

Petr VODVÁRKA\*,  
Anna MARŠIKOVÁ\*

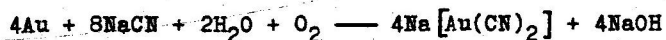
## STATYSTYCZNA OCENA LABORATORYJNYCH PRÓB ŁUGOWANIA CYJANKOWEGO RUD ŻŁOTA

W pracy opisano zależność pomiędzy uzyskami złota ( $\epsilon$ ) z różnych rud złotonośnych i czasem ich cyjankowego ługowania ( $T$ ) oraz stężeniem cyjanków za pomocą funkcji:

$$= a_0 + \frac{a_1}{T} + \frac{a_2}{T \cdot e} \quad \text{gdzie; } a_0, a_1, a_2 \text{ są stałymi.}$$

### Wstęp

W celu przerobu tlenkowych i siarczkowych rud złotonośnych bardzo często stosuje się metody bezpośredniego ługowania cyjankowego. Metoda ta polega na roztwarzaniu złota w wodnym roztworze cyjanku sodu lub potasu. Otrzymuje się wtedy kompleks dwucyjanozłotowy (I) zgodnie z reakcją:



Przejsięcie złota z rudy do roztworu zależy od wielu czynników, a najważniejszymi są czas ługowania i stężenie cyjanków w roztworze ługującym. Z innych czynników mających wpływ na ługowanie należy wymienić nasycenie roztworu ługującego tlenem z powietrza (który ułatwia przechodzenie złota do roztworu) oraz wielkość powierzchni dyfuzji, temperaturę, czas agitacji itd.

\* Ore Research Institute, 25210 Mnisek pod Brdy, Czechoslovakia

### Ocena danych eksperymentalnych

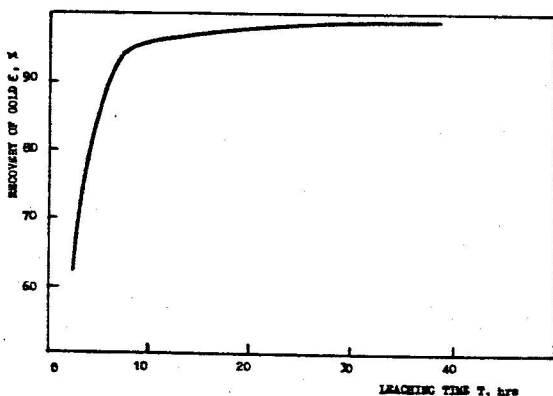
W trakcie badań statystycznych stwierdzono, że w procesie ługowania złota cyjankami głównymi czynnikami, od których zależy efekt roztwarzania złota są czas ługowania i stężenie cyjanków. Z tego powodu ocenę statystyczną procesu oparto na określeniu wpływu jedynie tych dwóch parametrów. Inne czynniki pominięto gdyż ich wpływ okazał się statystycznie nieistotny.

Potrzebne do oceny statystycznej dane otrzymano w trakcie testów laboratoryjnych wykonując szereg doświadczeń kinetycznych ze zmianą czasu ługowania od 1 do 48 godzin i stężenia początkowego cyjanku od 0,5 do 8 g/dm<sup>3</sup>. Masa próbek, stosunek fazy stałej do ciekłej, intensywność mieszania, temperatura itd. były stałe. Po każdym z testów ługowania określano uzysk złota w roztworze.

Doświadczenie podporządkowano celowi pracy jakim było określenie równania regresji opisującego zależność uzysku złota od czasu ługowania i stężenia cyjanku dla rud złotonosnych pochodzących z różnych złóż.

### Korelację cząstkowe

W pierwszej fazie analizy zbadano korelacje pomiędzy uzyskiem złota i czasem ługowania oraz pomiędzy uzyskiem złota i stężeniem cyjanku. Na podstawie tych korelacji określono charakter cząstkowych regresji, które mają postać nieliniową. Wyniki eksperymentalne wykazały, że uzysk jest funkcją rosnącą zarówno względem  $T$  jak i  $c$ . W zakresie niższych



Rys. 1. Typowa krzywa ługowania złota z rudy

Fig. 1. Typical leaching curve for gold-bearing ore

stężeń i początkowego czasu ługowania wzrost uzysku jest szybszy niż w zakresie wyższych stężeń i dłuższych czasów gdzie uzysk powoli osiąga stałą wartość. Jako zależność pomiędzy uzyskiem a czasem określono następującą postać równania regresji:

$$\xi = a_0 + b/T \quad (1)$$

Istnieje silny związek pomiędzy obu zmiennymi. Stwierdzono, że 40-50 % całkowitej zmienności uzysku występuje w zakresie czasu ługowania od 1 do 48 godzin. Współczynniki  $a_0$  i  $b$  w powyższym równaniu określono metodą najmniejszych kwadratów. Odpowiedniość wyboru takiej funkcji potwierdza silny związek pomiędzy średnimi arytmetycznymi grupowymi  $\bar{\xi}$  a  $T$ . Poszczególne średnie uzyski w grupach były obliczane jako średnie arytmetyczne dla stałego  $T$  i dla różnych stężeń cyjanku  $c$ . Współczynnik korelacji wynosił wówczas około 0.8. Wpływ początkowego stężenia cyjanku

Table 1  
Regression relations  $\xi = f(T)$  used for the tested set of ores

Deposit		Form of function	Correlation coefficient (r)
Single Values of $\xi$	A	$\xi = 91,59 - 14,14/T$	- 0,63
	B	$\xi = 93,99 - 27,85/T$	- 0,68
	C	$\xi = 91,73 - 12,48/T$	- 0,69
	D	$\xi = 80,79 - 6,08/T$	- 0,40
Group arithmetic means ( $\bar{\xi}$ )	A	$\bar{\xi} = 91,29 - 13,87/T$	- 0,84
	B	$\bar{\xi} = 93,99 - 27,85/T$	- 0,98
	C	$\bar{\xi} = 92,65 - 13,84/T$	- 0,93
	D	$\bar{\xi} = 80,71 - 6,08/T$	- 0,72

w roztworze ługującym okazał się nikły. Jeżeli użyje się zależności typu  $\xi = a_0 + b/c$  to można stwierdzić, że około 20 % całkowitej zmienności  $\xi$  wynika z wpływu tej zmiennej.

#### Zależność regresyjna pomiędzy $\xi$ a $T$ i $c$

W celu określenia postaci regresji pomiędzy uzyskiem i obiema zmiennymi wykorzystano obliczone wcześniej korelacje cząstkowe. Badano związki pomiędzy współczynnikami  $a_0$  i  $b$  a początkowym stężeniem cyjanku  $c$ . Współczynnik  $a_0$  wzięto jako niezależny od  $c$ . Współczynnik  $b$  zmieniał się znacząco ze zmianą  $c$  i opisano to za pomocą równania (2);

$$b = a_1 + a_2/c \quad (2)$$

Współczynnik korelacji w tym przypadku wynosił około 0.7. Taka zależność była najbardziej ścisła spośród wszystkich wziętych pod uwagę. Jeżeli parametr  $b$  w równaniu (1) uznamy jako funkcję stężenia cyjanku (równanie (2)) to można zaproponować następującą funkcję regresji;

$$\xi = a_0 + \frac{a_1}{T} + \frac{a_2}{T \cdot c} \quad (3)$$

Współczynnik korelacji w tym przypadku wynosi od 0,76 do 0,96. Oznacza to, że 60-90 % zmienności uzysku złota można wyjaśnić stosując zależność (3) a 10 do 40 % rozrzutu wyników ma swą przyczynę w innych niekontrolowanych parametrach procesu.

Table 2

Gold recovery ( $\xi$ ) as a function of independent variables  $T$  and  $c$  for the tested gold-bearing ores

Deposit	Dependence $\xi = f(T, c)$	Correlation Coefficient ( $r$ )
A	$\xi = 91,59 - 7,36/T - 7,05/T \cdot c$	0,76
B	$\xi = 94,07 - 2,54/T - 33,57/T \cdot c$	0,96
C	$\xi = 91,73 - 5,99/T - 8,75/T \cdot c$	0,81
D	$\xi = 80,76 - 3,05/T - 4,09/T \cdot c$	0,41

Próbowano również zastosować kilka innych postaci regresji dla opisu zależności  $\xi = f(T, c)$ . Stwierdzono prawie identyczny związek jak dla równania (3) stosując funkcję typu;

$$\xi = a_0 + \frac{a_1}{T} + \frac{a_2}{T \cdot c^2}$$

Ponieważ różnica okazała się nieznaczna dano pierwszeństwo prostszej formie regresji opisanego równaniem (3).

#### Podsumowanie

Stwierdzono, że jest możliwe użycie tej samej funkcji regresji dla opisu procesu ługowania różnych typów rud złotonośnych. W ten sposób dokonać można pewnych uogólnień wskazujących na istotną zależność uzysku od czasu ługowania i początkowego stężenia czynnika ługującego. Jeżeli to uogólnienie jest słuszne dla innych rud złotonośnych z różnych złóż to pozwoli ono na znaczne zredukowanie ilości badań kinetycznych dla oceny procesu ługowania. Inną zaletą opisanego funkcji jest jej prostota.

## ABSTRACT

Vodvářka P., Maršíková A., 1986. Statistical evaluation of results obtained from laboratory tests of cyanidation of gold-bearing ores. Physicochem. Probl. Miner. Process. 18; 135-139, (polish text).

From direct cyanidation of gold-bearing ores a set of experimental data can be obtained. Leaching time (T) and initial cyanide concentration (c) are the principal parameters which influence gold recovery,  $\epsilon$ ; therefore the statistical evaluation of results of cyanidation of gold-bearing ores involves only the influence of T and c (the effect of other factors is not considered).

The purpose the above evaluation was to describe the relation between  $\epsilon$  and both the independent variables T and c using a homogenous type of function for various ores. An attempt was made to find out the most universal solution which could describe the whole collection of four tested gold-bearing ores.

## СОДЕРЖАНИЕ

П.Водварка, А.Маршкова 1986. Статистическая оценка результатов, полученных из лабораторных тестов цианидизации золотосодержащих руд. Физико-химические вопросы обогащения, 18; 135-139.

В работе описана зависимость между извлечением золота  $\epsilon$  из различных сортов золотосодержащих руд и временем их цианидизации  $T$ , а также концентрацией цианидов в водном растворе  $C$  в процессе выщелачивания при помощи функции

$$\epsilon = a_0 + \frac{a_1}{T} + \frac{a_2}{TC}$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  - постоянные величины.