu $\leq A4$) ręcznie bardzo starannie i czytelnie! Wykresy muszą być wykreślone zgodnie z inżynierskimi zasadami rysunku technicznego.**

Tabela 2. Wyniki doświadczenia flotacji frakcjonowanej węgla kamiennego

Produkt	Wychód			Popiół w koncentracie			Substancja palna w koncentracie			Popiół w odpadach
	g	γ , %	$\Sigma\gamma$, %	$\lambda(A)$, %	$\epsilon(A)$, %	$\Sigma\epsilon(A)$, %	$\lambda(L)$, %	$\epsilon(L)$, %	$\Sigma\epsilon(L)$, %	$\Sigma\eta(A)$, %
			0,0			0,0			0,0	100,0
K-1										
K-2										
K-3										
K-4										
Odpad			100,0			100,0			100,0	0,0
Nadawa		100,0		α	100,0		100- α	100,0		

γ - wychód produktu

$\lambda(A)$ -zawartość popiołu we frakcji

$\lambda(L)$ - zawartość substancji palnej w produkcie

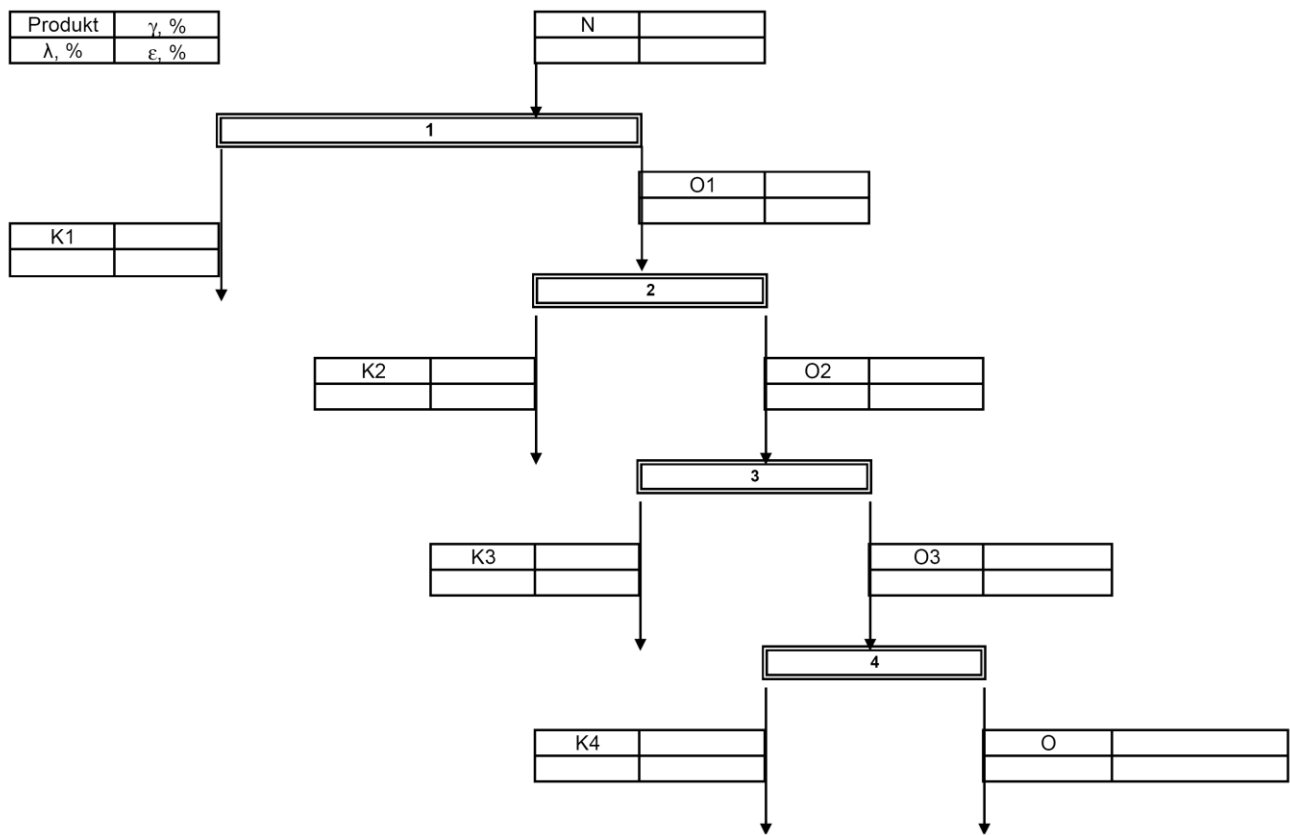
$\epsilon(L)$ - uzysk substancji palnej w produkcie

$\epsilon(A)$ - uzysk popiołu w produkcie

$\eta(A)$ – uzysk popiołu w odpadach

znak Σ oznacza wartości kumulowane

α , 100- α - zawartość w nadawie (w tabeli mają być odpowiednie liczby, a nie symbole)



Rys. 5. Schemat ilościowo-jakościowy eksperymentu flotacji węgla kamiennego