

Mgr inż. RENAT BORTEL
Instytut Metali Nieżelaznych
w Gliwicach

WPŁYW SKŁADNIKÓW PŁONNYCH,
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM MINERAŁÓW ILASTYCH,
NA FLOTACJĘ MINERAŁÓW SIARCZKOWYCH

1. PRZEGLĄD LITERATURY

Powszechne występowanie minerałów ilastych w krajowych rudach metali nieżelaznych, w szczególności zaś w dolnośląskich łupkach i wapieniach miedzionośnych, nakazywało szerzej rozpoznać oddziaływanie tych minerałów na proces flotacji. Obecność minerałów ilastych w mętach flotacyjnych uznawana jest ogólnie za niekorzystną. Minerały te tworzą najczęściej tzw. muły pierwotne, uważane za szczególnie szkodliwe. Szkodliwość ich działania przypisywana jest następującymi czynnikami:

- zdolności pochłaniania odczynników flotacyjnych na skutek ich znacznie rozwiniętej powierzchni właściwej,
- blokowaniu powierzchni pęcherzyków powietrznych,
- tworzeniu tzw. pokryć mułowych na powierzchni ziarn minerałów użytecznych,
- większej zdolności rozpuszczania się w wodzie,
- podwyższonej lepkości mętów,
- większej trwałości piany itp.

Zróżnicowanie oddziaływania poszczególnych czynników zależy od indywidualnych warunków procesu flotacji, tym niemniej jednak trzy pierwsze uznawane są jako podstawowe. Ujemnym skutkiem tego działania jest obniżenie uzysku metalu, pogorszenie jakości koncentratu oraz zmniejszenie szybkości flotacji.

W literaturze fachowej zagadnienie wpływu minerałów ilastych na proces flotacji nie jest traktowane odrębnie lecz pod-

porządkowane problematyce bardziej ogólnej, tj. oddziaływaniu mułów na proces flotacji. Pojęcie mułów jest jednak najczęściej niezdefiniowane, jest ono wyrazem wielkości ziarn i to bardzo małych wielkości, a nie składu mineralnego. Nieścisły jest również często stosowany podział mułów na pierwotne i wtórne. Wg tego podziału minerały ilaste wchodzi najczęściej w skład mułów pierwotnych.

Rozwinięta powierzchnia właściwa mułów, w szczególności ilastych, sugeruje ich dużą zdolność do pochłaniania odczynników flotacyjnych. Zdolność ta podkreślana jest często w monografiach dotyczących flotacji (1 - str. 203-206; 2 - str. 540-548; 3 - str. 357) i uznawana jest za jedną z głównych przyczyn ujemnego oddziaływania mułów na proces flotacji.

W ogólnych swych stwierdzeniach autorzy nie precyzują jednak ani rodzaju odczynników, ani też rodzaju mułów. Można zatem sądzić, iż dotyczą one większości mułów i odczynników. Przypadki tylko są prace z zakresu sorpcji ksantogenianów na minerałach płonnych. Najczęściej spotyka się ogólne tylko stwierdzenia, że ksantogeniany nie powodują flotacji składników płonnych. Sutherland i Work [3], str. 97, podają np., że kwarc i krzemiany nie flotują przy użyciu ksantogenianów nawet w obecności metali ciężkich. Nie oznacza to jednak braku adsorpcji ksantogenianów na minerałach krzemianowych.

W pracy Jokojamy i Kojanaki [4] wykazano jednak, że kwarc flotuje przy zastosowaniu ksantogenianów, lecz w środowisku silnie alkalicznym, powyżej pH 11. Stwierdzono równocześnie, że ksantogenian wywołuje peptyzację zarówno minerałów siarczowych (chalkopirytu) jak i kwarcu. Istnieje zatem współdziałanie między ksantogenianem a kwarcem.

Klassen i Mokrousov [2], str. 547, przytaczają jako dowód znacznego pochłaniania ksantogenianu przez muły bardzo duże zapotrzebowanie tego odczynnika dla wywołania flotacji, np. galeny w obecności mułów granitowych. Nie może to jednak być dowodem dużej zdolności sorpcyjnej granitu wobec ksantogenianu.

Drugim ujemnym czynnikiem występującym w przypadku obecności mułów w mętach flotacyjnych jest blokada pęcherzyków powietrznych, związana z ich hydrofobowością i uziarnieniem. W szczególności ma ona miejsce w przypadku występowania w rudach składników organicznych. Przykładem mogą być dolnośląskie i mansfeldzkie kępki miedzionośne [5, 6]. Bituminy, a ściślej minerały ilaste przepojone bituminami, wykazują doskonałą hydrofobowość i łatwo przyczepiają się do pęcherzyków powietrznych. Klassen i Mokrousov [2] tłumaczą między innymi mechanizm blokady pęcherzyków powietrznych przez muły, wtórną ich hydrofobowością, w wyniku adsorpcji odczynników zbierających i pianotwórczych.

Klassen i Tichonow [7] rozpatrują od strony mechanicznej problem przejścia mułów do produktu pianowego. W tym przypadku wynoszenie drobnych cząstek mułów do produktu pianowego jest wynikiem ich małej szybkości opadania w wodzie. Odczynniki pianotwórcze zwiększają wyniesienie mułów wraz z wodą, powlekającą pęcherzyki powietrza.

Również Jemieljanow [8] stwierdza, że zanieczyszczenie produktu pianowego drobnodyspersyjną skałą płoną ma miejsce głównie na skutek jej wyniesienia w błonkach piany.

Zagadnienie blokady pęcherzyków powietrznych i zanieczyszczenia produktu pianowego przez muły było również tematem szeregu prac wcześniejszych [2, 9].

Tematem licznych opracowań jest zagadnienie tworzenia pokryć mułowych na minerałach użytecznych. Pierwsze obszernie badania z tego zakresu przedstawili już w roku 1930 Taggart, Taylor i Ince [10]. Stwierdzili oni, że muły mogą depresować minerały użyteczne poprzez tworzenie na ich powierzchni szlamowych pokryć.

Równocześnie Ince [11] wykazał na przykładzie galeny, że ilość mułów w powłokach może być regulowana środkami despergującymi. Wysunął on hipotezę elektrostatyczną, zakładając, że pokrycia mułowe powstają w wyniku przyciągania między ładunkami przeciwnych znaków znajdujących się na cząsteczkach minerału użytecznego i mułu.

W roku 1936 del Giudice [12] podał chemiczną hipotezę tłumaczącą mechanizm tworzenia się pokryć mułowych. Wg tej teorii szlamowe pokrycie, np. kalcytowe na galenie, należy tłumaczyć reakcją wymiany między jonami ołowiu w siatce galeny a przyczepionymi jonami węgla z kalcytu. Chemiczna teoria del Giudice nie znalazła jednak potwierdzenia w pracach późniejszych. Wark [13] przytacza szereg przykładów, które przeczą hipotezie chemicznego mechanizmu tworzenia się pokryć mułowych.

Prace Suna [14] potwierdzają hipotezę elektrostatycznego tworzenia się pokryć mułowych. Na podstawie pomiarów potencjałów elektrokinetycznych zawieszin mineralnych wykazano, że tworzenie się pokryć mułowych uzależnione jest od znaku i wielkości ładunku ziarn minerałów użytecznych i mułów. Uważa on, że dyspersja zajdzie wtedy, gdy potencjał dzeta cząsteczek przekroczy 40 mV. Wg Suna pokryć szlamowych można oczekiwać zatem wtedy, gdy cząsteczki posiadają ładunki znaku przeciwnego wzgl. małe ładunki tego samego znaku lub gdy jeden rodzaj ziarn posiada duże ładunki, a drugi rodzaj - ładunki małe.

Hipoteza Suna nawiązuje jakby do wcześniejszych już stwierdzeń z dziedziny koagulacji koloidów w zakresie potencjału krytycznego. Dla wielu zoli potencjał ten wynosi poniżej 30 mV [15].

Dalsze pozycje literaturowe [16] stanowią najczęściej potwierdzenie stwierdzeń Suna, względnie ich rozwinięcie.

Badania Jowetta, El-Sinbawy i Smitha [17] dotyczą wpływu łupków względnie ilów na flotację węgla. Z pomiarów ich wynika, że zarówno węgiel jak i łupek posiadają ujemne wartości potencjałów dzeta, odpowiednio - 30,6 i - 24,8 mV. Mimo to dochodzi do koagulacji ilów łupkowych na węglu. Przy tłumaczeniu powyższego faktu autorzy posługują się hipotezą von Olphena, że montmorylonit o ładunku ujemnym na swych powierzchniach, posiada na krawędziach dzięki obecności atomów glinu, ładunek dodatni. Pozwala to wg tezy Jowetta i współpracowników przyczepić się ziarnom łupków do ziarn węgla. Dużym uproszczeniem niniejszego zagadnienia jest jednak potraktowanie wieloskładnikowych łupków na równi z montmorylonitem. Istotnym stwier-

dzeniem cytowanej pracy jest fakt, że zastosowany peptyzator Na_2HPO_4 spowodował wzrost ujemnego potencjału dzeta węgla i łupku do ok. - 50 mV. Równocześnie zaś wystąpiła dobra flotowalność węgla.

Weiss i Russow [18] badając ujemne ładunki na płaszczyznach ziarn ilastych wykazali, że pochodzą one od sieci $[\text{SiO}_4]^{4-}$.

Gaudin, Fuerstenau i Miaw [19] użyli do badań sześć rodzajów mułłów: trzy o ładunku ujemnym (kaolin, gips i MnO_2) oraz trzy o ładunku dodatnim (Fe_2O_3 , Al_2O_3 i CaF_2). Wpływ ich badano wobec galeny. Stwierdzono, że ujemnie naładowane muły nie oddziałują na flotację galeny, podczas gdy muły dodatnio naładowane wykazują wyraźnie depresujący wpływ.

Prace Dierjagina i współpracowników dotyczą zagadnień koagulacji bardzo drobnych ziarn. W zakresie heterokoagulacji bardzo istotne jest stwierdzenie Dierjagina i Lewicza [20, 21] oparte o dowody matematyczne, że maksymalna wartość sił odpychania zależy tylko od potencjału powierzchni naładowanej słabiej. W dalszych pracach Dierjagin, Samygin i Liwszic [22] posługując się modelem matematycznym wykazują, że szybkość przyłgnięcia małych ziarn do ziarn dużych jest 400-500 razy większa niż szybkość przyłgnięcia ziarn małych między sobą.

Abramow [23] wykazuje, że szkodliwość działania mułłów, w szczególności ilastych, polega nie tylko na ich dużej zdolności sorpcyjnej wobec zbieraczy kationowych (amin), ale również na tworzeniu pokryć mułowych na minerałach użytecznych jak smitsonit czy ceruzyt. Udowadnia on, że intensywność tworzenia się tych pokryć zależy zarówno od znaku i wielkości ładunków znajdujących się na mułach i minerałach użytecznych, jak i od hydrofobowości powierzchni. Wysoki stopień hydrofobowości powierzchni minerałów użytecznych i mułowych sprzyja tworzeniu się pokryć szlamistych. Szczegółowe wyniki Abramowa potwierdzają w tym względzie wcześniej już wyrażone hipotezy Bankoffa [24] a także Suna [14].

Zagadnienie wpływu mułłów na proces flotacji było również tematem kilku dalszych prac jak Kowaczewa i Aleksowa [25], którzy badali wpływ mułłów na flotację częściowo utlenionych

rud miedzi oraz Niedogoworowa [26], który analizował przyczyny depresującego działania mułów na flotację ilmenitu.

Na uwagę zasługuje jeszcze praca Chadźijewa [27] rozpatrująca wpływ na flotację siarczków niektórych osadów (koloidów) powstających w wyniku reakcji odczynników flotacyjnych między sobą, względnie z jonami pochodzenia rudnego. Stwierdzono, że powstające osady przyczepiają się do powierzchni minerałów użytecznych, nie pozostając bez wpływu na ich flotację. Mechanizm przyczepiania się tych osadów zgodny jest wg Chadźijewa z zasadami teorii heterokoagulacji Dierjagina [21, 22] i hipotezą Suna [14].

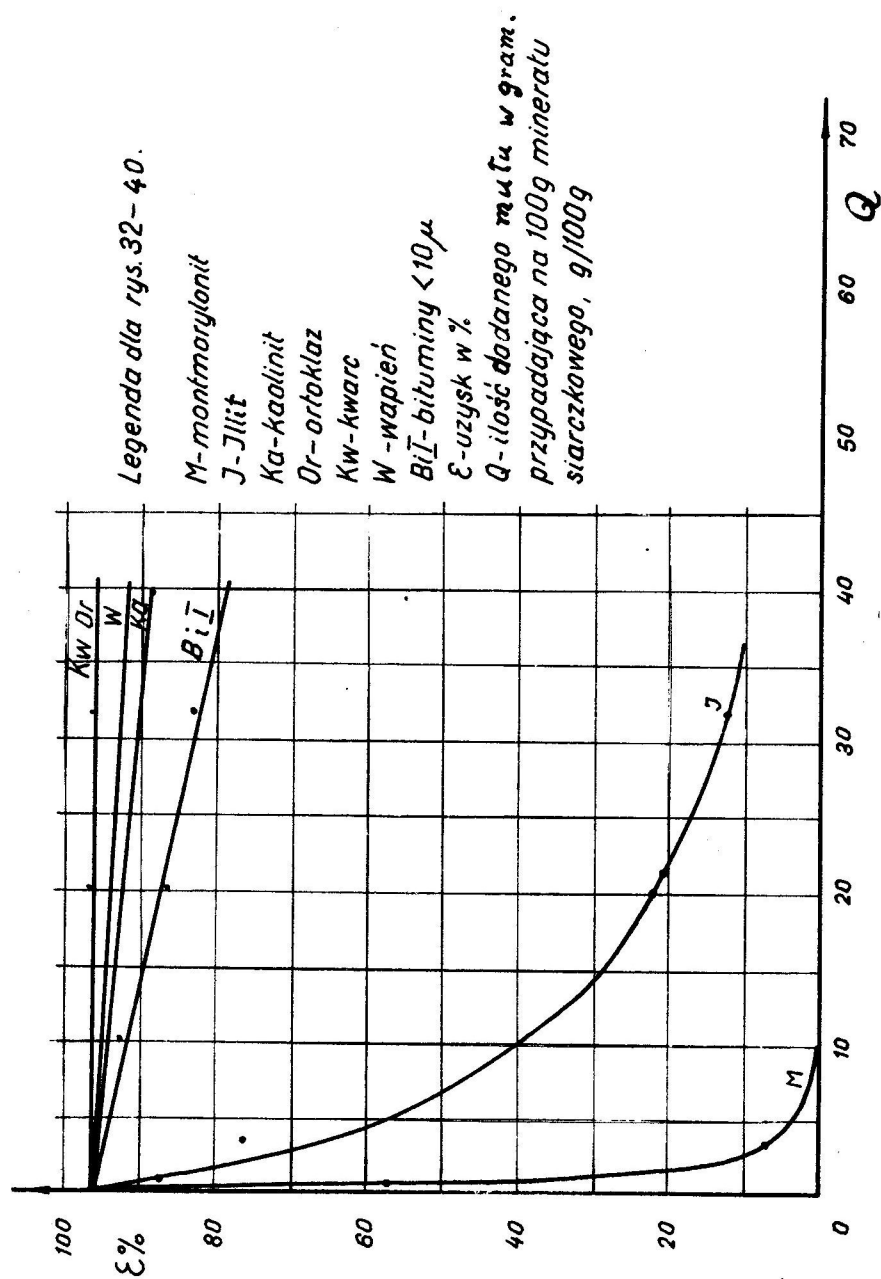
2. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

2.1. Próby flotacji siarczków w obecności składników płonnych

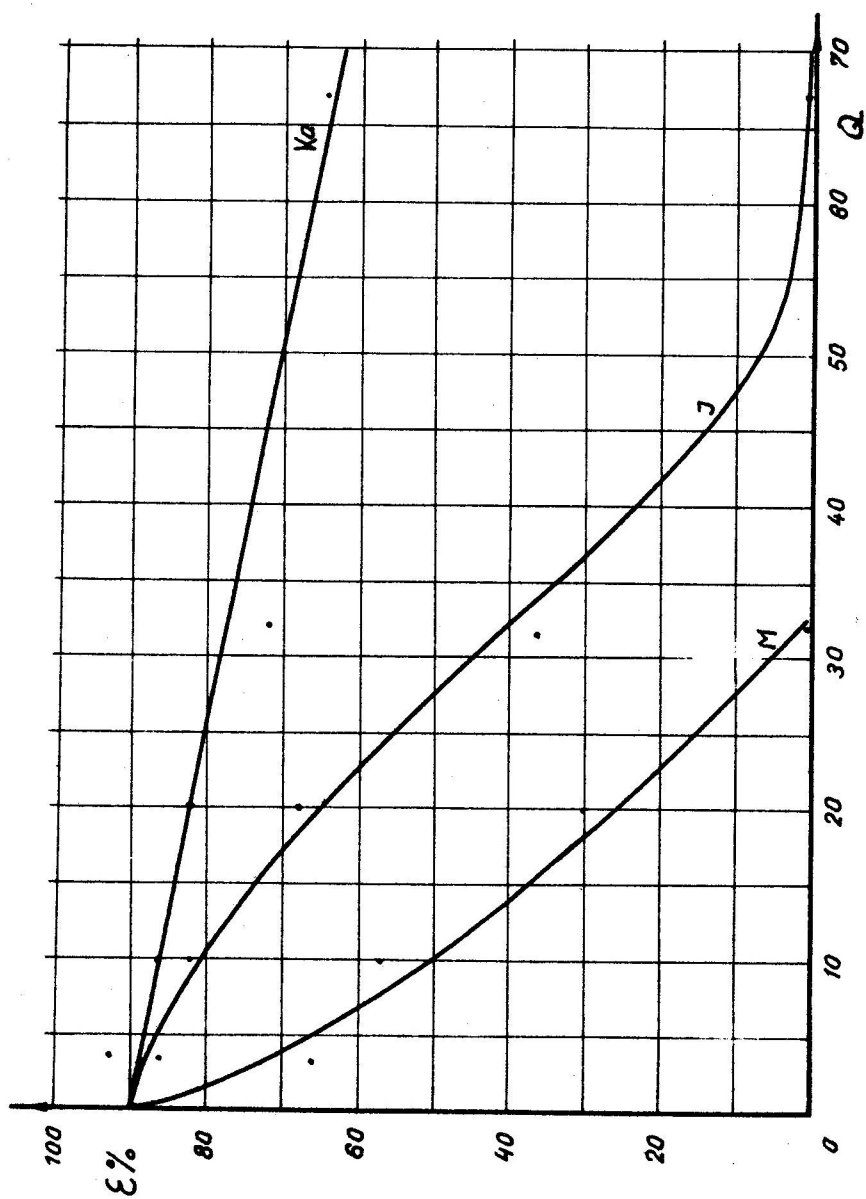
Spośród minerałów ilastych użyto do badań trzech głównych przedstawicieli tego typu minerałów, tj. montmorylonitu, illitu i kaolinitu. Są to glinokrzemiany o strukturach warstwowo-pakietowych. W celach porównawczych uzupełniono minerały te krzemianami o strukturach przestrzennych jak kwarc i ortoklaz oraz innymi płonnymi składnikami rud, jak wapień i bituminy.

Wpływ tych minerałów starano się zbadać wobec takich minerałów siarczkowych jak chalkozyn, galena, blenda cynkowa i markazyt. Dodatkowo badano również siarkę rodzimą. Do badań użyto chalkozynu naturalnego i sztucznego [28]. Wyżej wymienione minerały są w większości przypadków podstawowymi składnikami krajowych rud.

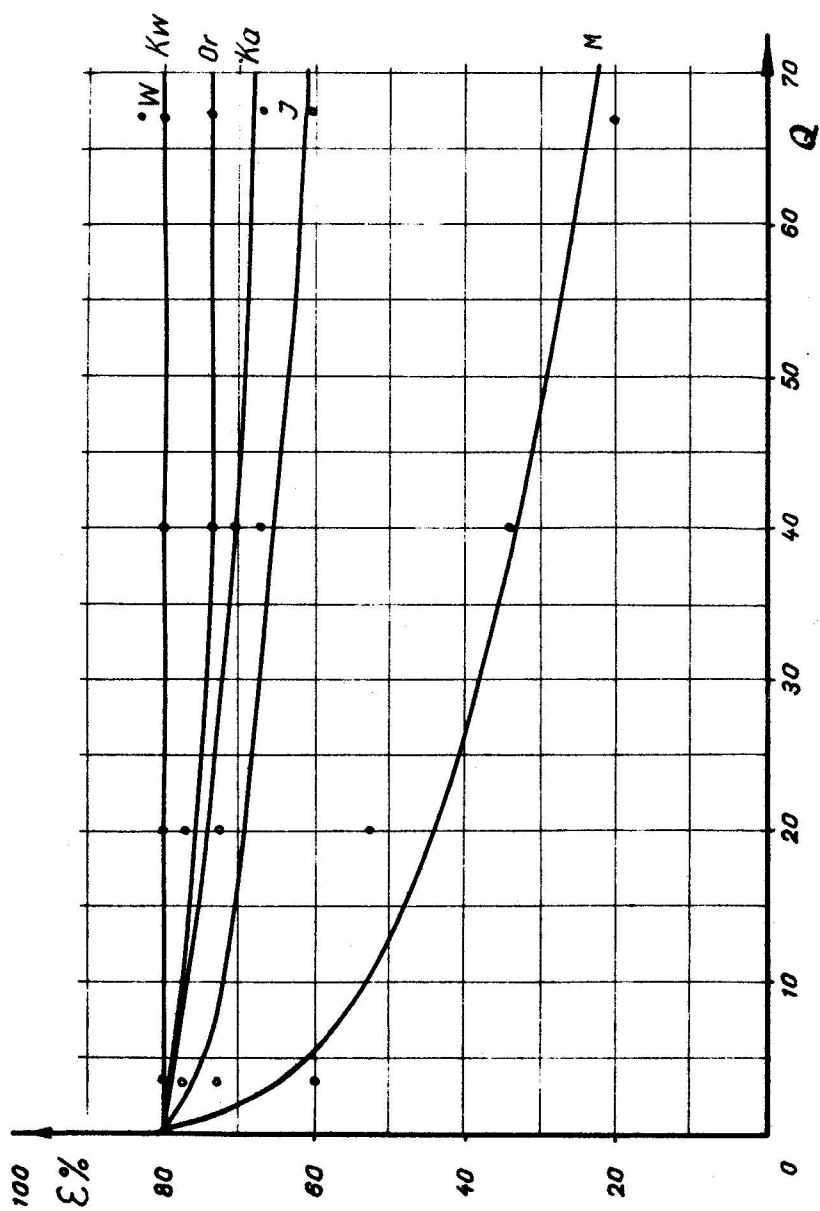
W bezpośrednich próbach flotacji wykazano, że wpływ minerałów ilastych na flotowalność siarczków jest wyraźnie zróżnicowany (rys. 1-5). Zróżnicowanie to dotyczy zarówno poszczególnych ilów jak i minerałów siarczkowych. Ujemny wpływ wywierają montmorylonit i illit, głównie w odniesieniu do chalkozynu, następnie markazytu i częściowo także galeny. Kaolinit natomiast nie oddziałuje ujemnie na flotację siarczków. Również pozostałe minerały płonne nie ograniczały tej flotacji. Wyraźnie



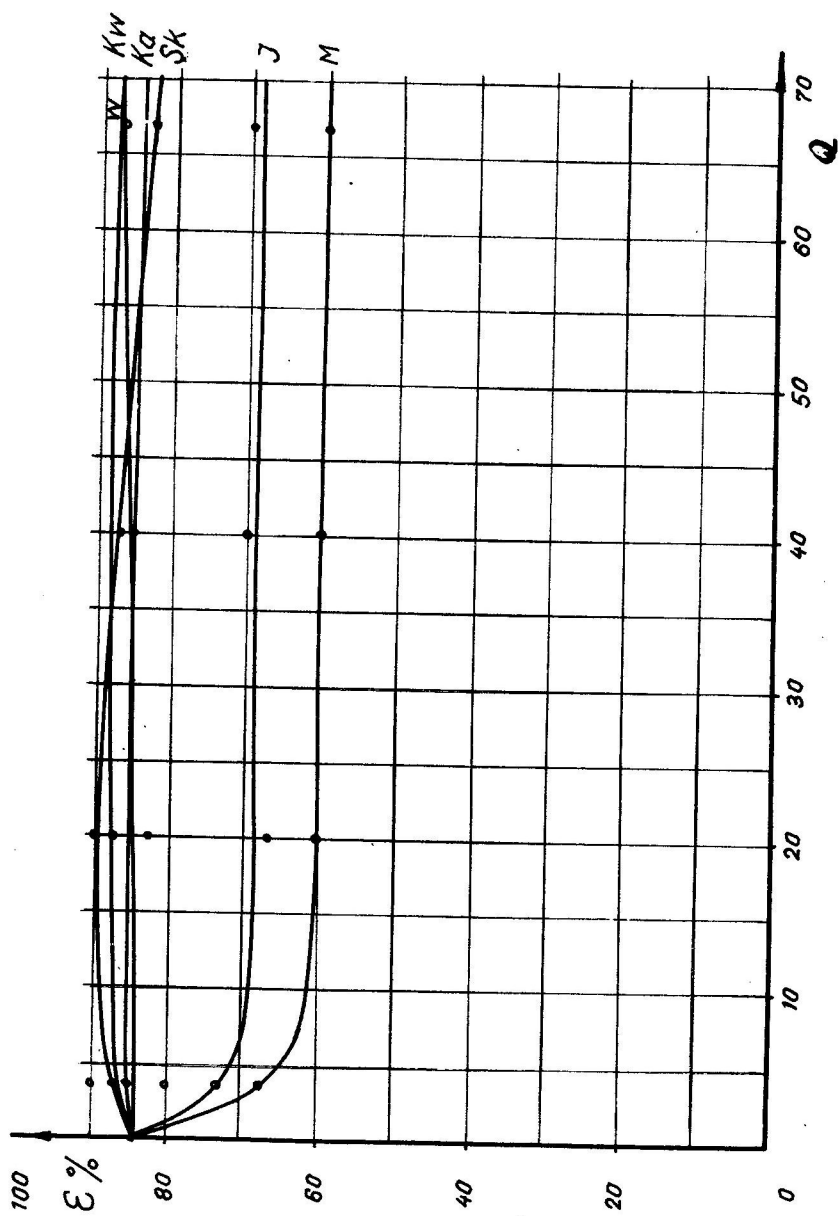
Rys. 1. Wpływ składników płonnych na flotację chalcocynem sztucznego



Rys. 2. Wpływ składników płonnych na flotację obalkozynu naturalnego (zanieczyszczony boronitem)

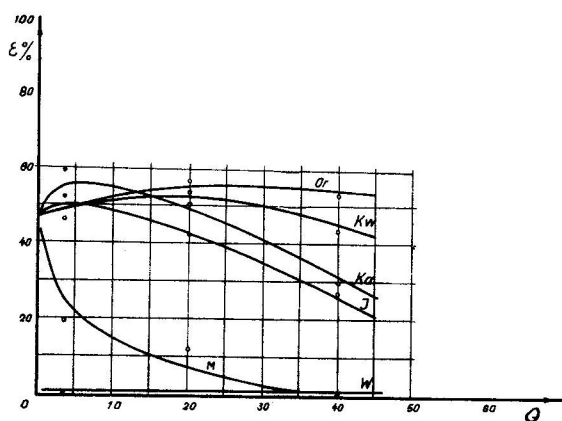


Rys. 3. Wpływ składników płonnych na flotację galeny



Rys. 4. Wpływ składników piónnych na flotację blendy cynkowej

ujemny wpływ drobnoziarnistych bituminów wystąpił dopiero przy ich większym udziale w mętach flotacyjnych (rys. 6 i 7). W tym przypadku pęcherzyki powietrzne były zablokowane przez bituminy, stając się trudnodostępne dla ziarn chalkozynu. W przypadku kwarcu, ortoklazu, wapienia oraz kaolinitu mechaniczne wynoszenie przez wodę ziarn tych minerałów do koncentratu nie przeszkodziło równoczesnej flotacji chalkozynu. W największym stopniu przechodził do produktu pianowego wapień, co może świadczyć między innymi o jego największej hydrofilności i hydratacji.

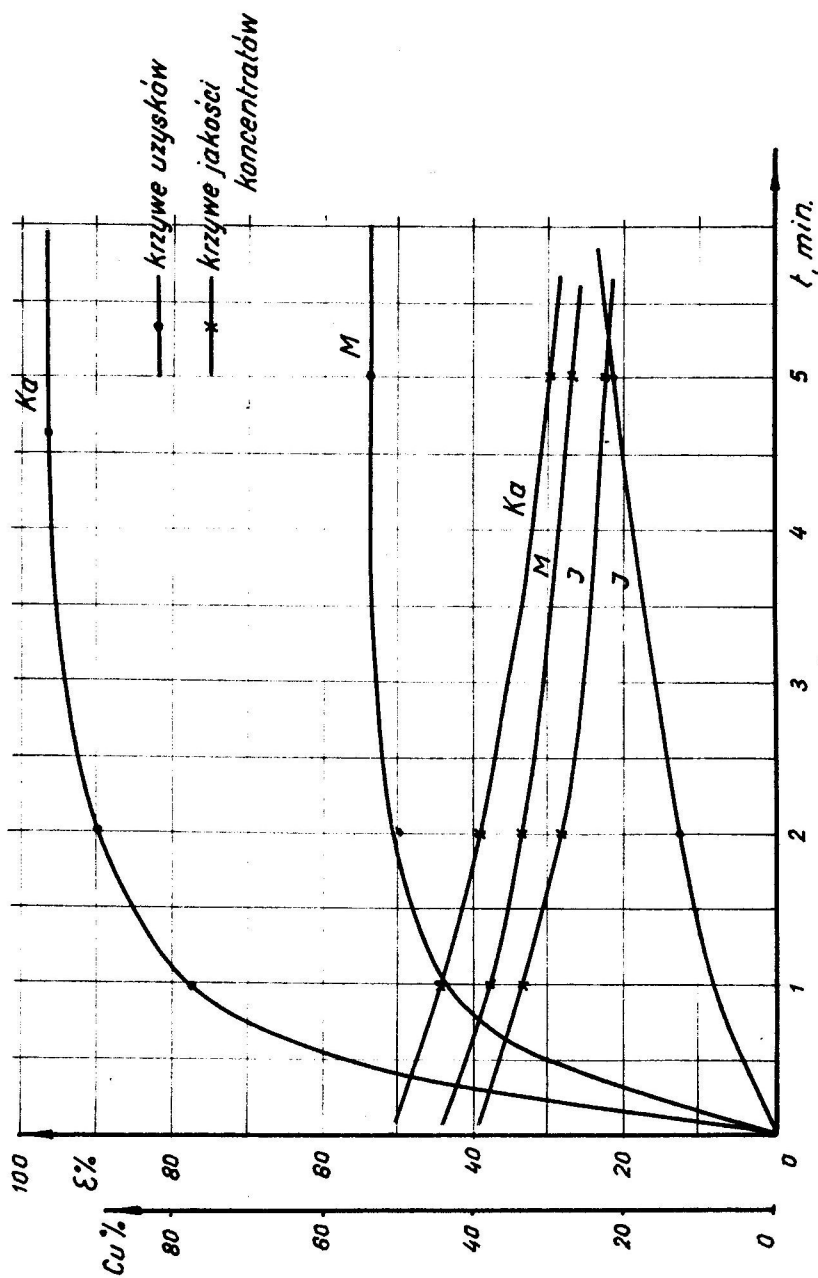


Rys. 5. Wpływ składników płonnych na flotację markazytu

2.2. Pomiary adsorpcji ksantogenianu na siarczках i składnikach płonnych

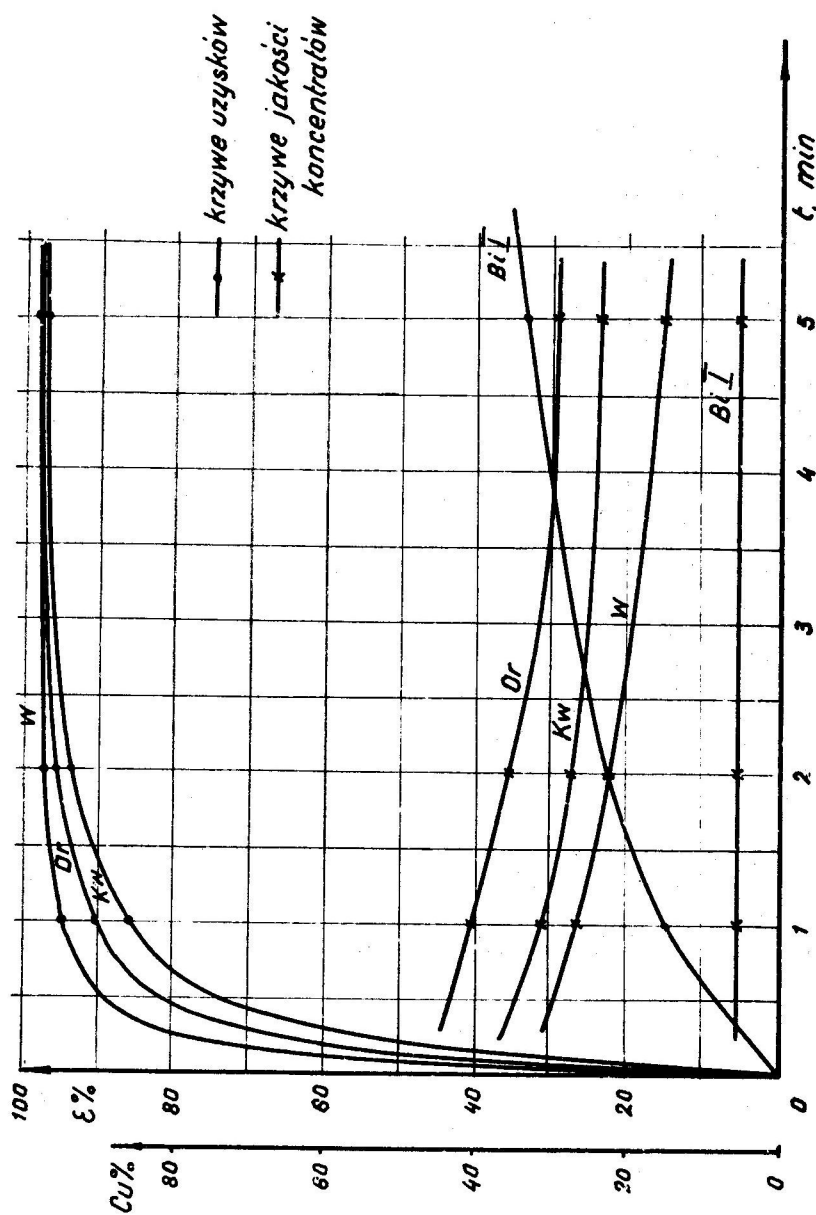
Wyraźnie ujemny wpływ mantmorylonitu, illitu i bituminów na flotację chalkozynu, a częściowo także na flotację pozostałych minerałów siarczkowych mógł być spowodowany:

- adsorpcją zbieracza, tj. ksantogenionu na minerałach ilastych lub też
- tworzeniem się na siarczках powłok mułowych, utrudniających przylgnięcie siarczków do pęcherzyków powietrznych.

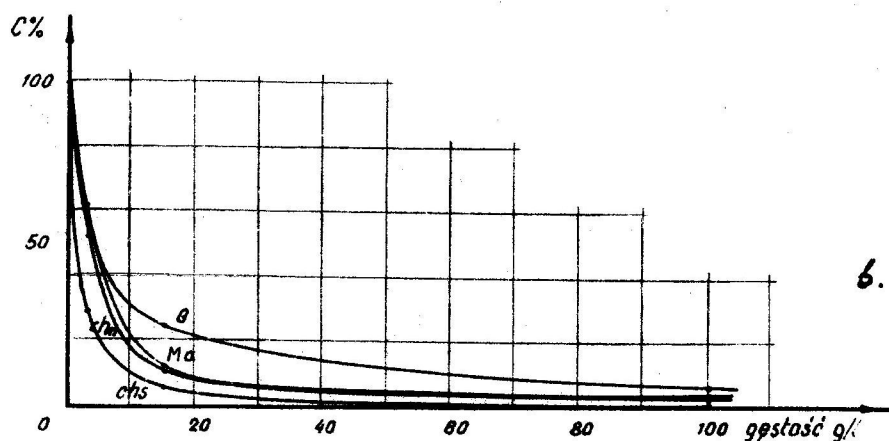
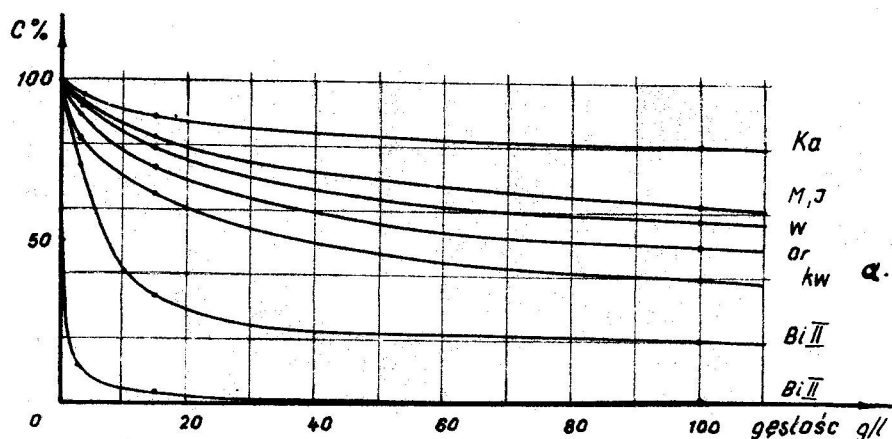


Rys. 6. Kinetyka flotacji chalkozynu sztucznego w obecności emulsji olejów ilastych (udział chalkozynu 5%), (ksant. etyl. - 5 mg/l, terpineol - 10 mg/l)

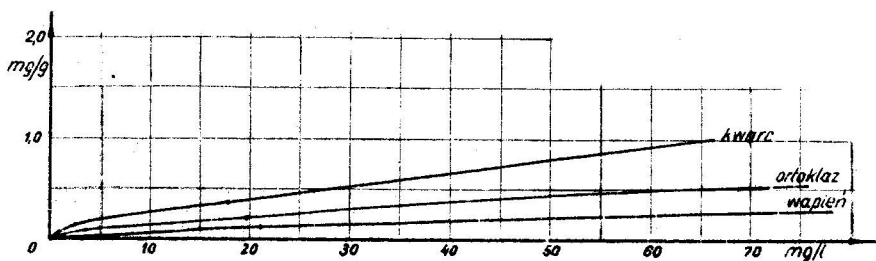
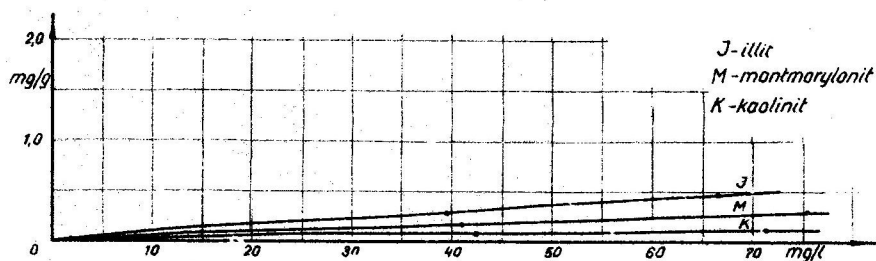
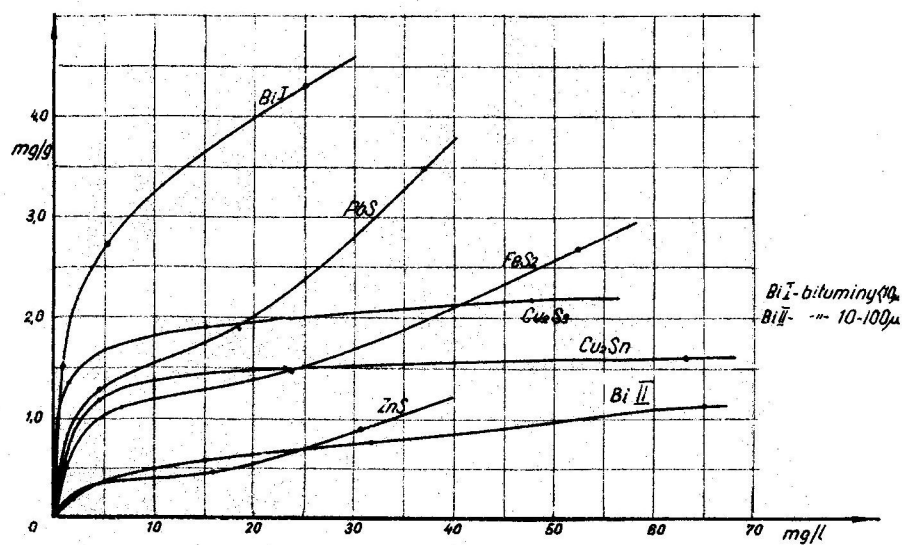
Kinetyka flotacji chalkozynu sztucznego w obecności minerałów ilastych (gęstość-
 $100g/l$ udział chalkozynu-5%) (ksantetylowego-5mg/l, terpineolu-10mg/l)



Rys. 7. Kinetyka flotacji chalkozynu sztucznego w obecności drobnopłynnych ($<8\mu$) składników płonnych (udział chalkozynu 5%), (ksant. etyl. - 5 mg/l, terpineol 10mg/l)



Rys. 8. Procentowe spadki koncentracji ksantogenu "C" w zależności od ilości minerału w mętach (gęstości mętów) dla:
a) składników płonnych - W - wapień, Kw - kwarc, Or - ortoklaz, Ka - kaolinit, M - montmorylonit, I - Illit, Bi I - bituminy $< 10\mu$, Bi II - bituminy $10-100\mu$, b) siarczków - chn - chalkozyn naturalny, chs - chalkozyn sztuczny, G - galena, Ma - markazyt



Rys. 9. Izotermy adsorpcji ksantogenianu dla siarczków, ilów i składników płonnych

Zagadnienie adsorpcji ksantogenianu przebadano szczegółowiej, obejmując pomiarami zarówno płonne składniki rud jak i minerały siarczkowe. Pomiary wykonano metodą spektrofotometryczną [29, 30].

Wyniki pomiarów, wykonanych przy zmiennej ilości badanego minerału w roztworze ksantogenianu (5 mg/l), przedstawiono wykreślnie na rys. 8. Krzywe izoterm adsorpcji podano na rys. 9. Na szczególne podkreślenie zasługuje tutaj niemal całkowity brak adsorpcji ksantogenianu na minerałach ilastych. Minerały te mimo swej ogromnej powierzchni właściwej, wykazują jedynie znikomą zdolność adsorpcji jonów ksantogenowych. Wytłumaczeniem tego może być fakt, że minerały ilaste są słabymi wymiennicami jonowymi. Posiadają one zdolność wymiany kationów, nie wymieniają natomiast anionów, jakimi są jony ksantogenowe.

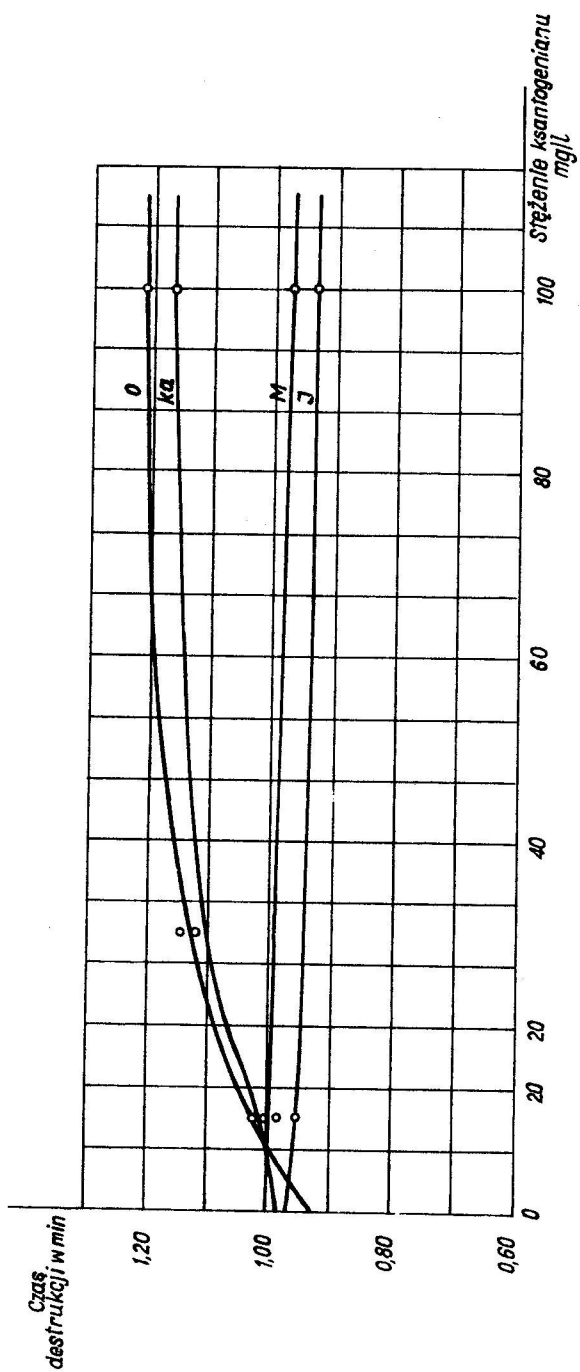
Podkreślić również należy, że minerały niesiarczkowe o strukturze przestrzennej posiadają wyższą zdolność adsorpcji ksantogenianu aniżeli ilły, których struktura jest warstwowa. Adsorpcja ksantogenionu na tych minerałach nie pozostaje zatem w żadnym związku z ich powierzchniami właściwymi.

Charakterystyczne jest, że adsorpcja ksantogenianu na kwarcu jest wyższa aniżeli na ortoklazie i wapieniu. Wiąże się to przypuszczalnie z rodzajem wiązań odsłoniętych na powierzchniach poszczególnych minerałów.

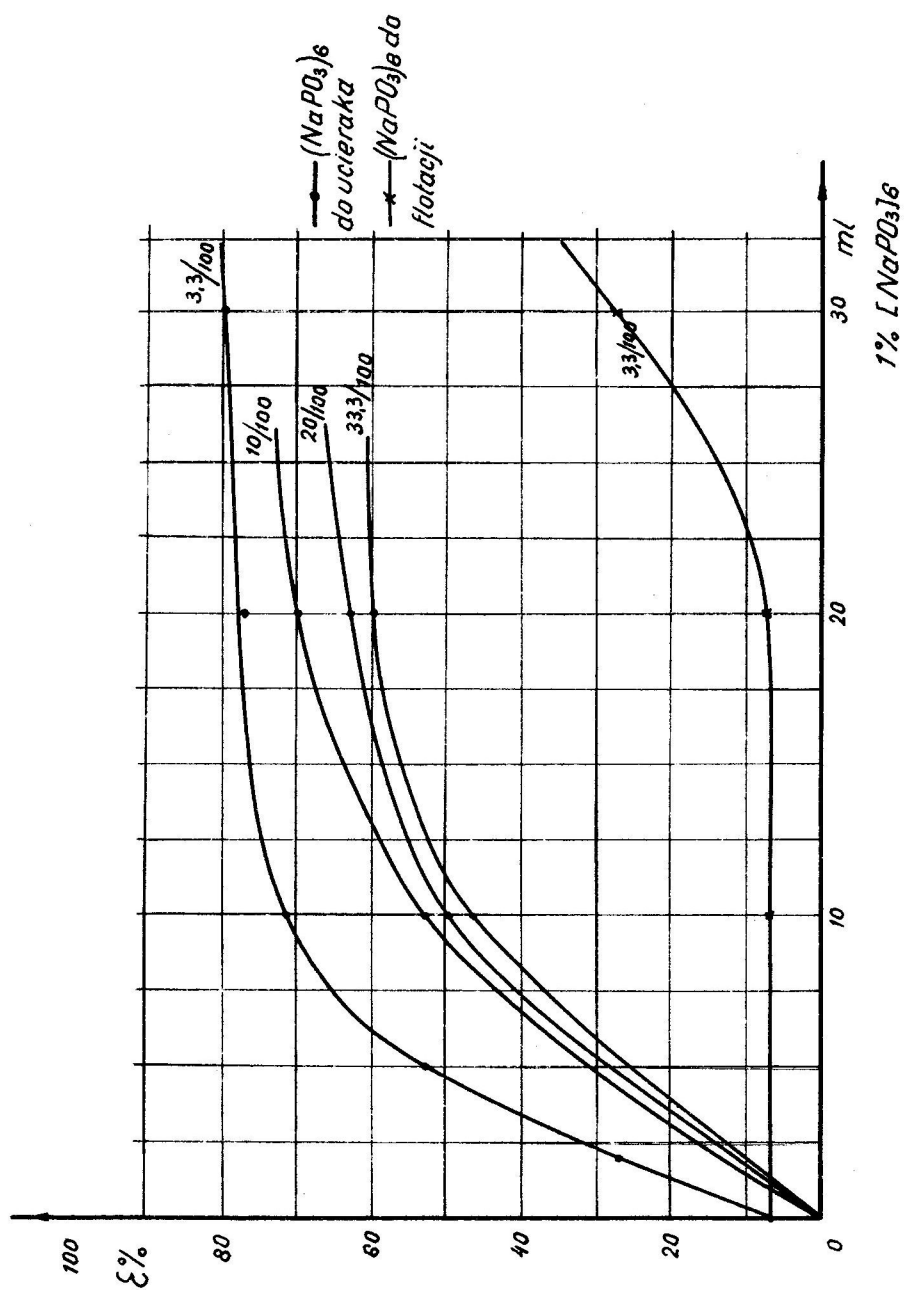
Najwyższą zdolność sorpcyjną spośród badanych składników rud posiadają bituminy. Pod tym względem przewyższają one minerały siarczkowe. Szkodliwość działania bituminów w procesie flotacji polega zatem nie tylko na blokadzie pęcherzyków powietrznych, ale także na pochłanianiu z mętów flotacyjnych ksantogenianu.

2.3. Tworzenie się pokryć mułowych

Wobec znikomej adsorpcji ksantogenianu na montmorylonicie i illicie szkodliwość działania tych minerałów może polegać na tworzeniu się pokryć mułowych na minerałach siarczkowych. Wykazano to pośrednio poprzez pomiar flokulacji "zailonego" siarczku metodą prof. Waksmundzkiego (rys. 10) oraz poprzez



Rys. 10. Pomiar flokulacji ziarn chalczynu metodą prof. Waksmundzkiego
 0 - chalczyn utarty bez iżu, ka - chalczyn utarty z kaolinitem, M - chalczyn utarty
 z montmorylonitem, J - chalczyn utarty z illitem



Rys. 11. Wpływ $(\text{NaPO}_3)_6$ na flotację chalkozynu sztucznego utartego przy różnych ilościach montmorylonitu (3,3 g, 10 g, 20 g i 33,3 g na 100 g chalkozynu)

skuteczne zastosowanie sześciometafosforanu sodu jako dyspergatora (rys. 11).

Powstające na siarczках powłoki względnie pokrycia mułowe nie muszą w pełni pokrywać powierzchni siarczków. Nawet częściowe, mozaikowe pokrycie może spowodować nieprzyczepienie się ziarna siarczku do pęcherzyka powietrza, mimo że na ziarnie tym zajdzie, jak stwierdzono, sorpcja ksantogenionu.

Zachodzi pytanie jaki jest mechanizm tworzenia się powłok mułowych na innych minerałach. Dotychczasowe teorie jak Suna [14], Ince'a [11], Jowetta [17] i Gaudina [19], wypowiadały się za elektrostatycznym mechanizmem powstawania pokryć mułowych. Del Giudice [12] wysunął hipotezę chemiczną. Prace natomiast Bankoffa [24] i przede wszystkim Abramowa [23] wykazują, że intensywność tworzenia się tych pokryć zależy nie tylko od znaku i wielkości ładunków, ale także od hydrofobowości powierzchni zarówno mułów jak i ziarn flotowanych. Im wyższy stopień hydrofobowości, tym intensywniejsze tworzenie się powłok mułowych.

Wielkości potencjałów elektrokinetycznych poszczególnych minerałów nie wydają się potwierdzać w pełni hipotezy elektrostatycznej. Wg tej teorii niewytłumaczalny jest brak ujemnego wpływu wapienia o dodatnim potencjale ξ na flotowalność siarczków, których potencjał elektrokinetyczny jest ujemny (tablica 1).

Zjawisko to nie stoi natomiast w sprzeczności z teorią heterokoagulacji Dierjagina [20-22]. Wg tej teorii w szczególnych przypadkach znak i wielkość potencjału ξ mogą mieć znaczenie drugorzędne, a o zajściu koagulacji decydować będą siły wiążące między ciałem stałym a cieczą i cieczą a cieczą. Tezę powyższą rozwija ostatnio Strielcyn [31]. Wg Strielcyna koagulacja ma miejsce wtedy, gdy siły wiążące ciecz - ciecz są większe od sił wiążących ciało stałe - ciecz. W przeciwnym przypadku do koagulacji nie dojdzie, niezależnie od znaku i wielkości potencjału ξ . Wg Strielcyna pod wpływem potencjału ξ zachodzi na powierzchni ciała stałego orientacja cząsteczek wody. Im wyższy jest potencjał tym silniejsza zachodzi polary-

Tablica 1

Wartości potencjałów ξ badanych minerałów V

Minerał	Potencjał ξ mV	Metoda pomiaru lub autorstwo
<u>Płonne składniki rud:</u>		
Montmorylonit (bentonit)	$-38 \pm 0,8$	pomiar met. el. forezy
Illit	$-28 \pm 1,4$	pomiar met. el. forezy
	-22 ± 3	pomiar met. el. osmozy
Kaolinit	-50 ± 5	pomiar met. el. forezy
Bituminy (zanieczyszczone łożami)	-29 ± 1	pomiar met. el. forezy
Kwarc	-85	wg Dałżenkowej [32] met. el. forezy
	$+39 \pm 3$	pomiar met. el. osmozy
Wapień	+12	wg Borisowa [33]
<u>Minerały siarczkowe:</u>		
Chalkozyn sztuczny	0 + -1	pomiar met. el. osmozy
Piryt (pH ok. 6)	-1	wg Grossmana [34] met. przepł.
Galena	-13	wg Grossmana [34] met. przepł.
Blenda cynkowa (sfaleryt aktywowany)	-16	wg Grossmana [34] met. przepł.
Siarka	-76	wg Waksmundzkiego [35]

zacja. Gdy potencjał ξ przekroczy bezwzględną wartość 40-45 mV, wówczas polaryzacja jest tak silna, że do koagulacji ziarn nie dojdzie.

Ziarna wapienia nie koagulują zatem na ziarnach siarczków, mimo przeciwnych ładunków, gdyż wiązanie wapieni - woda jest przypuszczalnie silniejsze od wiązania woda - woda. Świadczyłoby o tym również największe mechaniczne wyniesienie wapienia do koncentratu (rys. 7).

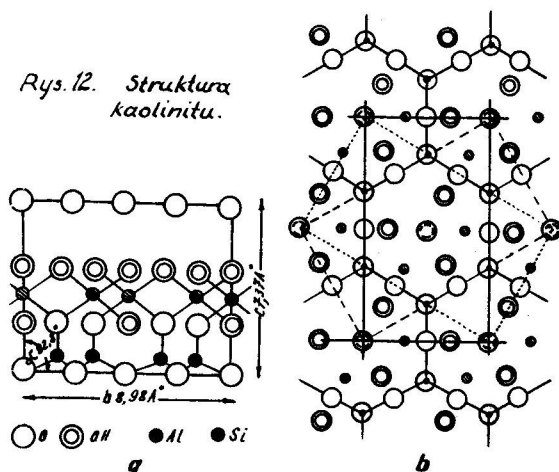
Ziarna montmorylonitu i illitu koagulują natomiast na ziarnach chalkozynu, pirytu i częściowo galeny. Fakt ten wydaje się być zaprzeczeniem dopiero co głoszonej hipotezy, gdyż minerały ilaste uchodzą za bardzo silnie wiążące wodę. Nie powinny one zatem koagulować. Należy jednak wziąć pod uwagę warstwową strukturę minerałów ilastych (rys. 12-14). Po zewnętrznych stronach wielowarstwowych pakietów, które tworzą submikroskopijne ziarna, występują tetraedyczne warstwy krzemotlenowe. Warstwy te stanowią sieć sześciocząłkowych pierścieni utworzonych przez tetraedry $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Po zewnętrznej stronie położone są jony tlenu w całości zubożone. Powierzchnie zewnętrzne pakietów (x-y) można zatem uważać jako hydrofobowe, gdyż oddziaływać mogą na wodę jedynie słabymi siłami van der Waals-Londona. (Podobnie jak powierzchnie talku, który posiada naturalną hydrofobowość). Wiązanie wody jest natomiast międzypakietowe w osi z. Mineral ilasty może zatem przylgnąć do drugiego ziarna jedynie płaszczyzną x-y. Zilustrowano to schematycznie na rys. 15.

W tym świetle wątpliwa wydaje się hipoteza van Olphena podjęta przez Jowetta [17], że przyczyną koagulacji montmorylonitu o ujemnym potencjale ξ , na ziarnach również o potencjale ujemnym, jest dodatni ładunek na krawędziach ziarn pochodzący od atomów glinu. Na krawędziach ziarn odsłonięte będą zarówno atomy glinu jak i tlenu, nie ma więc powodu, aby ładunek ten był wyłącznie dodatni. Krawędzie wszystkich minerałów ilastych musiałyby być dodatnie i w ten sposób działać ujemnie, tymczasem tak nie jest.

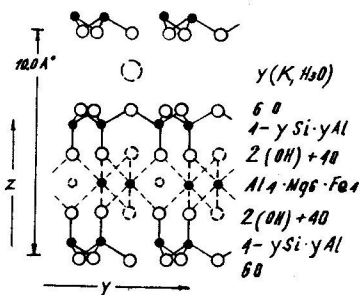
Wy tłumaczalna jest nieszkodliwość kaolinitu na proces floatacji siarczków. Wysoki potencjał dzeta wynoszący około 50 mV jest przyczyną silnej polaryzacji wody, tak że nie dochodzi do koagulacji ziarn kaolinitu na ziarnach siarczków.

Wyższą szkodliwość montmorylonitu od illitu tłumaczyć należy również względami strukturalnymi. Tetraedyczne warstwy krzemotlenowe montmorylonitu nie posiadają tej liczby podstawień Si^{4+} na Al^{3+} co warstwy illitu. W związku z tym powierzchnia pakietów montmorylonitu jest bardziej jednolita i zwarta. Po-

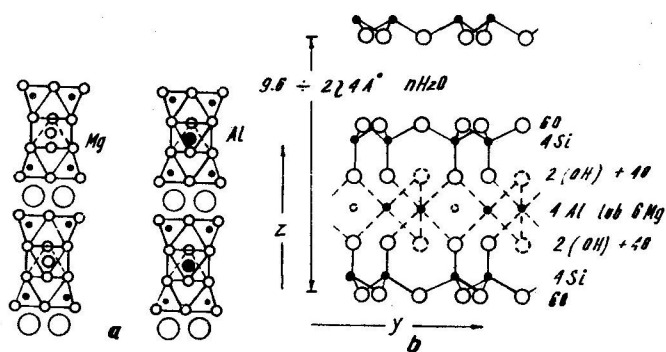
Rys. 12. Struktura kaolinitu.



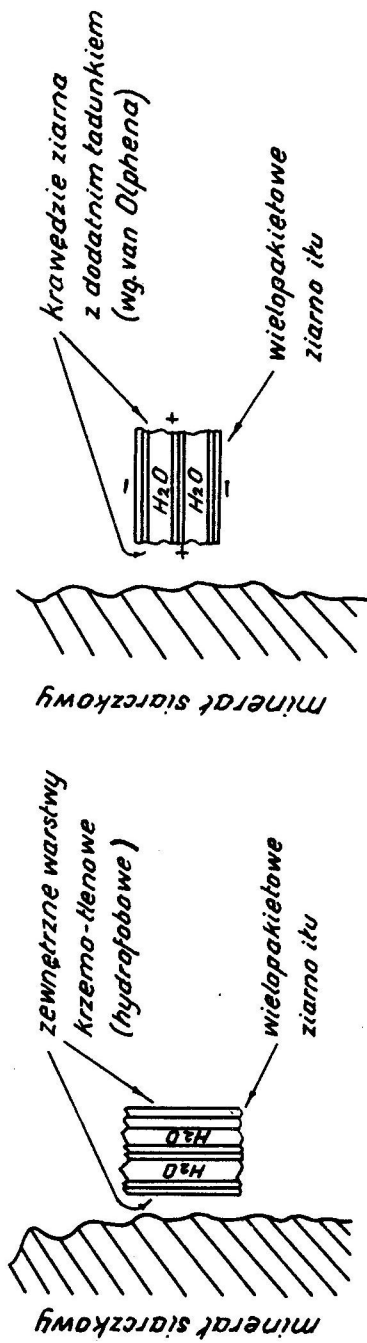
Rys. 12. Struktura kaolinitu



Rys. 13. Struktura illitów



Rys. 14. Struktura montmorylonitów



a)

b)

Rys. 15. Model przylgnięcia iżu do minerału siarczkowego
a) wg hipotezy własnej, b) wg Jowett'a na podstawie hipotezy van Olphena

wierzchnia zaś pakietów illitu posiada więcej zaburzeń, które wywołują silniejsze oddziaływanie na wodę. Nie bez znaczenia będzie również grubość powłoki mułu, która w przypadku montmorylonitu na skutek pęcznienia jest wielokrotnie większa od grubości powłoki illitu.

Flotowalność badanych siarczków jest jak stwierdzono zróżnicowana w obecności montmorylonitu i illitu. Wynika to przypuszczalnie z różnej hydrofobowości tych siarczków. Chalkozyn jest najbardziej podatny na działanie ilów, uchodzi on też za minerał o najwyższej hydrofobowości. Blenda cynkowa (sfaleryt) natomiast posiada spośród badanych siarczków hydrofobowość najniższą. Niemniej jednak zagadnienie to wymaga szerszego udokumentowania.

Nie tylko zagadnienie siarczków, ale całokształt problemu tworzenia pokryć mułowych, rozpatrywanych pod kątem widzenia hipotezy koagulacji Strielcyna, wymaga głębszego rozpoznania i udokumentowania. Hipoteza ta nie jest zgodna z dotychczas przyjmowaną hipotezą elektrostatyczną Suna. Przyznać jednak należy, że hipoteza Suna nie tłumaczy wszystkich przypadków zjawisk zgodnie z ich przebiegiem. Np. nie tłumaczy omówionego już przypadku nie koagulowania ziarn wapienia na siarczkach, mimo różnoimiennych ich ładunków.

Rozpatrując zagadnienie tworzenia pokryć mułowych należy mieć na uwadze zróżnicowanie własności tych samych minerałów w zależności od ich pochodzenia. Dotyczy to w szczególności minerałów ilastych. Geneza tych minerałów oraz ewentualne przeobrażenia mogą wywrzeć zasadniczy wpływ na własności poszczególnych minerałów. Minerał ilasty, np. kaolinit, jednych złóż może być nieszkodliwy, innych zaś szkodliwy. Może o tym zdecydować różna wartość potencjału dzeta, wyższa lub niższa od krytycznego.

Panu Profesorowi dr inż. Tadeuszowi Laskowskiemu składam wyrazy serdecznego podziękowania za cenne wskazówki i uwagi wniesione do omówionej przeze mnie tematyki.

LITERATURA

- [1] Głembockij W.A., Klassen W.I., Płaksin J.N.: Flotacja, Gosportiechizdat, Moskwa 1961 r.
- [2] Klassen W.I., Mokrousov W.A.: Wwiedienije w teoriju flotacji, Gosgortiechizdat, Moskwa 1959 r.
- [3] Sutherland K., Wark I.W.: Principy flotacji, Gosgortiechizdat, Moskwa 1958 r. (Tłumaczenie z języka angielskiego).
- [4] Jokajama G., Kojanaki J.: Flotability of chalkopirite in presence of quarts, montmorillonite and ferric hydroxide. Rept. Res. Inst. Underground Resources Mining Coll. Akita Univ. 1964 r. Nr 29, str. 49-54, (wg Express inf. 31/64, Obog. pol. iskop. Moskwa).
- [5] Bortel R.: Niektóre problemy wzbogacania nowo odkrytych rud miedzi, ref. na XXXV Międzynarod. Kongres Chemii Przemysł. Warszawa - wrzesień 1964 r.
- [6] Schubert H., Schmidt J.: Verwendung unpolarer öle bei der Flotation von Kupferschiefererzen. Bergakademie 1963 r. Nr 12, str. 850-855.
- [7] Klassen W.I., Tichonow S.A.: O mechaniceskom wynosie szlamowych czastie pri flotacji, Cw Miet. 1964 r. t. 37, Nr 9, str. 4-8.
- [8] Jemielianow D.S., Wojszwiłowo W.W.: O pricinach zasorienija flotokoncentrata tonkodispersnoj porodnoj. Izw. Wyższ. Ucz. Zaw. Górn. Żurn. 1965 r. t. 8, Nr 7.
- [9] Liwszyc A.K., Bezrodnaja R.M.: Skorost pieriechoda wody i twiordowo w piennyj produkt flotacji 1961 r. Cw. Miet. t. 34, Nr 11.
- [10] Taggart A.F., Taylor T.C. and Ince C.R.: Trans. Am. Inst. Mining. Met. Engrs. 87, 217, 1930 r., (wg poz. 3).
- [11] Ince C.R.: Trans. Am. Inst. Min. Met. Engrs. 87, 261, 1930 r., (wg poz. 3).
- [12] Del Giudice G.R.: Eng. Mining J. 137, 291, 1936 r., (wg poz. 3 i 17).
- [13] Wark J.W.: Principy flotacji. Gosgortiechizdat, Moskwa 1943 r. (Tłumaczenie z języka angielskiego).
- [14] Sun S.C.: Publ. Amer. Inst. Mining Engrs. 1943 r. Nr 1580, (wg poz. 3 i 17).
- [15] Basiński A.: Zarys fizykochemii koloidów. PWN W-wa 1957 r.
- [16] Dorenfeld A.C.: Eng. Mining J. 154, Nr 5, 87, 1953 r. (wg poz. 3).

- [17] Jowett A., El-Sinbawy H., and Smith H.G.: Slime Coating of Coal in Flotation Pulos. A, Quaterly Journal of Fuel and Combustion Scienne 1956 r. July, vol. 35. Nr 3, (tłum. w "Flotacja póżecznych iskopajemych", Gosgortiechizdat, Moskwa 1962 r.).
- [18] Weiss A., Russow J.: International Clay Conf. Stockholm 1963 r. Oxford - London - New York - Paris, Pergamon Pres 1963 r., str. 203-213.
- [19] Gaudin A.M., Fuerstenau D.W., Miaw H.L., Slime: Coatings in Galena Flotation, The Canadian Mining and Metallurgical Bull., December 1960 r., str. 960.
- [20] Dierjagin B.W.: Teorija geterokoagulacji, wzaimodiejstwija i slipaniya raznorodnych czastie w rastworach elektrolitow, Kollloidnyj Żurnal, t. 16, Nr 6, 1964 r., str. 425-438.
- [21] Dierjagin B.W., Lewicz W.G.: Teorija ottażkiwatielnych sił w plenkach elektrolita mieżdu neodiniokowo zariażenych powierchnostiani, D.A.M. SSSR, Fiz. Chim. 1954 r., t. 98, Nr 6.
- [22] Dierjagin B.W., Samygin W.D., Liwszic A.K.: Izuczenije fłokulacji czastie minerałow pri turbulentnom režimie, Kollloidnyj Żurnal 1964 r., t. 26, Nr 2, str. 179-184.
- [23] Abramow A.A.: Wlijanije szłamow na kationnuju fłotaciju okislennych minerałow swincowo-cinkowych rud. Obogaszczeniye rud. 1961 r., t. 6, Nr 1, str. 9-16.
- [24] Bankoff S.G.: Trans. Am. Inst. Mining Eng. 1943 r., str. 473, (wg poz. 23).
- [25] Kowaczew K., Aleksow A.: Wrchu fłotaczata na czastieczno okislana miedna ruda z wisoko soderżaniye na glina i szłam. Minno Dieło i Mietalurgia, 1963 r., t. 18, Nr 10, str. 20-22.
- [26] Niedogoworow D.J.: O mechanizmie szłamowej depresji, Cwietnyje Miet. 1964 r., t. 37, Nr 10, str. 12-15.
- [27] Chadzijew P.G.: Isliedowanieje depressirujuszczewo diejstwija nieograniczeskich kolloidów (osadkow) na fłotaciju sulfidow. Praca kandydacka, Leningrad 1965 r.
- [28] Griebniew A.N., Kakowski I.A.: Fłotirujemost iskustwiennych sulfidow tiażelych minerałow i fłotacjonnyje swojstwa małozuczajemych minerałow, Izw. Wyższ. Ucz. Zaw., Gorn. Żurn. 1959 r. Nr 3, str. 140-151.
- [29] Lekki J.: Informacja prywatna oraz rękopis artykułu przeznaczzonego do druku w Rudach i Metalach Nieżelaznych.
- [30] Michal J.: Kontinualni mereni koncentrace xantatu, UVR Praha 1959 r. (7-0-3).
- [31] Strieleyn G.S.: Autoreferat wygłoszony przy odbiorze pracy w Instytucie Mechanobr - Leningrad, wrzesień 1965 r.

- [32] Dołżeńkova A.N., Strielcyn G.S.: Izmenienije potencjała kwarca w prisutstwiiji modifikatorow i kationnowo stabizatiela, Sbornik "Niekatoryje woprosy teorii i technologii obogaszczenija rud", Leningrad 1962 r.
- [33] Berger G.S.: Flotacja minerałow, Moskwa 1957 r.
- [34] Grosman Z.I., Chadżijew P.G.: Isledowanije usłowija podawlenija sulfidnych minerałow osadkami wzaimodiejstwija depresorow, Praca Instytutu Mechanobr - Leningrad 1964 r.
- [35] Waksmundzki A., Szczypa J.: Wpływ stężenia zemulgowanych węglowodorow na potencjał elektrokinetyczny siarki. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 11, 1964 r.

Mgr inż. JANUSZ LEKKI
Instytut Metali Nieżelaznych
w Gliwicach

ZASTOSOWANIE METODY BOXA-WILSONA DO BADAN PROCESU FLOTACJI

Zadanie eksperymentatora to wszechstronne przebadanie, tak mechanizmu procesu, jak i własności substancji. Opierając się na rezultatach takich badań, można przedstawić teorię procesu, za pomocą której będą rozwiązywane zagadnienia optymalizacji, czyli podanie takich warunków procesu, które zapewnią maksymalny uzysk, zawartość metalu itp. Badanie tego rodzaju bardzo rzadko znajduje zastosowanie przy rozwiązywaniu zadań technologicznych, ponieważ procesy te są złożone i tym samym trudne do teoretycznego opracowania. W większości przypadków zagadnienia te rozwiązuje się eksperymentalnie, przy niepełnej znajomości mechanizmu procesu, a zadaniem eksperymentatora jest jedynie dojście do warunków optymalnych [1].

Rezultat danego procesu oceniamy zwykle jakimś jednym, technologicznie uzasadnionym wskaźnikiem. Dla reakcji chemicznej może to być procentowa zawartość produktu, dla procesu flotacji uzysk, procentowa zawartość metalu, cena produktu i in. Ten parametr oceniający proces, w dalszej części pracy jest nazywany wskaźnikiem jakości procesu i oznaczamy go przez y . Jego geometryczne przedstawienie nazywamy powierzchnią ja-