

Janusz HABA
Stanisław BOLD

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Przemysłu Siarkowego
w Tarnobrzegu

WPLYW DOMIELANIA ODPADÓW Z PIERWSZEGO STOPNIA
OCZYSZCZANIA KONCENTRATU NA PODSTAWOWE WSKAŹNIKI PROCESU
WZBOGACANIA FLOTACYJNEGO RUDY SIARKOWEJ

1. Wstęp

Otrzymywanie siarki z rudy rodzimej metodą flotacyjno-rafinacyjną można podzielić na dwa podstawowe stadia:

- flotacja rudy, w wyniku której otrzymuje się konc. flotacyjny i odpady końcowe i
- rafinacja koncentratu flotacyjnego, w wyniku której otrzymuje się siarkę rafinowaną i odpady porafinacyjne (kek).

Uzysk całego procesu jest iloczynem uzysków osiągniętych w obu stadiach. Podwyższenie zatem któregośkolwiek z nich daje wzrost uzysku ogólnego.

Jak wynika ze wzoru na uzysk

$$E = \frac{100 \beta}{\beta - \gamma} \cdot \left/ 1 - \frac{\gamma}{\alpha} \right/$$

i w przypadku rafinacji przy prawie stałej zawartości siarki w keku wynoszącej około 40% S

$$E = 166 \left/ 1 - \frac{40}{\alpha} \right/$$

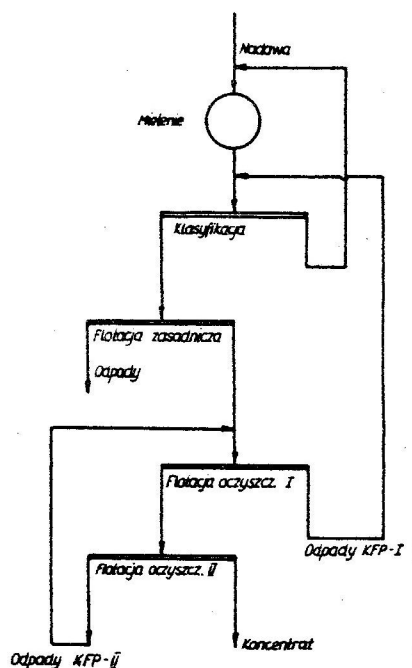
uzysk wzrasta ze wzrostem zawartości siarki w nadawie. Działanie w kierunku podwyższenia zawartości siarki w koncentracie flotacyjnym przy zachowaniu na niezmiennym poziomie zawartości siarki w odpadach flotacyjnych jest działaniem korzystnym, bo powoduje przy nieznacznym

obniżeniu uzysku flotacji duży wzrost uzysku rafinacji, a co za tym idzie uzysku ogólnego. Całe powyższe rozumowanie jest prawdą ogólnie znaną, ale w przypadku otrzymywania siarki, gdzie procesy wzbogacania rudy i otrzymywanie czystej siarki są zintegrowane w jednym zakładzie, staje się ono na tyle oczywiste, że musi być wykorzystywane w praktyce przemysłowej.

Jedną z prób wykorzystania właśnie tego rozumowania polegającą na domielaniu odpadów z pierwszego stopnia oczyszczania przedstawiono poniżej.

2. Schemat flotacji siarki i jego analiza

Obecnie stosowany schemat flotacji rudy siarkowej (rys. 1) prowadzi do powstawania dużych ilości produktów przejściowych w formie odpadów z pierwszego i drugiego stopnia oczyszczania koncentratu z flotacji zasadniczej.



Rys. 1. Schemat flotacji rudy siarkowej

Do flotacji zasadniczej wyposażonej w maszyny flotacyjne typu mechanicznego (mechanobr - 6A) podawana jest nadawa o dopuszczalnym udziale ziarn w klasie $+0,3$ mm w ilości około 5%. Koncentrat z flotacji zasadniczej oczyszczany jest dwustopniowo w maszynach typu pneumatycznego (KFP - Kolumnowy Flotownik Powietrzny).

Po drugim stopniu oczyszczania otrzymywany jest koncentrat ostateczny. Odpady z pierwszego stopnia oczyszczania poprzez węzeł klasyfikacji zawracane są do flotacji zasadniczej, odpady z drugiego oczyszczania do nadawy na oczyszczanie pierwsze. W obecnie stosowanym schemacie flotacji koncentrat ostateczny zawiera około 82% S, zaś ilość zawrotów wynosi około 40% w stosunku do wsadu rudy.

Uwzględniając fakt, że proces oczyszczania prowadzi się przy dość znacznym rozcieńczeniu nadawy (gęstość 10 - 15% S) otrzymuje się znaczne ilości zawrotów szczególnie po oczyszczaniu pierwszym, które stwarzają określone trudności w gospodarce wodno-szlamowej zakładu.

Z tego też względu proste działania w kierunku podniesienia jakości koncentratu flotacyjnego polegające tylko na zmianach w regulacji maszyn KFP jest niemożliwe do przyjęcia, bo powodowałoby dalszy wzrost ilościowy zawrotów.

Zjawiska wyżej przedstawione można wyjaśnić po analizie wyników badań mikroskopowych zestawionych w tabeli 1. Badania mikroskopowe określają udział ziarn siarki, zrostów siarki ze skałą płonną w poszczególnych klasach produktów wzbogacania. Analizie mikroskopowej poddano 300-400 m ziarn wybranych losowo z każdej klasy. Wyniki tych analiz wskazują na ogromne znaczenie zrostów siarki ze skałą płonną w procesie flotacji. Zrosty występują w każdej operacji i przy obecnej technologii wzbogacania rudy nie da się ich wyeliminować z produktów decydujących o uzysku flotacji tzn. z odpadów poflotacyjnych i z koncentratu ostatecznego (po oczyszczeniu II). Zrosty występują w klasie $+0,1$ mm a podstawowa ich masa zgrupowana jest w klasie $+0,2$ mm. W nadawie flotacji zasadniczej około $1/4$ ziarn klasy $+0,2$ mm to zrosty. Zdecydowana ich większość przechodzi do koncentratu. Zrosty i czyste ziarna siarki występują także w odpadach poflotacyjnych głównie w klasie $+0,43$ mm. Część zrostów oraz ziarn skały płonnej przechodzi nawet do koncentratu po oczyszczaniu II. Ziarna te uniemożliwiają poprawę jakości koncentratu. Zmniejszenie ich ilości związane jest bowiem z zachwianiem i tak już krytycznego układu równowagi obiegu mętów. Na podstawie wyników z tabeli 1 można by wysunąć wnioski o konieczności podawania do flotacji zasadniczej ziarn o średnicy niższej od $0,2$ mm. Wyeliminowałoby to z procesu znaczne ilości zrostów, jednocześnie zaważyłoby to na zdol-

Tabela I

Zestawienie udziału ziarn siarki, zrostów i skały płonej w klasach
ziarnowych produktów wzbogacania rudy siarkowej

Masa ziarnowa	Produkt	Materiała do flot. zasadowej				Koncentrat zasadowy				Odpady zasadowe				Materiała do flot. odcyszczonej			
		Zawar. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Zawar. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Zawar. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Zawar. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]	Udział ziarn. [%]
+0,6		30,0	24	24	52	67,5	65	40	25	13,1	15	13	82	63,3	58	49	23
0,6 - 0,43		42,6	35	32	33	65,0	59	42	27	6,6	3	7	90				
0,43 - 0,3		42,9	36	33	31	63,1	52	44	36	4,0	1	2	97	50,6	50	8	42
0,3 - 0,2		34,3	37	22	42	49,3	28	11	61	2,7	0,5	0,5	99	40,9	44	5	51
0,2 - 0,102		31,5	41	7	52	40,0	27	3	70	3,9	0,5	0,2	39,3	44,6	41	4	53
0,102 - 0,06		37,5				56,2								94,1			
- 0,06		29,5				52,8								53,3			
Produkt		Koncentrat KFD-I				Odpady KFD-I				Koncentrat KFD-II				Odpady KFD-II			
+0,6		79,5	81	4	5	63,9	51	29	17	85,9	81	4	5				
0,6 - 0,43		81,8	81	12	7	65,3	64	23	23	89,7	87	10	3	80,1	73	16	11
0,43 - 0,3		83,0	74	13	13	48,2	49	20	31	90,6	82	10	8				
0,3 - 0,2		66,1	64	7	29	31,8	35	20	46	82,5	73	12	5	63,8	68	40	32
0,2 - 0,102		69,1	62	4	36	28,4	25	5	70	79,4	72	7	20	51,6	49	4	47
0,102 - 0,06		71,6				30,4				78,2				54,1			
- 0,06		76,0				40,8				83,6				57,7			

Zestawienie wskaźników wzbogacania rudy
siarkowej z domielaniem oraz bez domielania odpadów I stopnia
oczyszczania koncentratu

Wskaźniki procesu wzbogacania	Zawartość siarki w rudzie [%]	Zawartość siarki w koncentracie zasadn.	Zawartość siarki w odpadach	Zawartość siarki w koncentracie po II oczyszczeniu	Uzysk procesu wzbogacania	Stopień domielania ziarna
<i>Srednie zakresu bez domielania odpadów KFP-I</i>	27,073	65,957	2,800	82,193	92,568	89,200
<i>Srednie z okresu prób domielania odpadów KFP-I</i>	24,407	68,264	2,471	85,500	92,578	89,343
<i>Poziom istotności różnicy pomiędzy średnimi</i>	0,001	0,2	0,1	0,001	0,7	0,01

ności przerobowej węzła mielenia i spowodowałoby ilościowy wzrost frakcji szlamowych trudnych do flotowania.

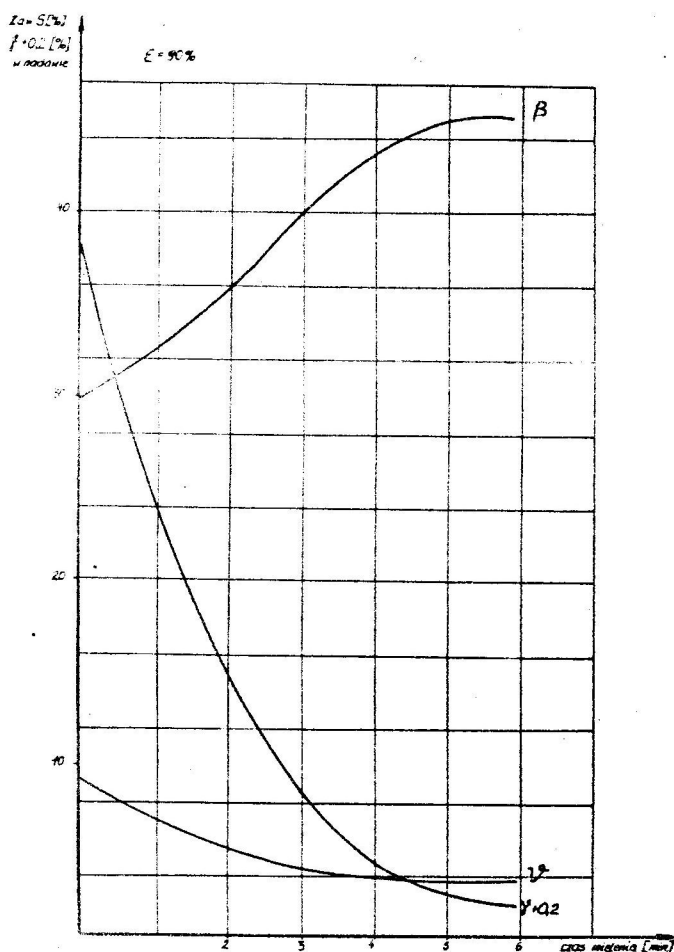
Znaczna ilość zrostów oraz dużych ziarn siarki wydzielona zostaje w odpadach KFP-I. Produkt ten praktycznie w niezmienionej postaci powraca do flotacji zasadniczej. Między maszynami flotacji zasadniczej oraz flotacji oczyszczającej tworzy się obieg dużych ziarn siarki i zrostów, a ponieważ do obiegu dochodzą nowe ilości dużych ziarn siarki i zrostów pochodzące z mielenia rudy, część z nich leżąca poza stanem wytworzonej równowagi musi opuścić proces przedostając się do odpadów flotacyjnych lub do koncentratu po oczyszczaniu I. Ten sam mechanizm powoduje ich obecność w koncentracie po oczyszczaniu II czyli w koncentracie flotacyjnym.

3. Badania laboratoryjne

Próby laboratoryjne domielania zawrotów po pierwszym oczyszczeniu koncentratu flotacji zasadniczej przeprowadzono w maszynie jedno komorowej, wykonując szereg flotacji frakcjonowanych. Do prób użyto materiału o zawartości siarki 23% i wychodzie klasy + 0,2 - 37% czyli zbli-

zonego do przeciętnych wartości zawrotów. Próby przeprowadzono z materiałem niedomielonym i po domielaniu go w różnym czasie.

Wyniki wzbogacania przedstawia wykres z rysunku 2. Znaczną poprawę wyników wzbogacania otrzymujemy po zmniejszeniu wychodu klasy + 0,2 mm do 5%. Dalsze zmniejszanie ilości ziarn klasy + 0,2 mm nie jest celowe gdyż związane jest ze znacznym wydłużeniem czasu mielenia oraz nadmiernym rozdrobnieniem ziarn klasy - 0,2 mm.



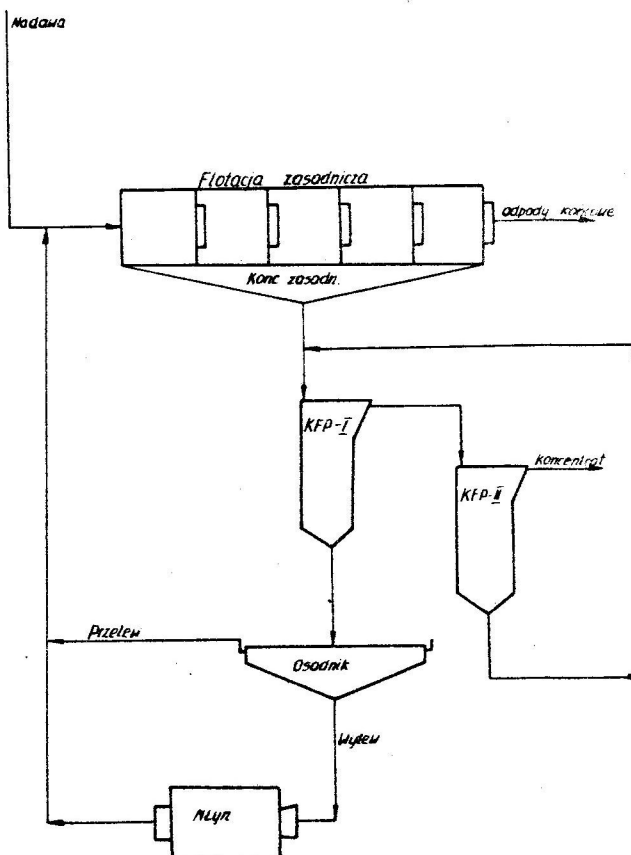
Rys. 2. Zależność jakości produktów flotacji od wychodu klasy + 0,2 mm w nadawie

4. Próby półtechniczne

Następnym etapem były próby wzbogacania rudy siarkowej z domielaniem zawrotów w skali wielkolaboratoryjnej w maszynkach flotacyjnych 8 litrowych, zestawionych w ciąg technologiczny zbliżony do schematu

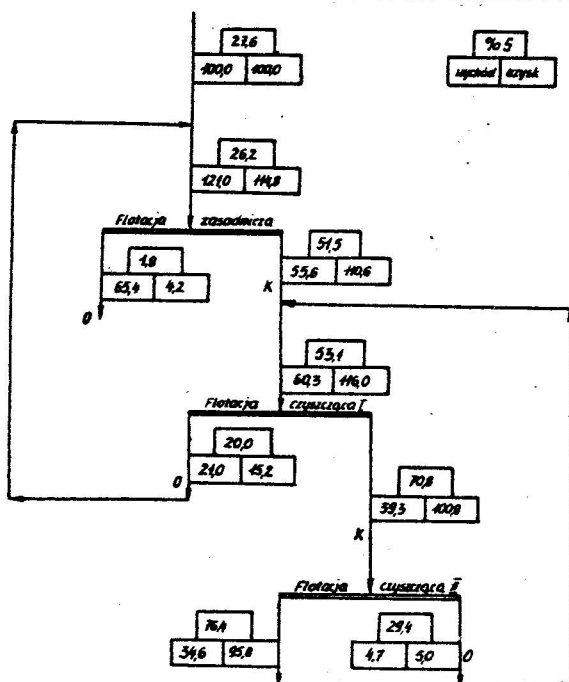
stosowanego w praktyce przemysłowej. Domielanie zawrotów z KFPI przeprowadzono w młynku kulowym otwartym, współpracującym z zagęszczaczem stożkowym.

Przelew zagęszczacza i wylew młynka zawracany był do flotacji zasadowej. Schemat technologiczny przedstawia rys. 3. Do młynka pod-

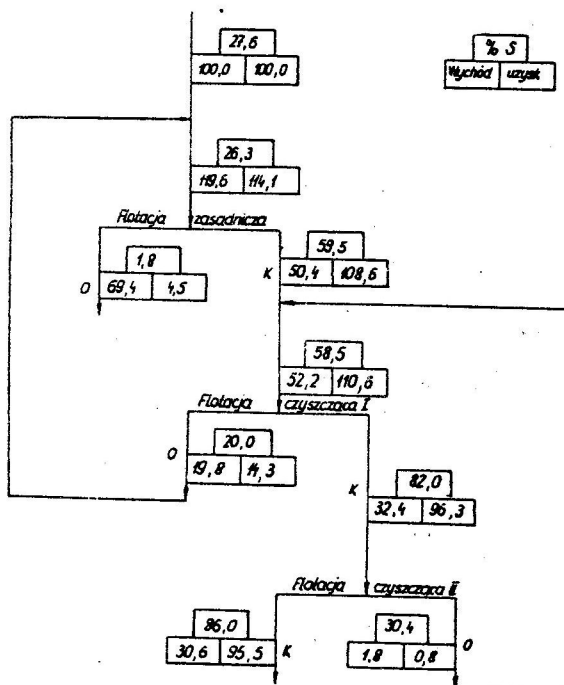


Rys. 3. Schemat maszynowy flotacji z domielaniem odpadów oczyszczania I

wany był produkt zawierający około 4,5% ziarn w klasie + 0,2 mm. W wylewie młynka wychód tej klasy wynosił 0,6%. Schematy jakościowe (rys. 4 i 5) ilustrują zmiany wyników wzbogacania rudy siarkowej po domielaniu odpadów z KFPI. Zawartość siarki w koncentracie po II oczyszczaniu w przypadku domielania wzrosła o prawie 10%, zaś zawartość siarki w odpadach oraz uzysk procesu wzbogacania zostały na niezmiennym poziomie.



Rys. 4. Schemat jakościowy flotacji bez domielania odpadów oczyszczania I



Rys. 5. Schemat jakościowy flotacji z domielaniem odpadów oczyszczania I

5. Próba przemysłowa

W wyniku prób laboratoryjnych i wielkolaboratoryjnych sensowność domielania zawrotów została potwierdzona w całej rozciągłości, jedynie rozmiar korzyści wymagał sprawdzenia. W tym celu została przeprowadzona próba przemysłowa domielania zawrotów. W schemat zakładu wprowadzone zostało domielanie zawrotów w młynie wypełnionym kulami o średnicy 40 i 30 mm, współpracującym z baterią hydrocyklonów. Gwoli ścisłości należy zaznaczyć, że w trakcie próby ze względów technicznych nie stosowano do flotacji jako wody technologicznej przelewu osadnika Dorr'a pochodzącego z zagęszczania filtratu z wirówek odwadniających.

Do baterii hydrocyklonów złożonej z jednostek o śred. 280 mm podawana była nadawa (zawroty), w której wychód klasy + 0,3 mm wahał się od 8 - 20%. W przelewie hydrocyklonów wychód tej klasy wynosił 1 - 5% zaś w wylewie młyna 4%. Wylew z młyna domielającego wraz z przelewem hydrocyklonów kierowany był do flotacji zasadniczej. W ostatecznej wersji rozwiązania przelew hydrocyklonów kierowany będzie jako woda technologiczna do klasyfikatorów współpracujących z młynami prętowymi, wymaga tego potrzeba zbilansowania obiegów wodno-szlamowych.

Próba przemysłowa domielania prowadzona była przez 14 zmian produkcyjnych. Podstawowe wskaźniki i parametry procesu wzbogacania porównano statystycznie z okresem poprzedzającym próbę. Porównanie tych wyników zestawiono w tabeli 2. W czasie prowadzenia próby z domielaniem podawano rudę o średniej zawartości niższej o 2,7% niż w okresie porównawczym. Oznacza to, że w rudzie znajdowały się zwiększone ilości minerałów ilastych (montmorylonit, illit), które pogarszają w zasadzie warunki klasyfikacji w węźle mielenia oraz warunki flotacji. Mimo tego w okresie próby nastąpiła poprawa wyników wzbogacania. Najistotniejsza zmiana to zwiększenie zawartości siarki w koncentracie flotacyjnym o 3,3% co jest różnicą jak wynika z testu istotną. Spodziewane zmniejszenie ilości zawrotów odpadów z KFPI nie nastąpiło.

6. Podsumowanie

W dotychczasowym schemacie, w którym zawroty podawano do klasyfikatorów współpracujących z młynami prętowymi istniała możliwość domielania pewnej ilości zrostów, tzn tej, która w sposób raczej przypadkowy przedostała się do wylewu klasyfikatora. Przypadek taki mógł zachodzić tylko dlatego, że sprawność klasyfikacji jest ograniczona i do przelewu

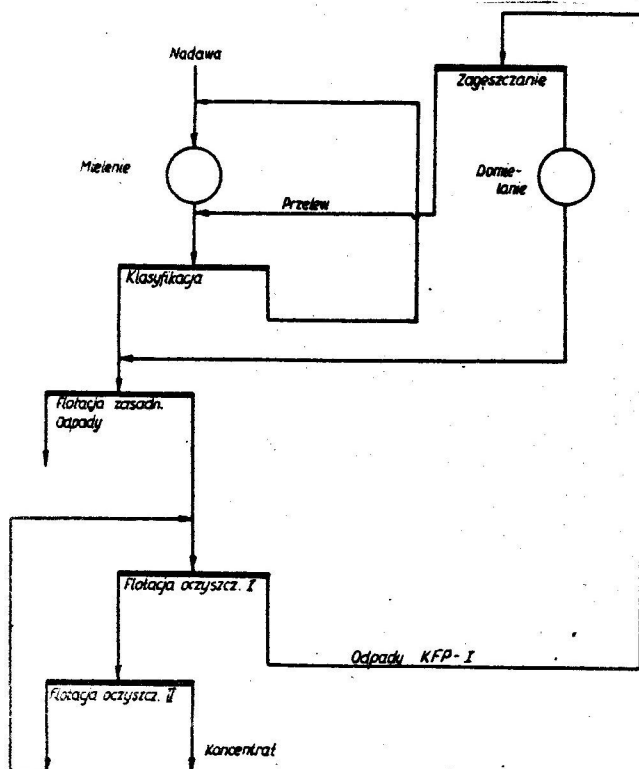
przedostają się ziarna - 0,3 mm (około 18% w stosunku do wylewu), wśród których były również ziarna pochodzące z zawrotów. Dopiero przeprowadzone badania i próby w wyniku których wprowadzono do domielania oddzielny młyn kulowy z odpowiednio dobranym do ziarnistości mielonego materiału składem mielników, pozwoliły na uczynienie z domielania operacji pełnosprawnej technologicznie, możliwej do kontrolowania i sterowania.

Efektom tego jest idąc za ciągiem technologicznym:

a) usprawnienie węzła mielenia rudy.

Dotychczasowe stosowanie zawrotów w węźle mielenia powodowało z jednej strony przeciążanie klasyfikatorów, a więc zmniejszanie wydajności układu mielącego z drugiej zaś z uwagi na niesione z zawrotami odczynniki pogarszanie jakości klasyfikacji. Oddzielne domielanie powoduje likwidację tych ujemnych zjawisk w węźle mielenia.

b) poprawa wyników flotacji.



Rys. 6. Schemat flotacji rudy siarkowej z domielaniem odpadów z I stopnia oczyszczania koncentratu

Domielanie zawrotów prowadzi do zwiększenia ilości wolnych i podatnych na flotację ziarn w nadawie flotacji oczyszczającej. Można w takim układzie zintensyfikować proces flotacji w KFP zwiększając ilość po-

wietrza i uzyskać koncentraty na poziomie dotąd osiąganym z jednoczesnym zmniejszeniem ilości zawrotów lub nieintensyfikując procesu flotacji uzyskać wyższą jakość koncentratu przy zachowaniu ilości zawrotów na dawnym poziomie. Wariant pierwszy wskazany jest do stosowania w okresie pełnego dociążenia zakładu rudą, drugi zaś pozwala na wydatne podniesienie uzysku ogólnego zakładu, a nadaje się do stosowania przy niepełnym dociążeniu zakładu.

Wyniki badań i próby stały się przedmiotem wdrożenia przemysłowego i są obecnie realizowane wg schematu podanego na rys. 6.