



Politechnika Wroclawska

LABORATORIUM PRZERÓBKİ KOPALIN I ODPADÓW

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

Przedmiot: Przeróbka Kopalin

Opracowanie: dr hab. inż. Andrzej Łuszczkiewicz, prof. nadzw.

ĆWICZENIE: FLOKULACJA ZAWIESIN MINERALNYCH

Założenia dydaktyczne

Praktyczne zapoznanie się z zasadami separacji części stałych od wody w procesie flokulacji i sedymentacji oraz metodyką oceny i analizy procesu za pomocą krzywych sedymentacji w oparciu o wyniki eksperymentu.

1. WPROWADZENIE

W wielu procesach przemysłowych zachodzi konieczność oddzielania fazy stałej od wody lub roztworu wodnego. Z zagadnieniami tymi spotykamy się w wielu dziedzinach związanych z przeróbką kopalin, inżynierią chemiczną i inżynierią środowiska. W przeróbce surowców mineralnych, gdzie większość procesów przeprowadza się w wodzie, operacje zagęszczania oraz odwadniania zawiesin są integralną częścią układów technologicznych. Produkty końcowe operacji prowadzących do wytworzenia koncentratu są bardzo często w stanie zawiesiny wodnej, natomiast przedmiotem sprzedaży są z reguły produkty wysuszone. Zachodzi zatem konieczność poddania zawiesin procesowi odwodnienia, który z punktu widzenia przeróbki kopalin jest procesem rozdziału fazy ciekłej od stałej. Z drugiej strony, woda po jej użyciu a przed skierowaniem jej ponownie do obiegu technologicznego lub odprowadzeniem do otaczającego środowiska, wymaga oczyszczenia, co często sprowadza się do usunięcia zawieszonych w niej cząstek stałych. Zabieg taki nazywamy klarowaniem wód. Separacja dużych, o rozmiarach milimetrycznych, cząstek ciała stałego z wody jest operacją prostą i zwykle wykonuje się ją na sitach, z których woda ścieka grawitacyjnie. Trudniejszym procesem jest wydzielanie cząstek drobnych, na przykład o średnicach mniejszych od około 50 do 100 μm . Do ich usuwania z wody stosuje się sedymentację, polegającą na swobodnym grawitacyjnym opadaniu cząstek ciała stałego w ośrodku płynnym i osadzania się ich na dnie zbiornika oraz filtrację, polegającą na rozdziale faz za pośrednictwem przegrody porowatej. Filtracja może być próżniowa, lub bardziej wydajna, ciśnieniowa. Gdy jednak wielkość cząstek jest mniejsza od 1 μm , mówimy wówczas o cząstkach o rozmiarach koloidalnych. Wtedy proces filtracji przebiega bardzo opornie, z powodu małej porowatości osadu, zaś sedymentacja często jest niemożliwa, ponieważ tak bardzo drobne cząstki nie podlegają działaniu sił grawitacji gdyż przewyższają je siły translacyjne Browna. W takich przypadkach dla umożliwienia lub podwyższenia skuteczności procesu filtracji czy sedymentacji wprowadza się do zawiesiny specjalne substancje chemiczne powodujące agregację bardzo drobnych ziarn. Zagregowane cząstki zachowują się jak ziarna większych rozmiarów, zatem szybciej i łatwiej sedymentują, tworząc na dnie osady łatwiej poddające się filtracji. Zagregowane osady można także poddać zlewaniu cieczy z nad osadu, czyli dekantacji lub syfonowaniu.

Agregacja cząstek może opierać się na dwóch odmiennych zjawiskach zwanych koagulacją i flokulacją. Koagulacja jest procesem łączenia się pojedynczych cząstek fazy stałej w wyniku wprowadzenia do zawiesiny elektrolitów prostych, powodujących obniżenie potencjału elektrycznego wokół rozproszonych cząstek, co ułatwia ich zbliżenie na odległość oddziaływania sił van der Waalsa-Londona i wzajemne przyciąganie się. Z kolei flokulacja jest procesem łączenia się pojedynczych rozproszonych cząstek fazy stałej po wprowadzeniu do zawiesiny wielkocząsteczkowych związków organicznych adsorbujących się na powierzchni tych cząstek.

Cząstka ciała stałego znajdująca się w cieczy polarnej, jaką jest woda, posiada ładunek, a zatem i potencjał elektryczny, który może pochodzić z dysocjacji grup znajdujących się bezpośrednio na powierzchni minerału lub też z adsorpcji tzw. jonów potencjałotwórczych. Obecność ładunku na powierzchni cząstki powoduje powstanie wokół niej elektrycznej warstwy podwójnej. Elektryczna warstwa podwójna składa się z warstwy jonów zaadsorbowanych na powierzchni ziarna oraz warstwy przeciwjonów, czyli jonów o przeciwnym znaku ładunku elektrycznego. Warstwa przeciwjonów zwykle składa się z warstwy zwartej oraz rozmytej. Przeciwjony tych warstw pochodzą z roztworu wodnego.

Substancje chemiczne powodujące koagulację nazywamy koagulantami. Jako koagulanty stosuje się najczęściej roztwory $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaCl , FeCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Proces koagulacji można stosować do klarowania bardzo drobnych, czyli koloidalnych cząstek ciała stałego o rozmiarach mniejszych od około $0.1 \mu\text{m}$ i do rozcieńczonych zawiesin. Z takim przypadkiem mamy do czynienia, na przykład, w technologii uzdatniania wody komunalnej.

Flokulacja jest to proces tworzenia agregatów z cząstek fazy stałej na drodze wiązania ich za pośrednictwem zaadsorbowanych na powierzchni makrocząsteczek specjalnego związku polimerowego. Wiązania pomiędzy poszczególnymi cząstkami fazy stałej w tym procesie są silniejsze niż w przypadku koagulacji. Substancje chemiczne wywołujące flokulację nazywamy flokulantami. Jako flokulanty stosuje się związki polimerowe zarówno pochodzenia naturalnego jak i syntetyczne. Surowcami do produkcji flokulantów naturalnych są skrobia, celuloza i żelatyna. Flokulantami syntetycznymi najczęściej są wielkocząsteczkowe polimery łańcuchowe takie jak poliakrylamidy, kwasy poliakrylowe, tlenek polietylenu, alkohol poliwinylowy i ich pochodne. Związki te są muszą być rozpuszczalne w wodzie. Mają one charakter jonowy lub niejonowy. Jonowe w wodzie dysocjują tworząc zjonizowane polielektrolity (rys. 1.). Ich masa cząsteczkowa jest wysoka (ponad milion g/mol), a długość cząsteczki na tyle duża, aby polimer mógł jednocześnie ulegać sorpcji na kilku cząstkach ciała stałego, agregując je. Dobre flokulanty mają masę cząsteczkową rzędu kilku milionów. Flokulanty o masie cząsteczkowej około miliona są stosowane do procesu selektywnej sedymentacji nazwanej flokulacją selektywną. Te same związki o masie cząsteczkowej wynoszącej kilkadziesiąt tysięcy są stosowane jako dyspergant, czyli substancje działające antyagregacyjnie. Bardziej szczegółowy opis rodzajów i działania flokulantów można znaleźć w książce Drzymały (2009).

W wyniku procesu flokulacji powstają ciężkie i porowate agregaty zwane flokulami, które zaczynają być posłuszne siłom grawitacji i zaczynają opadać, a prędkość ich sedymentacji opisuje prawo Stokesa. Opadające flokuły tworzą porowate osady o dużej objętości. Flokuły te można oddzielić od wody za pomocą sit, filtracji czy dekantacji. Proces flokulacji stosuje się głównie jako wspomaganie sedymentacji grawitacyjnej, oraz rzadziej, sedymentacji odśrodkowej podczas której duża turbulencja może niszczyć nieodwracalnie flokuły.

Przylączenie polimeru do powierzchni mineralnej zachodzi dzięki typowym wiązaniom chemicznym, czyli jonowym, dyspersyjnym (van der Waalsa), kowalencyjnym, koordynacyjnym, wodorowym, hydrofobowym i ich kombinacji. Złożony i zróżnicowany mechanizm adsorpcji flokulantów na ziarnach mineralnych powoduje, że w praktyce badawczo przemysłowej nie można bez doświadczeń poprawnie dobrać flokulanta do zawiesiny, którą chce się flokulować.

wać. Badania takie są niezbędne również dlatego, że substancje mineralne ulegają aktywacji jonami metali, które mogą pochodzić zarówno z minerałów poddawanych flokulacji, jak i z wody przemysłowej (Drzymała, 2009).

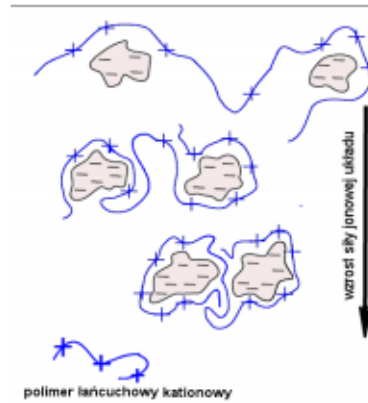
Na rys. 2. i 3. pokazano przykładowe mechanizmy działania flokulanta na rozproszone w wodzie bardzo drobne ziarna mineralne o rozmiarach mikrometrowych. Częsteczka liniowego polimeru swym łańcuchem węglowodorowym tworzy „nitki” oplatające cząstki koloidalne. Proces flokulacji trwa od kilku sekund do kilku minut. Stosując go, należy pamiętać o dawce optymalnej, gdyż nadmiar flokulanta zwiększa lepkość zawiesiny i utrudnia sedymentację.



Rys. 1. Dysocjacja flokulanta w wodzie. a) flokulanta anionowego, b) flokulanta kationowego (Nowak, 1982)

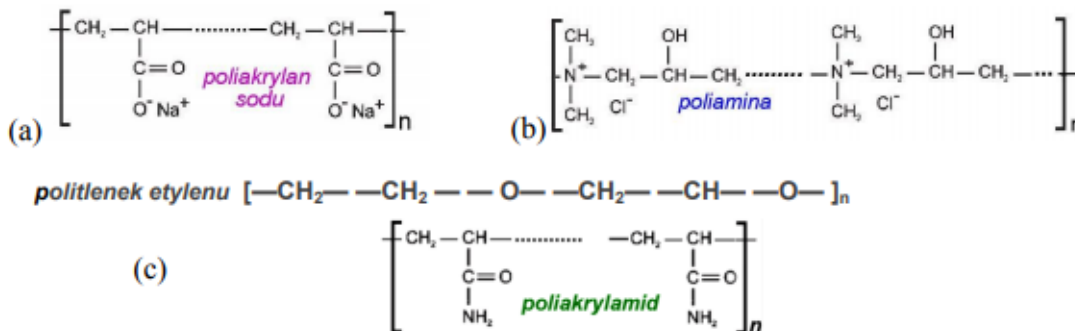


Rys. 3. Jon metalu mostkujący łańcuch polimeru anionowego z ujemnie naładowaną powierzchnią ziarna (Tarleton i Wakeman, 2007)



Rys. 2. Zjawisko flokulacji polegające na zobojętnieniu ładunku ziarna i mostkowaniu przez polimer. Kationowy polimer powoduje łączenie cząstek o ujemnym ładunku (Hughes, 2000)

Spotykane w praktyce przemysłowej zawiesiny są tak różnorodne, że konieczne jest stosowanie różnych flokulantów to jest charakterze anionowym, kationowym lub obojętnym (rys. 4.). Flokulanty anionowe są szczególnie przydatne przy klarowaniu i odwadnianiu zawiesin mineralnych w ośrodkach z odczynem zasadowym lub obojętnym. Flokulanty obojętne mają zastosowanie zarówno w przeróbce węgla, soli i rud. Flokulanty kationowe używane są przede wszystkim do klarowania zawiesin substancji organicznych. Można je też stosować do zawiesin charakteryzujących się odczynem kwaśnym, na przykład w metalurgii.



Rys.4. Przykłady flokulantów anionowego (a), flokulanta kationowego (b) i niejonowego (c)

Flokulanty znalazły szerokie zastosowanie wszędzie tam, gdzie w procesach technologicznych operujemy wodą i konieczne jest oczyszczanie wody lub roztworów z zawieszonych cząstek stałych trudno sedymentujących o rozmiarach koloidalnych, lub ogólnie tam gdzie konieczna jest separacja drobnoziarnistych cząstek mineralnych od wody.

W górnictwie, flokulacja jako proces mineralurgiczny ma zastosowanie:

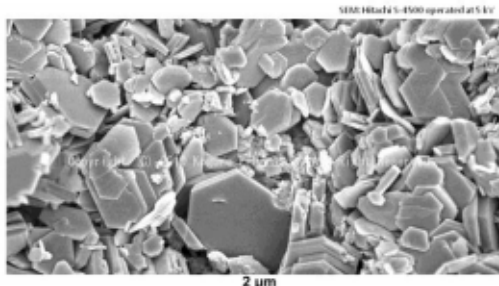
- przy oczyszczaniu zailonych wód po przeróbce wielu surowców mineralnych, na przykład po płukaniu piasków i kruszyw
- przy oczyszczaniu wód technologicznych zanieczyszczonych produktami wzbogacania w przeróbce węgla, rud miedzi, cynku i ołowiu, żelaza, siarki
- przy odwadnianiu drobnoziarnistych produktów wzbogacania; dodatek flokulanta powoduje przyspieszenie sedymentacji i konsekwencji pozwala na znaczne zmniejszenie objętości osadników, to jest urządzeń, w których ten proces jest przeprowadzany. Cechą znaną tego procesu jest to, że niewielki dodatek flokulanta np. $0,5 \text{ g/m}^3$ zawiesiny może przyspieszyć prędkość sedymentacji dziesięć- czy nawet dwudziestokrotnie. Dawkę flokulanta podaje się w g/Mg (mg/kg) suchej masy części stałych w zawiesinie
- przy odwadnianiu zawiesin surowców ilastych stanowiących finalną operację klasyfikacji i równocześnie wzbogacania tych surowców. Minerale ilaste, na przykład kaolinit tworzą w naturze kryształy o rozmiarach rzędu kilku mikrometrów, najczęściej poniżej $10 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$. Klasyfikacja hydrauliczna przy ziarnie podziałowym rzędu $10 \mu\text{m}$ gwarantuje osiągnięcie wysokiej zawartości kaolinitu w koncentratkach kaolinyowych. Zawiesina kaolinu o uziarnieniu poniżej $10 \mu\text{m}$ praktycznie nie sedymentuje, lub jej sedymentacja zachodzi bardzo powoli. Wprowadzenie do zawiesiny flokulanta znacznie przyspiesza ten proces.

Jeżeli zawiesina wodna zawiera więcej niż jeden składnik mineralny, to poprzez odpowiedni dobór flokulanta, który będzie selektywnie sorbował się tylko na jednym rodzaju ziarn, można doprowadzić do selektywnej flokulacji. Rozdział sflokulowanego składnika od pozostałości (woda + pozostałe składniki) dokonuje się przez dekantację lub syfonowanie. Flokulacja selektywna jest zatem jedną z metod wzbogacania ziarn bardzo drobnych. Flokulację selektywną także można stosować w procesach przerobczych w inżynierii mineralnej.

2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

2.1. Sedymentacja zawiesiny kaolinu w wodzie

Występujący w przyrodzie kaolin jest skałą osadową będącą produktem wietrzenia skał magmowych i metamorficznych, głównie ich podstawowego składnika – skaleni. Tworzy go szereg minerałów ilastych, kwarc i miki, a najważniejszym jest minerał kaolinit $\text{Al}_2[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$. Jest to jeden z najważniejszych surowców w przemyśle ceramicznym, papierniczym, odlewniczym, chemii gospodarczej i kosmetycznej oraz wielu innych. Naturalne uziarnienie tego minerału wynosi od 10 do $1 \mu\text{m}$, choć często zdarzają się kryształy większe i mniejsze. Na rys. 4. pokazano fotografie ziarn kaolinitu otrzymane za pomocą mikroskopu skaningowego.



Rys. 5. Fotografia obrazu z mikroskopu skaningowego naturalnych ziarn kaolinitu (Pickering 1996)

Podstawą wzbogacania surowców ilastych, w tym kaolinowych, są procesy klasyfikacji ziarnowej. W surowym materiale kaolinowym, większość ziarn $< 0,015$ mm stanowią minerały ilaste, głównie kaolinit. Klasyfikacja $< 0,010-0,015$ mm jest podstawowym procesem wzbogacania gwarantującym otrzymywanie wysokiej czystości koncentratów kaolinowych. Koncentraty kaolinowe czyli produkty finalne wzbogacania kaolinów, ze względu na skrajnie drobne uziarnienie, bardzo trudno odwadniają się, zarówno przez sedymentację jak i filtrację. Jedna i druga metoda wymaga zastosowania procesów agregujących ziarna o rozmiarach koloidalnych w większe agregaty, szybciej sedymentujące i łatwiej filtrujące się. Do tego celu stosuje się proces flokulacji. Celem ćwiczenia jest zbadanie wpływu wielkości dawki flokulanta na prędkość sedymentacji wodnej zawiesiny kaolinu.

Materialy:

- pięć naważek po 10 g suchego pylistego kaolinu,
- woda destylowana,
- roztwór 1 molowy kwasu siarkowego (1 mol/dm^3),
- roztwór flokulanta o stężeniu 50 mg/dm^3 ,
- pięć szklanych cylindrów miarowych o pojemności $0,250 \text{ dm}^3$,
- stoper do pomiaru czasu sedymentacji.

Metodyka

Odważyć 5 porcji po 10 g kaolinu i wsypać każdą do jednego z pięciu cylindrów miarowych o pojemności 250 cm^3 . Cylindry należy ponumerować, a następnie do każdego z nich nalać tyle wody, aby objętość końcowa zawiesiny w poszczególnych cylindrach wynosiła, zgodnie z numerami cylindrów, kolejno:

- 1. 250 cm^3
- 2. 249 cm^3
- 3. 247 cm^3
- 4. 244 cm^3
- 5. 240 cm^3 .

Przy sporządzaniu zawiesiny kaolinu w cylindrze, wodę dodawać stopniowo i ostrożnie małymi porcjami, a każdą porcję dokładnie wymieszać. Wymienione objętości, w zależności od aktualnie stosowanego w eksperymentach flokulanta, mogą być zmienione przez prowadzącego zajęcia.

Wykonanie pomiarów

Zatykając dłonią, górną, otwartą część cylindra, dokładnie 10-krotnie wstrząsnąć zawieszoną w każdym cylindrze, tak aby całkowicie zwilżyć kaolin i by powstała jednorodna zawiesina. Jeżeli laboratorium dysponuje odpowiednim sprzętem, należy zastosować odpowiednie mieszadło mechaniczne i zawiesinę we wszystkich cylindrach mieszać w jednakowym czasie i przy stałych jednakowych obrotach mieszadła.

Należy wykonać 5 niezależnych doświadczeń rozpoczynających się dodaniem do poszczególnych cylindrów, odmierzonych pipetą 1 mol roztworu kwasu siarkowego o objętości 1 cm^3 i dokładnym wymieszaniem zawiesiny, podobnie jak przy zwilżaniu po wlewniu wody do cylindrów. Lekkie zakwaszenie, często stosowane w praktyce przemysłowej, poprawia właściwości reologiczne zawiesiny kaolinu. Dodatek kwasu jest na tyle mały, że zawiesina nie stwarza zagrożenia chemicznego dla wykonujących doświadczenie. Do każdego z cylindrów dodać ko-

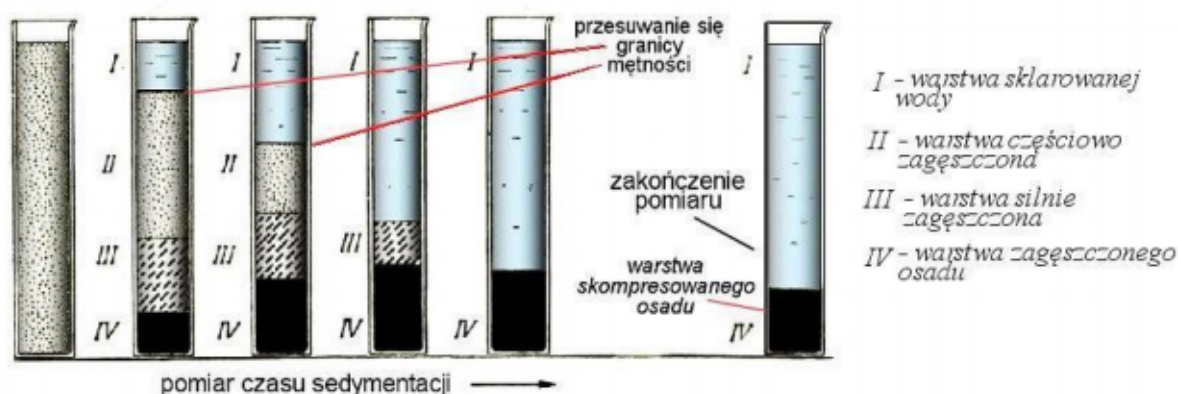
lejno odmierzone pipetą objętości przygotowanego roztworu flokulanta, zgodnie z numerami cylindrów:

1. 0 cm^3 (do pierwszego cylindra nie dodajemy roztworu flokulanta),
2. 1 cm^3 ,
3. 3 cm^3 ,
4. 6 cm^3 ,
5. 10 cm^3 .

Wymienione objętości mogą być zmodyfikowane przez prowadzącego zajęcia.

Po dodaniu odpowiedniej objętości roztworu flokulanta, zawiesinę w każdym cylindrze delikatnie wymieszać przez trzykrotne, spokojne odwracanie każdego szczelnie przykrytego dłonią cylindra do góry dnem. Należy zwrócić uwagę na to, by sposób odwracania do góry dnem każdego cylindra był możliwie identyczny. Ważna jest tu prędkość wykonywanej operacji. Zatem najlepiej jak wykona ją w sposób identyczny ta sama osoba. Po trzykrotnym odwróceniu do góry dnem każdy cylinder postawić na stole i obserwować przesuwanie się tak zwanej granicy mętności. Określić prędkość rozdziału faz obserwując przesuwanie się granicy mętności, mierząc stoperem czas przekraczania granicy mętności kolejnych działek cylindra. Na koniec, przyjmując jednakowy dla wszystkich 5 doświadczeń czas zakończenia pomiarów, zanotować objętość utworzonego osadu. Czas zakończenia pomiarów należy przyjąć 30 minut (zwykle odpowiadający najwolniej przebiegającej sedymentacji w cylindrze bez flokulanta).

Na rys. 6. pokazano charakterystyczne cechy pomiaru przebiegu sedymentacji zawiesiny w cylindrze szklanym.



Rys. 6. Przebieg pomiaru prędkości sedymentacji zawiesiny

Opracowanie wyników

Wyniki przedstawić w postaci tabelarycznej i wykresów zależności:

- kinetyki procesu, czyli zależności wysokości słupa sklarowanej wody od czasu dla zastosowanych poszczególnych stężeń flokulanta. Należy wyliczyć rzeczywiste stężenie flokulanta zastosowane w każdym cylindrze (w g/Mg części stałych),
- czasu separacji faz jako funkcji rzeczywistego stężenia flokulanta,
- objętość sflokulowanego osadu jako funkcji rzeczywistego stężenia flokulanta.

W sprawozdaniu, oprócz krótkiego opisu teoretycznego (2-3 zdania) i opisu doświadczenia, należy przedstawić wyniki pomiarów i ich omówienie. Stosować się do wzorów ogólnie przyjętych przy pisaniu sprawozdań.

2.2. Oczyszczanie zawiesiny wodnej zawierającej drobne ziarna węgla

W trakcie różnych mokrych operacji przerobczych węgla kamiennego, jako kopaliny względnie miękkiej, łatwo rozdrabniającej się i łatwo ścierającej się, powstają duże ilości drobnych ziarn, które w postaci zawiesiny krążą w obiegach technologicznych, nasycając je, i z których woda technologiczna po skończonych procesach musi być oczyszczona. Jedną z podstawowych metod oczyszczania wód technologicznych jest klarowanie (sedymentacja) w różnego rodzaju osadnikach. Celem ćwiczenia jest oczyszczenie zawiesiny wodnej zawierającej drobne ziarna węgla za pomocą naturalnego flokulanta jakim jest skrobia, której roztwór wodny nazywany jest krochmalem.

Materiały i metodyka

Odważyć 6 porcji, po 20 gramów, drobno zmielonego wysokopopiołowego węgla kamiennego i wsypać go do sześciu cylindrów miarowych o pojemności 250 cm^3 . Cylindry ponumerować, a następnie do każdego z nich nalać tyle wody, aby objętość końcowa zawiesiny w poszczególnych cylindrach wynosiła, zgodnie z numerami cylindrów, kolejno:

- 1. 250 cm^3 ,
- 2. 245 cm^3 ,
- 3. 240 cm^3 ,
- 4. 230 cm^3 ,
- 5. 210 cm^3 .

Zatykając dłonią górną otwartą część cylindra, wstrząsnąć kilkakrotnie zawiesiną w każdym cylindrze i zwrócić uwagę na to, aby węgiel uległ całkowitemu zwilżeniu. Wykonać 5 niezależnych doświadczeń rozpoczynających się dodaniem do poszczególnych cylindrów wodnego roztworu skrobi ziemniaczanej o stężeniu podanym przez prowadzącego ćwiczenie, w ilości, dla kolejnych doświadczeń, zgodnie z numerami cylindrów:

- 1. 0 cm^3 (do pierwszego cylindra niczego nie dodajemy),
- 2. 5 cm^3 ,
- 3. 10 cm^3 ,
- 4. 20 cm^3 ,
- 5. 40 cm^3 .

Po dodaniu skrobi, zawiesinę w każdym cylindrze delikatnie wymieszać przez trzykrotne spokojne odwracanie każdego szczelnie przykrytego dłonią cylindra do góry dnem. Zwróć uwagę na to, by sposób odwracania do góry dnem każdego cylindra był możliwie identyczny. Ważna jest tu prędkość wykonywanej operacji, zatem najlepiej jak wykona ją w sposób identyczny ta sama osoba. Po trzykrotnym odwróceniu do góry dnem każdy cylinder postawić na stole i obserwować zachodzące zjawiska. Zmierzyć prędkość rozdziału faz obserwując przesuwanie się tak zwanej granicy mętności, mierząc stoperem czas przekraczania kolejnych działek cylindra przez granicę mętności. Na koniec, przyjmując jakiś jednakowy dla wszystkich doświadczeń czas zakończenia pomiarów, zanotować objętość utworzonego osadu.

Wyniki przedstawić w postaci tabelarycznej i wykresów przedstawiających zależności:

1. kinetyki procesu, to jest zależności wysokości słupa sklarowanej wody od czasu, dla zastosowanych poszczególnych stężeń flokulanta,
2. czasu separacji faz jako funkcji stężenia flokulanta, w g/m^3 i w g/Mg suchej masy węgla
3. objętość sflokulowanego osadu jako funkcji stężenia flokulanta.

W sprawozdaniu, oprócz krótkiego opisu teoretycznego (2-3 zdania) i opisu doświadczenia, należy przedstawić wyniki pomiarów i ich omówienie. Stosować się do wzorów ogólnie przyjętych przy pisaniu sprawozdań.

2.3. Selektywna flokulacja węgla z mieszaniny z krzemionką

Procesy flokulacji mogą być także stosowane jako procesy rozdziału minerałów. Proces taki określany jest jako selektywna flokulacja. W procesie tym łączenie indywidualnych ziarn ze sobą dokonuje się poprzez polijony lub policząsteczki flokulanta, który swoimi segmentami adsorbuje się na różnych ziarnach. Adsorpcja flokulanta jest bardziej uzależniona od właściwości powierzchniowych minerału, a mniej od rozmiarów jego ziarn. Zatem efektywność flokulacji zależy od selektywności adsorpcji (Laskowski i Łuszczkiewicz, 1989). Celem ćwiczenia jest rozdział węgla od krzemionki za pomocą selektywnej flokulacji z użyciem skrobi.

Materiały i metodyka

- 5 cylindrów miarowych o pojemności 250 cm³
- 5 porcji drobnoziarnistego węgla wysokopopiołowego po 25 g,
- 5 porcji drobno zmielonej krzemionki SiO₂ po 8 g,
- roztwór skrobi o określonym stężeniu przygotowany przez prowadzącego ćwiczenie.

Odważyć 5 porcji po 25 g węgla i 8 g krzemionki SiO₂. Obydwa składniki wsypać do cylindra miarowego o pojemności 250 cm³ i dodać wody do objętości 240 cm³. Całość mieszać przez wytrząsanie przez 1 minutę. Zwróć uwagę, aby węgiel uległ całkowitemu zwilżeniu. Przygotować 5 podobnych zawiesin. Do pierwszej z nich dodać 5 cm³ roztworu skrobi. Po dodaniu skrobi wytrząsać zawartość cylindra przez 1 minutę, a potem pozostawić całość w spokoju przez 2 minuty. Po sedymentacji osadu zdekantować roztwór nad osadu. Powtórzyć doświadczenia w pozostałych cylindrach dodając odpowiednio 10, 20, 50 cm³ roztworu skrobi. W piątym cylindrze wykonać ślepą próbę bez dodatku skrobi. Otrzymany koncentrat (sflokulowany i zsedymetowany materiał) i odpad (w postaci zawiesiny) wysuszyć i poddać analizie polegającej na oznaczeniu wagowym produktów lub dodatkowo, w zależności od efektu wizualnego produktów, do oznaczenia zawartości popiołu w obu produktach. Na podstawie odpowiednich bilansów ocenić proces.

Na podstawie wyników analiz składu koncentratów i odpadów sporządzić bilans wzbogacania oraz przedstawić wyniki pomiarów w postaci wykresów krzywych wzbogacania oraz uzysku węgla i uzysku SiO₂ w koncentracie od stężenia skrobi. Sprawozdanie proszę napisać według obowiązującego wzoru.

Literatura

- Drzymała J., *Podstawy Mineralurgii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2009
- Hughes M. A., 2000, *Coagulation and flocculation Part I*. [in:] L. Svarowsky (Editor), *Solid-Liquid Separation: 4th edition*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 104-129
- Laskowski J., Łuszczkiewicz A., 1989, *Przeróbka kopaliny. Wzbogacanie surowców mineralnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
- Nowak, Z., 1982, *Gospodarka wodno-mulowa w zakładach przeróbki mechanicznej węgla*. Wyd. Śląsk, Katowice
- Pickering S.M. et al., 1994. *Kaolin*, [in:] *Industrial Minerals and Rocks*, 6th ed., D.D. Carr (Ed.), SMME, Littleton, Colorado
- Tarleton E. S., Wakeman R. J., 2007, *Solid/Liquid Separation: Equipment Selection and Process Design*. Elsevier Ltd. Butterworth-Heinemann, Oxford