

M.T. Oktawiec

## PRZYCZYNEK DO GRAFICZNEJ INTERPRETACJI WYNIKÓW PROCESU WZBOGACANIA

Literatura poświęcona graficznemu przedstawianiu wyników procesu wzbogacania i jego ocenie obejmuje wiele cennych pozycji. Niektóre z nich zostały wykorzystane w skrypcie W. Stępińskiego [1], wspomnieć należy prace Nixona Moira [2] oraz Andrews [3].

Prace te poświęcone są głównie konstrukcji i zastosowaniu różnego typu krzywych wzbogacalności. Zalety i wady najważniejszych krzywych wzbogacalności - Henry'ego, Mayera i Della omówili J. Laskowski i Z. Lupa [4] wykazując szczególne zalety i wielostronne możliwości wykorzystania krzywych wzbogacalności Della.

Krzywe wzbogacalności charakteryzują z jednej strony możliwość przeróbki danej rudy i łatwość jej wzbogacania z drugiej zaś pozwalają na porównanie efektywności wzbogacania próbek danej rudy w różnych warunkach.

Podobną rolę odgrywają krzywe zaproponowane przez Nixona i Moira [2]. Ogólną niedogodnością wspomnianych krzywych jest bądź to skomplikowany sposób ich wykreślenia i wprowadzanie kilku różnych skal bądź też ograniczanie się, jak w przypadku Nixona i Moira do układu tylko dwu zmiennych  $\xi$  i  $\gamma$ . W przypadku krzywych Henry'ego i Della ocena skuteczności procesu wzbogacania prowadzonego w różnych warunkach polega na porównaniu kształtu krzywych wzbogacalności przy czym brakowi wzbogacania odpowiada w obu przypadkach prosta, charakteryzująca zawartość cennego składnika we wzbogaconym surowcu mineralnym. O ile wspom-

niane krzywe wzbogacalności w sposób zadowalający charakteryzują łatwość wzbogacania surowca mineralnego to dla porównawczej oceny większej ilości prób na przykład flotacji są raczej kłopotliwe. Wykreślanie krzywych jest dosyć pracochłonne a w przypadku krzywych Della poprzedzone dodatkowym obliczeniem nie spotykanej dotychczas w praktyce przeróbkarskiej wielkości wagi koncentratu w której znajduje się 100 jednostek cennego składnika. W większości wspomnianych przypadków, z wyjątkiem zmodyfikowanych przez Andrewsa [3] krzywych Nixona i Moira, niewielkie nawet różnice zawartości cennego składnika we wzbogaconym surowcu utrudniają porównanie odpowiednich krzywych wzbogacalności między sobą.

Autor badając skuteczność różnych odczynników flotacyjnych poszukiwał stosunkowo prostego, graficznego sposobu porównywania wyników flotacji próbek rud o zbliżonej lecz nieidentycznej (znane trudności dokładnego uśredniania rud) zawartości metalu.

Sposób przedstawiony w niniejszym opracowaniu wydaje się w znacznym stopniu spełniać pokładane nadzieje.

Punktem wyjścia jest znany wzór:

$$\xi = \frac{\beta \cdot \gamma}{\alpha} \quad (1)$$

gdzie:

$\xi$  - uzysk metalu

$\beta$  - zawartość metalu w koncentracie

$\alpha$  - zawartość metalu w nadawie (rudzie).

W przypadku laboratoryjnych prób wzbogacania wszystkie wielkości po prawej stronie równania są bezpośrednio mierzalne lub są wynikiem prostych obliczeń. Wzór (1) można napisać w następującej postaci:

$$\xi = S \cdot \gamma \quad (2)$$

gdzie:

$S = \frac{\beta}{\alpha}$  - jest stopniem wzbogacenia.

W ten sposób uzysk  $\xi$  staje się funkcją tylko dwu zmiennych a jej obrazem geometrycznym jest zakrzywiona powierzchnia w przestrzeni. Równanie (2) można bardzo prosto przekształcić w równanie liniowe pierwszego stopnia logarytmując je:

$$\lg \xi = \lg S + \lg \gamma \quad (3)$$

Obrazem geometrycznym takiej funkcji jest płaszczyzna przechodząca przez początek układu. W celu ustalenia położenia tej płaszczyzny w układzie współrzędnych prostokątnych należy sobie uświadomić, że:

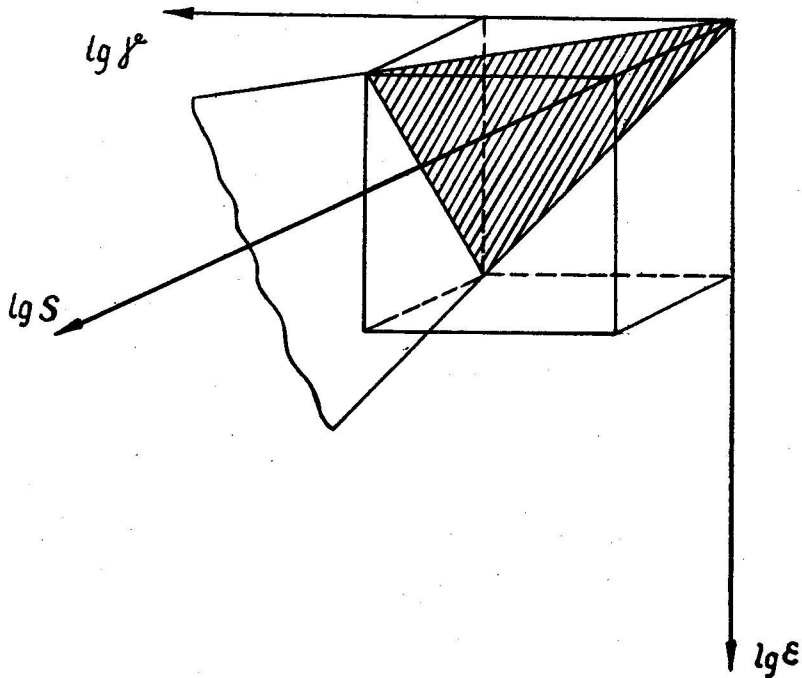
$$\begin{array}{l} \xi \leq 1 \\ \gamma \leq 1 \\ S \geq 1 \end{array} \quad (4) \quad \begin{array}{l} \text{(chwilowo odstępujemy od} \\ \text{zwyczajowego podawania} \\ \text{\xi i } \gamma \text{ w \%)} \end{array}$$

lub po zlogarytmowaniu:

$$\begin{array}{l} \lg \xi \leq 0 \\ \lg \gamma \leq 0 \\ \lg S \geq 0 \end{array} \quad (4)$$

Płaszczyzna obrazem geometrycznym której jest funkcja (3) leży w tej ósemce (oktancie) przestrzeni kartezjańskiego układu współrzędnych prostokątnych w której osie  $\lg \gamma$  i  $\lg \xi$  mają kierunki ujemne (odpowiednio w lewo i w dół od początku układu współrzędnych), a oś  $\lg S$  kierunek dodatni (w kierunku obserwatora).

Z nierówności (4) i (4) wynika, że płaszczyzna funkcji styka się, lecz ich nie przecina, z płaszczyznami współrzędnych  $0, \lg \gamma, \lg \xi$  i  $0, \lg \gamma, \lg S$ , a jej ślady na tych



Rys. 1. Przebieg płaszczyzny funkcji  $\lg \epsilon = \lg S + \lg \gamma$  w prostokątnym układzie współrzędnych.

płaszczyznach biegną pod kątem  $45^\circ$ . Ślad płaszczyzny funkcji (3) na płaszczyźnie współrzędnych  $0, \lg \gamma, \lg \epsilon$ , odpowiada przypadkowi zupełnego braku wzbogacenia gdy  $\alpha = \beta$ ,  $S = 1$  i  $\epsilon = \gamma$ , natomiast odpowiedni ślad na płaszczyźnie  $0, \lg \gamma, \lg S$  odpowiada najwyższemu możliwemu uzyskowi gdy  $\epsilon = 1$ ,  $S = \frac{1}{\gamma}$  a  $\lg S = -\lg \gamma$ .

Każdy punkt na płaszczyźnie funkcji

$$\lg \epsilon = \lg S + \lg \gamma \quad (3)$$

odpowiada określönemu wynikowi próby wzbogacania o wychodzie  $\gamma_i$  i stopniu wzbogacenia  $S_i$ . W przypadku prowadzenia prób frakcjonowanych  $n$  frakcjom o wychodach sumarycznych  $\sum \gamma_i$  i odpowiadającym im średnio ważonym stopniom wzbogacenia

$$S = \frac{\sum \gamma_i S_i}{\sum \gamma_i}$$

(gdzie:  $\gamma_i$  - wychód i-tej frakcji i  $S_i$  - stopień wzbogacenia i-tej frakcji) odpowiada n punktów leżących na płaszczyźnie funkcji.

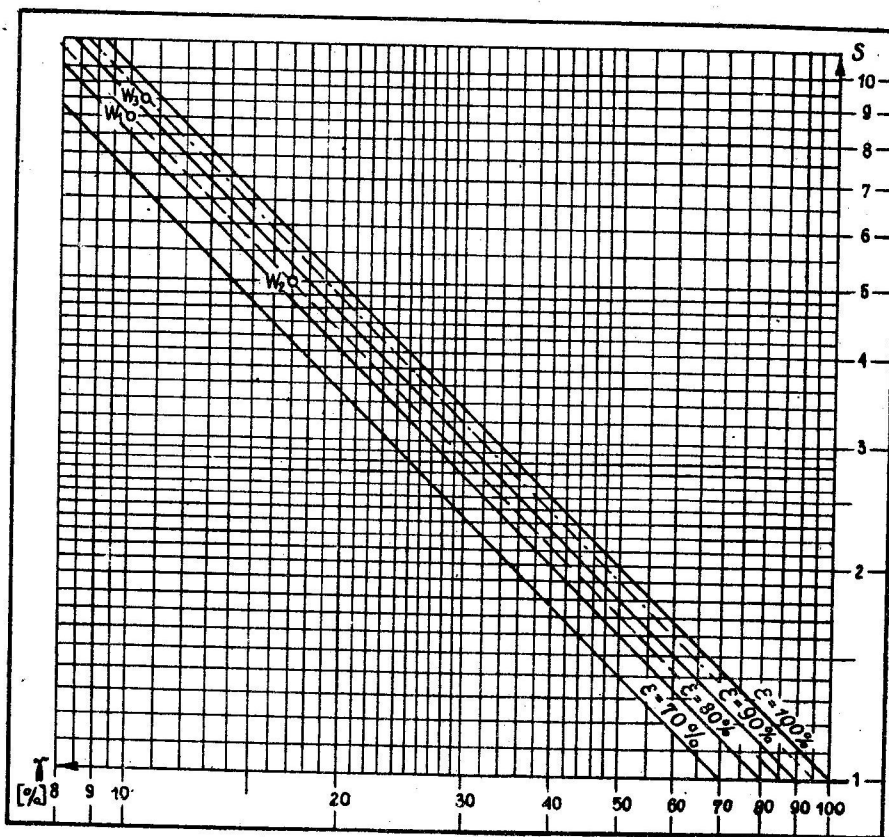
Przedstawianie wyników prób wzbogacania na płaszczyźnie leżącej w trójwymiarowej przestrzeni jest niedogodne i dlatego wygodniej przedstawiać je w postaci rzutów punktu na płaszczyznę współrzędnych 0,  $\lg \gamma$ ,  $\lg S$ .

Dalsze udogodnienie polega na zastąpieniu liniowej podziałki osi  $\lg \gamma$ , i  $\lg S$  zmuszającej do uprzedniego obliczania (a właściwie wyszukiwania w tablicach) wartości odpowiednich logarytmów z podziałką logarytmiczną dostępną w handlu w postaci odpowiednich siatek na papierze lub kalce.

W olbrzymiej większości przypadków dla przedstawienia wyników procesu wzbogacania wystarcza siatka obejmująca dwie dekady tj. zakres wychodów od 0,01-1 (1-100%) i zakres stopnia wzbogacenia od 1-100.

Siatkę taką przedstawia rys. 2. Prosta przechodząca przez punkt  $\gamma = 1$  i nachylona do osi  $\lg \gamma$  pod kątem  $45^\circ$  jest śladem płaszczyzny funkcji (3), na płaszczyznę współrzędnych 0,  $\lg \gamma$ ,  $\lg S$  i jak wspomniano odpowiada uzyskowi  $\epsilon = 1$  (100%). Równoległe do niej proste są rzutami śladów przecięcia płaszczyzny funkcji (3) z powierzchniami współrzędnej  $\lg \epsilon$  dla  $\epsilon = 0,9$  (90%);  $\epsilon = 0,8$  (80%) itd.

Jeśli chcemy na takiej siatce przedstawić wynik próby wzbogacenia  $W_1$  w której osiągnięto stopień wzbogacenia  $S = 8,5$  przy wychodzie  $\gamma = 0,1$  (10%) zaznaczamy punkt  $W_1$  na przecięciu odpowiednich współrzędnych. Punkt ten jak widać na rys. 2 leży pomiędzy prostymi skośnymi odpowiadającymi  $\epsilon = 0,8$  i  $\epsilon = 0,9$ . Wartość liczbową  $\epsilon$  dla próby  $W_1$  uzyskujemy prowadząc przez punkt  $W_1$  prostą na-



Rys. 2. Przykład graficznego przedstawienia wyników procesu wzbogacania w układzie współrzędnym  $\lg S, \lg \gamma$

chyloną pod kątem  $45^\circ$  do osi  $\gamma$  i  $S$ . Prosta ta przecina oś  $\gamma$  w punkcie 0,85 i tej też wartości odpowiada  $\epsilon$ . Wynika to z faktu, że oś  $\gamma$  przecina oś  $S$  w punkcie  $S=1$  a więc  $\epsilon = 1 \times \gamma$ . Z właściwości skali logarytmicznej wynika, że jeśli na osi  $\lg \gamma$  wychód zaznaczony będzie w  $\%$  to również wartość  $\epsilon$  zostanie odczytana w  $\%$ . Odpowiada to przesunięciu początkowo układu współrzędnych o dwie dekady na płaszczyźnie współrzędnych  $\lg \gamma, \lg \epsilon$ , w kierunku dodatnim. Należy zwrócić uwagę czytelnika, że znając war-

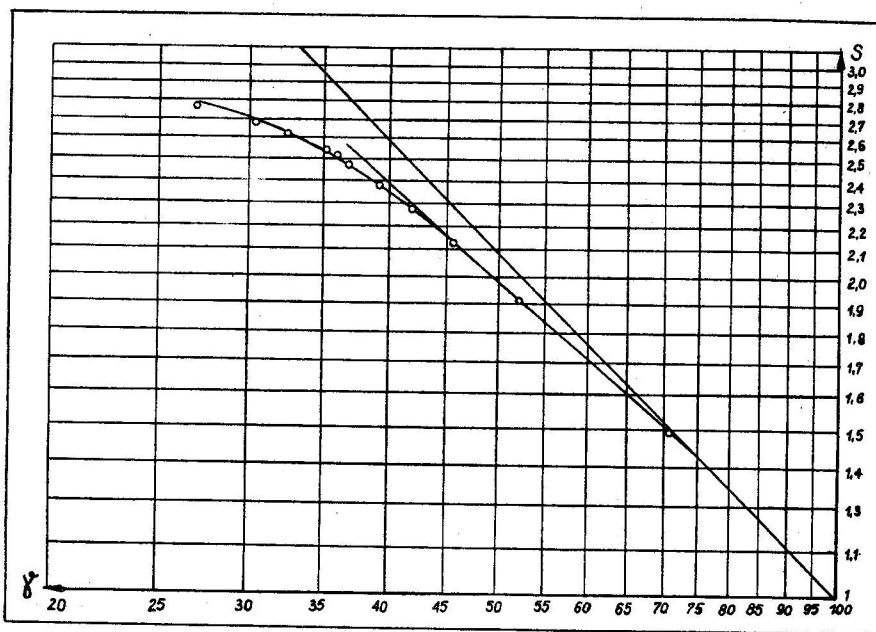
tości  $\gamma$  i  $S$  (jako dane eksperymentalne) wartość  $\epsilon$  można znaleźć bez obliczania, posługując się siatką jako nomogramem.

Położenie punktu  $W_2$  na rysunku 2 odpowiada wynikowi próby wzbogacania  $W_2$  w której osiągnięto  $S = 5$  i  $\gamma = 0,17$  (17%). Uzysk w tym przypadku wynosi również 0,85 (85%). Oczywiście wynik  $W_1$  jest korzystniejszy od wyniku  $W_2$  gdyż temu samemu uzyskowi odpowiada wyższy stopień wzbogacenia. W proponowanym układzie współrzędnych jeszcze lepszemu wynikowi odpowiada punkt leżący bliżej prostej  $\epsilon = 100\%$  i o wyższym stopniu wzbogacenia. Takim jest punkt  $W_3$  o współrzędnych  $S = 9$  i  $\gamma = 10,5\%$  dla którego  $\epsilon = 94,5\%$ . Znacznie większą wartość dla każdego przeróbkarza mają wyniki prób wzbogacania w których otrzymuje się kilka frakcji. Sposób ten jest zresztą podstawą konstrukcji wszystkich krzywych wzbogacalności.

Autor korzystając z różnych źródeł, głównie sprawozdań z prac badawczych IMN, sporządził w opisywanym układzie współrzędnych kilkadziesiąt wykresów zależności  $\epsilon = S \cdot \gamma$  przedstawiających wyniki laboratoryjnych prób frakcjonowanej flotacji różnych rud i prowadzonej w różnych warunkach.

Typowy kształt uzyskanych wykresów przedstawia rys. 3. Charakterystyczną i raczej nieoczekiwaną, cechą tych wykresów jest układanie się punktów odpowiadających wyższych wychodom prawie dokładnie na liniach prostych nachylonych w stosunku do osi  $\gamma$  pod kątem mniejszym od  $45^\circ$ .

Rys. 3 jest tym bardziej interesujący, że przedstawia wyniki analizy węgla surowego w cieczach ciężkich (przykład zaczerpnięty ze skryptu W. Stępińskiego (1) s. 123. Wychód  $\gamma$  odpowiada wychodowi frakcji tonącej (odpadu), a stopień wzbogacenia  $S$  stosunkowi zawartości popiołu we frakcji tonącej do zawartości popiołu w wyjściowej próbce węgla (tabl. 1).



Rys. 3. Krzywa wzbogacania węgla surowego w cieczach ciężkich w układzie  $\lg S, \lg \gamma$

W podobny sposób przedstawia się zależność  $S$  od  $\gamma$  dla prób flotacji różnych rud prowadzonych w bardzo odmiennych warunkach. Rys. 4 - przedstawia wyniki frakcjonowanych prób flotacji blendy cynkowej, rudy miedzi (5) i albańskiej rudy chromitowej (6). W każdym przypadku przedstawiono wyniki dwu flotacji. Próby flotacji blendy przeprowadzone były w podobnych warunkach lecz w odstępie prawie 3 lat. Próby flotacji rud miedzi odpowiadają jednej serii prób przeprowadzonej z różnymi odczynnikami pianotwórczymi - alfaterpineolem i flosolem. W próbach flotacji rudy chromitowej różnica polega na rodzaju zbieracza i sposobu przygotowania rudy do flotacji. We wszystkich tych próbach punkty odpowiadające wyższym wychodom układają się, z bardzo dobrym przybliżeniem, wzdłuż linii pro-

Tablica 1

Wyniki analizy węgla surowego w cieczach ciężkich  
 W. Stępiński [1] s. 123

| Ciężar<br>właśc.<br>cieczy | Sumaryczny<br>wychód frakcji<br>tonącej $\sum \gamma$ | Zawartość po-<br>piołu we frak-<br>cji tonącej $\beta$ | $S = \frac{\beta}{\alpha}$ |
|----------------------------|---|--|----------------------------|
|                            |   | $\alpha = 29,8$  | 1,00                       |
| 1,224                      | 71,0  | 41,0   | 1,38                       |
| 1,25                       | 52,23   | 54,0   | 1,81                       |
| 1,30                       | 45,5  | 60,6   | 2,03                       |
| 1,35                       | 42,1  | 64,4   | 2,16                       |
| 1,40                       | 39,2  | 67,6   | 2,27                       |
| 1,45                       | 36,7  | 70,4   | 2,36                       |
| 1,50                       | 36,0  | 71,2   | 2,39                       |
| 1,55                       | 35,2  | 72,7   | 2,44                       |
| 1,60                       | 32,4  | 75,2   | 2,52                       |
| 1,70                       | 30,3  | 76,8   | 2,58                       |
| 1,80                       | 27,0  | 79,3   | 2,66                       |
| 1,90                       | 0   |  |                            |
| 2,058                      | 0   |  |                            |

stych. Porównanie przebiegu tych linii umożliwia jakościową ocenę skuteczności procesu wzbogacania. Dla oceny ilościowej można ułożyć równania linii prostych o ogólnym wzorze:

$$\lg S = \lg a - b \lg \gamma \quad (5)$$

gdzie:

a i b są stałymi przy czym b - jest  $\leq 1$ .

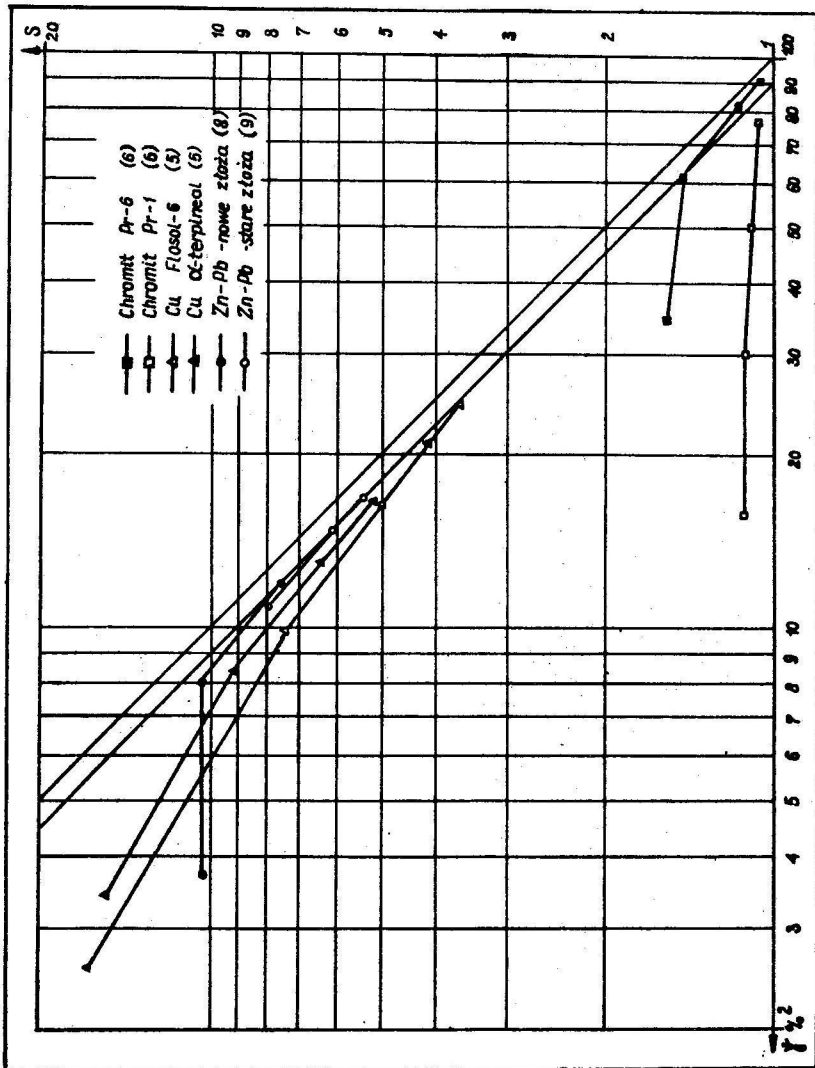
Skuteczność procesu wzbogacania jest tym lepsza im "a" jest większe, a "b" mniejsze. Odpowiada mniejszemu nachyleniu prostej biegnącej "wyżej". Konieczność użycia co najmniej dwu parametrów dla charakterystyki skuteczność procesu wzbogacania jest ujemną stroną wielu sposobów stosowanych do tego celu, co spowodowało liczne usiłowania wprowadzenia różnego rodzaju współczynników wzbogacania. Kilkadziesiąt takich współczynników omawia Barski [7].

W przedstawionym sposobie graficznej oceny wyników wzbogacania istnieje możliwość charakteryzowania ich jedną liczbą. Liczbą tą jest współrzędna S (lub  $\gamma$ ) punktu przecięcia ostatniego, prostego, odcinka krzywej z nachyloną pod kątem  $45^\circ$  prostą odpowiadającą wybranemu dla danej serii prób optymalnemu uzyskowi. Proponuje się oznaczanie takiego stopnia wzbogacania np. literą  $S_{90}$  jeśli za optymalny dla danej serii prób uznamy uzysk  $\xi = 90\%$  (odpowiednio  $S_{85}$  czy  $S_{95}$  dla uzysków 85% lub 95%). W niektórych przypadkach znajdzie konieczność ekstrapolacji tj. przedłużenia prostego odcinka krzywej. Punkt przecięcia można wyznaczyć wykreślnie lub obliczyć z układu równań:

$$\lg S = \lg a - b \lg \gamma$$

$$\lg \xi = \lg S + \lg \gamma$$

gdzie  $\xi$  jest wybranym dla porównań uzyskiem



Rys. 4. Graficzne przedstawienie wyników frakcjonowanych flotacji blendy cynkowej, rudy miedzi i rudy chromitowej w układzie lgs, lgy

Tablica 2

Wyniki prób flotacji blendy cynkowej [8,9] rudy Cu [5]  
i albańskiej rudy chromitowej [6]

| Lp. | Wzbogacony surowiec | $\alpha$ | $\gamma$ | $\beta$ | $\varepsilon = \frac{\beta}{\alpha}$ | $\varepsilon$ |
|-----|---------------------|----------|----------|---------|--------------------------------------|---------------|
| 1   | Blenda cynkowa [8]  | 4,86     | 3,7      | 49,6    | 10,2                                 | 37,7          |
|     |                     |          | 8,0      | 50,4    | 10,4                                 | 83,0          |
|     |                     |          | 9,7      | 43,9    | 9,0                                  | 87,7          |
|     |                     |          | 11,9     | 36,4    | 7,5                                  | 89,1          |
| 2   | Blenda cynkowa [9]  | 5,77     | 10,7     | 45,9    | 8,0                                  | 85,5          |
|     |                     |          | 14,7     | 35,4    | 6,1                                  | 90,0          |
|     |                     |          | 16,7     | 31,3    | 5,4                                  | 90,8          |
| 3   | Ruda Cu [5]         | 1,59     | 2,6      | 26,3    | 16,5                                 | 42,8          |
|     |                     |          | 9,8      | 11,8    | 7,4                                  | 72,6          |
|     |                     |          | 16,3     | 8,1     | 5,1                                  | 82,5          |
|     |                     |          | 20,9     | 6,6     | 4,2                                  | 86,7          |
|     |                     |          | 24,3     | 5,8     | 3,6                                  | 88,5          |
| 4   | Ruda Cu [5]         | 3,57     | 0,66     | 34,9    | 22,2                                 | 14,7          |
|     |                     |          | 3,6      | 24,0    | 15,3                                 | 54,5          |
|     |                     |          | 8,4      | 14,3    | 9,1                                  | 76,8          |
|     |                     |          | 13,0     | 10,2    | 6,5                                  | 83,9          |
|     |                     |          | 16,6     | 8,2     | 5,3                                  | 87,3          |
| 5   | Ruda chromit. [6]   | 31,16    | 15,7     | 35,1    | 1,13                                 | 17,7          |
|     |                     |          | 29,9     | 34,9    | 1,12                                 | 33,6          |
|     |                     |          | 49,6     | 34,4    | 1,10                                 | 54,8          |
|     |                     |          | 76,8     | 33,4    | 1,07                                 | 82,4          |
| 6   | Ruda chromit. [6]   | 31,51    | 32,3     | 49,1    | 1,56                                 | 50,3          |
|     |                     |          | 61,0     | 45,4    | 1,44                                 | 87,9          |
|     |                     |          | 81,6     | 36,1    | 1,15                                 | 93,4          |
|     |                     |          | 91,3     | 33,3    | 1,06                                 | 96,5          |

Rozwiązanie układu równań (2) i (5) daje wzór na  $\lg S \xi_0$   
(punkt przecięcia)

$$\lg S \xi_0 = \frac{1}{1-b} (\lg a - b \lg \xi_0) \quad (6)$$

gdzie:

- $S \xi_0$  - stopień wzbogacenia przy obranym uzysku
- $b$  - współczynnik nachylenia prostej
- $a$  - współczynnik stały

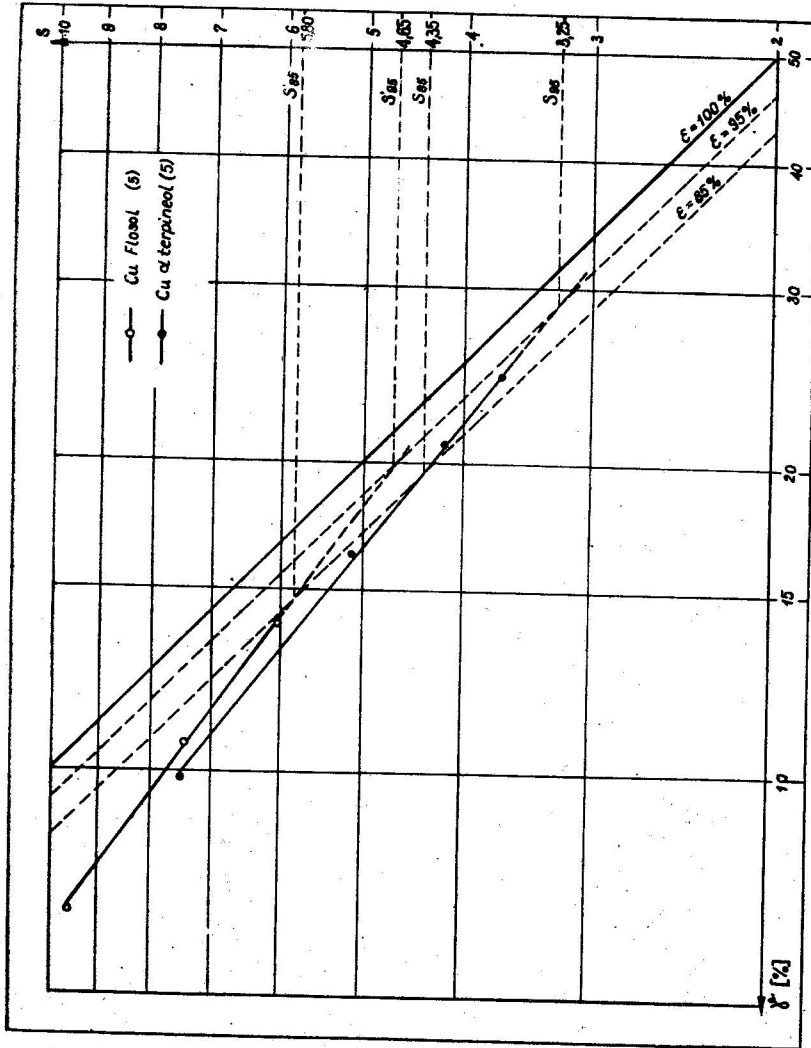
lub w formie potęgowej

$$S \xi_0 = \left( \frac{a}{\xi_0^b} \right)^{\frac{1}{1-b}} \quad (6)$$

Biorąc pod uwagę, że "końcowe punkty" krzywych  $S = f(\gamma)$  leżą tylko w przybliżeniu na prostej, nie mówiąc już o ich odchyleniach spowodowanych błędami przypadkowymi, stałe "b" i "a" w równaniu  $\lg S = \lg a - b \lg \gamma$  dogodniej jest wyznaczyć z prostej tak wykreślonej, aby przebiegała możliwie blisko punktów odpowiadających wynikom próby wzbogacania.

Punkt przecięcia  $S \xi_0$  lepiej natomiast wyznaczyć z równania (6) lub (6'), gdyż proste "ξ" i  $S = f(\gamma)$  przecinają się na ogół pod bardzo ostrym kątem co utrudnia jednoznaczne wyznaczenie tego punktu.

W wielu przypadkach do wykonania niezbędnych obliczeń wystarcza normalny suwak logarytmiczny (o długości 25 cm). Na rys. 5 przedstawiono graficzną interpretację wyników dwu laboratoryjnych prób flotacji tej samej rudy Cu w których parametrem zmiennym był tylko rodzaj odczynnika pianotwórczego. Krzywa, a właściwie prosta 1, odpowiada wynikom osiągniętym z Flosolem, prosta 2 - z alfa terpineolem. W pierwszym przypadku  $S_{85} = 5,80$  w drugim  $S_{85} = 4,35$ .



Rys. 5. Przykład graficznego wyznaczenia wskaźnika  $S\epsilon_0$  dla dwu prób frakcjonowanej flotacji rudy miedzi przy zastosowaniu różnych spieniaczy - alfaterpineolu i flosolu

Porównanie wskaźników  $S_0$  wykazuje bardziej selektywne działanie spieniacza Flosol w stosunku do skały pływnej.

Należy zwrócić uwagę na różny kąt nachylenia prostych odpowiadających obydwu próbom flotacji. Przebieg prostej 1 świadczy również o większej skuteczności odczynnika Flosol w danych warunkach flotacji. Ze wzrostem uzysku stopień wzbogacenia maleje wolniej niż w przypadku stosowania alfaterpineolu.

Dalsze badania przydatności proponowanego sposobu graficznej interpretacji wyników procesów wzbogacania oraz tkwiących w nim możliwości trwają.

### Wnioski

Zaproponowano przedstawianie wyników prób wzbogacania w postaci krzywych  $\lg S = f(\lg \gamma)$  gdzie  $S = \frac{\alpha}{\beta}$  jest wskaźnikiem stopnia wzbogacania co pozwala na bezpośrednie porównywanie nadaw różniących się, w pewnych granicach, zawartością cennego składnika. Sporządzając wykres funkcji  $\lg S = f(\lg \gamma)$  na siatce logarytmicznej można siatkę tę wykorzystać jako nomogram dla obliczenia  $\xi$  bez konieczności wprowadzania dodatkowych skal.

W przedziale uzysków  $\xi = 75-95\%$ , a więc najbardziej dla przeróbkarza interesującym, punkty odpowiadające wskaźnikom wzbogacenia różnych surowców  $S$  i  $\gamma$  układają się z dobrym przybliżeniem na liniach prostych o równaniu empirycznym

$$\lg S = \lg a - b \lg \gamma$$

gdzie:

"a" i "b" są to wielkości stałe.

Fakt ten ułatwia zarówno interpolację wyników jak ich ekstrapolację (lecz tylko w kierunku większych wartości  $\gamma$  gdyż przy niskich wychodach obrazem funkcji  $\lg S = f(\lg \gamma)$  jest linią krzywą).

Położenie wykresu funkcji  $\lg S = f(\lg \gamma)$  na płaszczyźnie współrzędnych  $O, \lg S, \lg \gamma$  pozwala na szybką jakościową ocenę efektywności procesu wzbogacania. W charakterze ilościowego miernika efektywności wzbogacania proponuje się przyjęcie stopnia wzbogacania  $S\epsilon_0$  odpowiadającego obranemu i jednakowemu dla całej serii prób, uzyskowi  $\epsilon_0$ . Wskaźnik  $S\epsilon_0$  można wyznaczyć graficznie lub obliczyć.

Autor pragnie podziękować mgr inż. Tadeuszowi Grabowskiemu za pomoc okazaną przy przygotowaniu przedstawionego materiału do druku w szczególności jego części graficznej.

#### LITERATURA

1. Stępiński W.: Wzbogacanie grawitacyjne (skrypt) PWN - 1964.
2. Nixon J.C., Moir D.N.: Trans. Inst. Min. Met. (1956-57) s. 66.
3. Andrews W.M.: Trudy Międzynarodowego Kongressa po obogaszcz. Polezn. Iskop., s. 641-54, Gosgortiechizdat - 1962.
4. Laskowski J., Lupa Z.: Prace Nauk. Inst. Górn. Pol. Wrocł. Nr 3, s. 229-249.
5. Sprawozdanie IMN nr 1335/III/70.
6. Sobieraj S.: Praca doktorska.

7. Barskij E.A.: Zaw. Łab. nr 7, 32 (1966) s. 832.
8. Sprawozdanie IMN, nr 1056/VII/72.
9. Nieopubl. wyniki bieżących prac IMN.