

INSTYTUT CHEMII NIEORGANICZNEJ
I METALURGII PIERWIASTKÓW RZADKICH
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Komunikat nr 160

OCENA PRZEBIEGU PROCESÓW PRZERÓB-
CZYCH W ZAKŁADACH PRZERÓBKI RUD
MIEDZI W ŚWIELE BADAŃ STATYSTY-
CZNYCH

Andrzej HUSZCZKIEWICZ

Słowa kluczowe: przeróbka kopalin, technologia wzbogacania,
rudy miedzi, ocena procesów



Mgr inż. Andrzej Łuszczkiewicz

Instytut Chemii Nieorganicznej
i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich

Wrocław ul. M. Smoluchowskiego 23

Budynek A-3

Komunikat
wpłynął do Redakcji
Instytutu
3.01.1976.

INSTYTUT GÓRNICCTWA
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

ROZPRAWA DOKTORSKA

Ocena przebiegu procesów przeróbczych
w zakładach przeróbki rud miedzi w świetle
badań statystycznych

mgr inż. Andrzej ŁUSZCZKIEWICZ

promotor:

doc.dr hab. inż. Marek STEPAŃSKI

WROCŁAW 1975 r.

S p i s t r e ś c i

s t r o n a

<u>W s t e p</u>	2
1. C e l p r a c y	5
2. P r z e g l ą d l i t e r a t u r y d o t y c z ą c e j o c e n y p r z e b i e g u p r o c e s u w z b o g a c a n i a	7
2.1. Probabilistyczne metody badawcze a właściwości procesów wzbogacania	7
2.2. Przegląd metod oceny procesów wzbogacania	14
2.2.1. Proces ciągły a wzbogacalność kopalin	14
2.2.2. Krzywe wzbogacalności	18
2.2.3. Metody oceny przemysłowych pro- cesów flotacji	31
2.3. Uwagi o zastosowaniu metod statys- tycznych do oceny przebiegu prze- mysłowych procesów wzbogacania....	37
<u>B a d a n i a w ł a s n e</u>	
3. B a d a n i a p o d s t a w o w y c h w s k a ź n i k ó w t e c h n o l o - g i c z n y c h w z b o g a c e n i a r u d m i e d z i	48
3.1. Wzbogacalność rud miedzi z rejonu Lubina	48
3.2. Opis zakładu i wybór danych do badań	61
3.3. Ocena typu rozkładu prawdopodobień- stwa podstawowych wskaźników techno- logicznych	66

3.4.	Badania wstępne związków między podstawowymi wskaźnikami procesu	72
3.5.	Wyznaczenie równań regresji dla wybranych korelacji. Wskaźnik oceny	82
4.	Badanie wpływu zmian w technologii na wyniki wzbogacania	88
4.1.	Zmiany w technologii	88
4.2.	Analiza statystyczna wyników procesu ...	91
4.3.	Interpretacja wyników procesu przemysłowego ; porównania z laboratoryjnymi charakterystykami wzbogacalności ..	94
5.	Omówienie wyników badań	99
6.	Wnioski	106
7.	Literatura	109

W s t ę p

Rudy miedzi są surowcem szczególnie ważnym dla gospodarki narodowej . Deficyt miedzi na rynkach światowych i równocześnie znaczny jej wpływ na współczesną technikę zmusza do racjonalnego wykorzystania zasobów tego surowca . Polska posiada znaczne zasoby rud miedzi . Górnictwo polskie sięga po złoża , które zalegają jednak w trudnych warunkach geologicznych , a także zagospodarowuje złoża ubogie i trudne do wzbogacania .

Przeróbka rud zajmuje ważną pozycję w całokształcie procesów górniczo - metalurgicznych . Jest ekonomicznie niezbędnym ogniwem łączącym te procesy . Wiadomym jest jednak , że w ogniwie tym traci się najwięcej metalu , nie licząc strat złożowych i eksploatacyjnych w trakcie procesów wydobywczych . W przypadku rud miedzi straty przeróbcze są wynikiem odrzucania w procesie wzbogacania ponad 90 % masy wydobytej rudy w postaci odpadów . Na obecnym etapie rozwoju technologii tego procesu czyni to straty nie mniejsze niż 10 % metalu wydobytego w rudzie przez górnika eksploatora .

Wielkość wydobywania i zatem ilość przerabianej rudy w istniejących zakładach przeróbczych Lubińskiego - Głogowskiego Okręgu Miedziowego sprawia , że nawet małe obniżenie jednostkowych kosztów przeróbki lub nieznaczne podwyższenie uzysku miedzi w koncentracie powoduje znaczne efekty ekonomiczne . Te właśnie efekty są przede wszystkim brane pod uwagę w znakomitej większości prac dotyczących badań technologicznych .

W pracach badawczych nad procesami przeróbki rud zasadnicze znaczenie ma właściwa ocena wyników oraz przebiegu tych procesów . Poprawna ocena wyników musi być oparta na wyczerpującej analizie przebiegu całego procesu wzbogacania . Musi też obejmować określenie zależności pomiędzy głównymi parametrami procesu .

Brak ilościowych zależności teoretycznych powoduje , że ocena i kierowanie przemysłowymi procesami wzbogacania odbywa się na podstawie doświadczenia zawodowego technologów .

W procesie przeróbki rud miedzi można wydzielić kilka ściśle ze sobą powiązanych operacji . Główną operacją jest wzbogacanie metodą flotacji .

Przebieg przemysłowego procesu wzbogacania , w szczególności flotacji , zależy od dużej ilości czynników związanych przede wszystkim z :

- własnościami nadawy
- strukturą wewnętrzną procesu
- strukturą zjawisk , jakie składają się na ten proces .

Każdy niemal czynnik z tych grup powiązany jest różnymi stopniami współdziałania z wieloma innymi czynnikami . Niektóre z nich częstokroć jest trudno kontrolować lub nawet zdefiniować , a wszystkim najczęściej można przypisać charakter losowy . Z tych względów procesy wzbogacania uważane są za jedne z bardziej skomplikowanych .

W obecnym stanie technologii wzbogacania rud , takie

zagadnienia jak optymalne kompleksowe wykorzystanie surowca , opracowanie efektywnych i ekonomicznych schematów wzbogacania , optymalne sterowanie procesem - są problemami , którym nie jest w stanie podołać duża praktyka i doświadczenie zawodowe człowieka . Rozwiązanie tych problemów jest utrudnione z powodu braku między innymi jednoznacznych i prostych metod oceny skuteczności procesów wzbogacania . Stosowane powszechnie do niedawna deterministyczne metody oceny procesów wzbogacania często zawodzą już w badaniach laboratoryjnych ; w warunkach przemysłowych najczęściej w ogóle nie odzwierciedlają rzeczywistego przebiegu procesu i mogą prowadzić do błędnych wniosków .

W zakładach przeróbczych Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego dokonuje się ciągłej modernizacji technologii i dla analizy ich skutków niezbędne jest opracowanie obiektywnych sposobów oceny procesu . Metody takie są również potrzebne dla uzasadnienia celowości takich zmian .

1. C e l p r a c y

Rozprawa niniejsza podejmuje zagadnienia związane z oceną efektów technologicznych procesu wzbogacania rud miedzi .

Ocena procesu będąca przedmiotem rozprawy wchodzi w zakres wstępnej analizy procesu , którą można uważać za pierwszy etap identyfikacji procesu wzbogacania .

Celem pracy jest wyznaczenie wskaźnika oceniającego proces wzbogacania , który umożliwiłby prawidłową i łatwą ocenę jego przebiegu .

Brak uogólnień naukowych w zagadnieniu oceny procesów wzbogacania powoduje często niedostrzeganie i niedocenianie wielu zależności technologicznych , co w skrajnych przypadkach prowadzić może do błędnych wniosków i decyzji .

Technologiczny proces wzbogacania jest obiektem o dużej złożoności . Badania złożonych procesów / takich jak wzbogacanie / zmierzające do uzyskania właściwych metod sterowania , optymalizacji , czy do oceny ich przebiegu , najkorzystniej jest oprzeć o metody statystyki matematycznej .

W związku z tym , dodatkowym celem pracy było przedyskutowanie możliwości i celowości zastosowania niektórych metod analizy statystycznej do oceny procesów przeróbowych oraz omówienie korzyści jakie można tą drogą osiągnąć .

Rozważania w pracy poparto obliczeniowymi przykładami , do których dane uzyskano z pierwszego ciągu techno-

logicznego Zakładu Wzbogacania Rud Z.G. " Lubin " .

Dane te stanowiły wyniki opróbowień zmianowych z normalnego funkcjonowania zakładu .

Wyniki opróbowień zmianowych są podstawą bieżącej oceny procesu , na której oparta jest sprawozdawczość i większość decyzji technologicznych . Z drugiej jednak strony sposób wykorzystania tych wyników w praktyce technologicznej ograniczony jest do niezbędnego minimum nie uwzględniającego charakterystyki przebiegu procesu .

W tej sytuacji zaistniała potrzeba odpowiedzi na pytanie : czy i kiedy wyniki zmianowe z normalnego funkcjonowania zakładu zawierają dostateczną informację o rzeczywistym przebiegu procesu .

Przedstawione wyniki rozważań jako ogólne można odnieść do różnych zakładów i technologii wzbogacania , jednak były one przeprowadzone głównie z myślą o zastosowaniu do rud miedzi z Lubińsko - Głogowskiego Okręgu Miedziowego .

Dla innych warunków zapewne wymagać to będzie dodatkowych opracowań .

2. Przegląd literatury dotyczącej oceny przebiegu procesu wzbogacania :

2.1. Probabilistyczne metody badawcze a właściwości procesów wzbogacania :

Przystępując do opisu probabilistycznego przebiegu zjawisk , z jakimi spotykamy się na każdym kroku w praktyce inżynierskiej - stosujemy teorie , które pomimo swej złożonej struktury są znacznie bliższe rzeczywistości , aniżeli obliczeniowy aparat deterministyczny^{/65/} .

Potrzeba zastosowania metod probabilistycznych do kontroli parametrów technologicznych charakteryzujących procesy przeróbce , a zatem do oceny tych procesów wynika z kilku przyczyn opisanych poniżej :

Procesy wzbogacania mają , jak wiadomo na celu wydzielenie minerałów użytecznych z nadawy w postaci koncentratu .

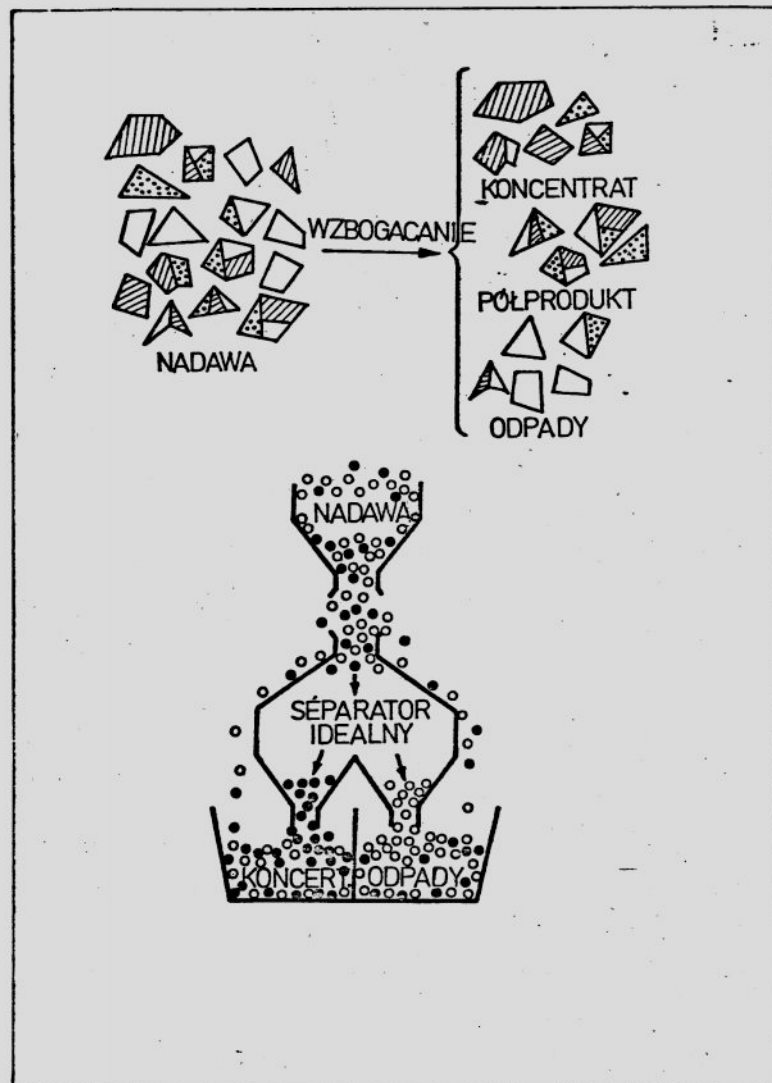
W strefach roboczych urządzeń wzbogacających ziarna mineralne poddawane są różnym oddziaływaniom , w wyniku których część ziarn posiadających pewne konkretne własności fizyczne kieruje się do jednej części strefy roboczej a pozostałe ziarna o innych własnościach do strefy drugiej . Istotną właściwością takiego rozdziału jest fakt , że mimo stale działającej składowej ukierunkowanej ruchu ziarn , na większość ziarn działa również składowa losowa . Im większą ilość ziarnⁿ pod -

dajemy rozdziałowi , tym silniej rządzą tym procesem prawa teorii prawdopodobieństwa i statyki matematycznej /29/ / 78/.

Przy omawianiu tych zagadnień najlepiej posłużyć się uproszczonymi schematami . Na rys. II. 1,/61/przedstawiono wyidealizowany model procesu wzbogacania /rozdziału/ przy pełnym uwolnieniu / rys. II.1a / oraz model procesu rzeczywistego / rys. II. 1b /, w którym część uwolnionych minerałów użytecznych oraz płonnych omija wzbogacalnik losowo trafiając do koncentratu i odpadów .

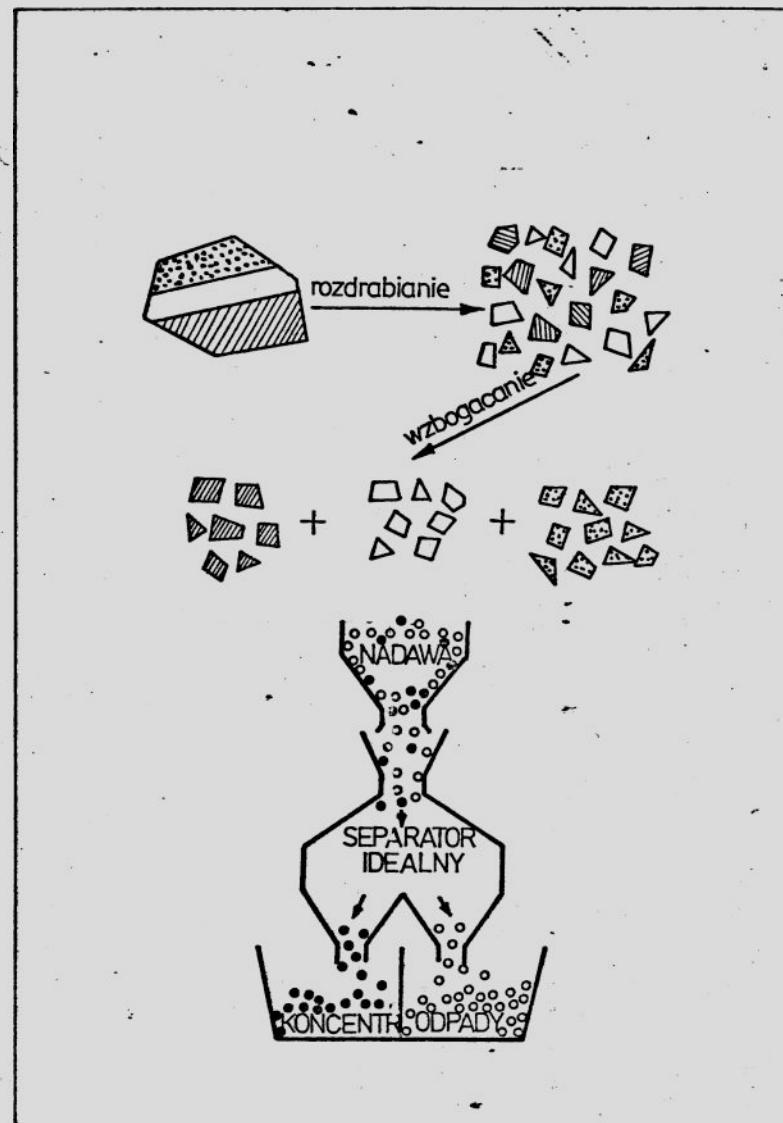
Jedną z najważniejszych przyczyn takiego stanu rzeczy są własności fizykochemiczne i mechaniczne surowca i związana z tym konieczność daleko najczęściej posuniętego rozdrabniania . Rozdrabianie , mające na celu jak najdokładniejsze uwolnienie minerałów użytecznych od skały płonnej , praktycznie nigdy nie prowadzi w pełni do celu . W wyniku mielenia rudy zawsze otrzymujemy część ziarn będących jeszcze zrostami , a równocześnie zachodzi nie^{zam}ierzane i szkodliwe przemienienie użytecznych minerałów , prowadzące do wytworzenia ziarn bardzo drobnych , trudnych do wydzielenia drogą wzbogacania flotacyjnego .

Zjawiska te w warunkach technologicznych zmuszają do wielokrotnego zawracania powtarzania wielu operacji, co w efekcie prowadzi do bardzo skomplikowanego i rozbudowanego schematu procesu przeróbki rud /31/. Poszcze-



Rys. II.1

b) przykład wzbogacania
rzeczywistego



Rys. II.1

a) przykład wzbogacania
idealnego

gólne etapy procesu , jego węzły , są operacjami już bardzo złożonymi , zależącymi często od wielkiej liczby czynników i to nie zawsze zdefiniowanych lub nie dających się zdefiniować . Złożoność procesu przeróbczego znacznie się zwiększy , jeśli uwzględnimy zmienność i niejednorodność rudy kierowanej do zakładu w toku procesu .

Wymienione powyżej zjawiska i czynniki mają najczęściej charakter losowy . Wiąże się z tym losowość , oczywiście w określonych granicach , większości wskaźników i parametrów procesu przeróbczego /74/ .

Głównym przyczynami zmuszającymi do stosowania metod probabilistycznych w badaniach procesów przeróbczych są zjawiska losowe , na które składają się :

- losowy charakter przebiegu procesów w urządzeniach technologicznych ,
- występowanie przypadkowych zakłóceń na wejściu obiektu ,
- błędy pojawiające się przy pobieraniu prób ,
- błędy w wynikach analiz laboratoryjnych .

Zjawiska losowe pojawiające się w obiektach /procesach , urządzeniach itp./ mogą odnosić się do jednej z trzech grup /39/ .

- zdarzeń losowych
- zmiennych losowych
- procesów losowych

Ostatnią z wymienionych grup zjawisk losowych nie zajmowało się w niniejszej pracy.

Zdarzeniami losowymi w danym kompleksie warunków nazywamy zdarzenia , które mają określone prawdopodobieństwo wystąpienia i mogą zajść lub nie . Losowymi nazywają się one nie dlatego , że zależą tylko od czysto przypadkowych czynników , a dlatego , że zależą także od przypadkowych czynników /50/.

Zmienna losowa przedstawia sobą bardziej złożone zjawisko niż zdarzenie losowe . Dla charakterystyki zmiennej losowej musi się znać zarówno zbiór jej możliwych wartości jak i prawdopodobieństwo ich pojawienia się. Zatem zmienną losową charakteryzuje pewna funkcja rozkładu prawdopodobieństwa . Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa może być oszacowana wg. próbki z populacji generalnej , czyli np. z ograniczonego szeregu obserwacji $x_1, x_2, \dots, x_n$ zmiennej losowej x .

Dla przytłaczającej większości procesów technologicznych w zakładach przeróbczych wartości zmienne parametrów technologicznych podlegają rozkładowi normalnemu /5/, o czym będzie mowa w dalszych częściach .

Zmienne losowe będące czynnikami wpływającymi na proces technologiczny , np. flotacji , można podzielić na cztery zasadnicze grupy /38/ :

1. Wielkości sterujące , umożliwiające celowe oddziaływanie na proces technologiczny . Wielkości te przedstawia wektor $x = /x_1, x_2, \dots, x_n/$; np Q /kg/s/ nadawy , V /m³/s / wody ,
/ N /m³ / mętów , /g/t/ odczynnika , t/s/ czas flotacji , itp.

2. Zakłócenia mierzalne : wielkości zakłócające, podlegające bezpośredniemu pomiarowi ; wielkości te przedstawia wektor $v = / v_1, v_2, \dots, v_n /$; np α / % / zawartość minerału użytecznego /metal/ w nadawie , ilość przerabianej rudy , aweracja mętów w maszynach flotacyjnych , wahania gęstości mętów itp .
3. Wielkości zakłócające - nie podlegające bezpośredniemu pomiarowi ; przedstawia je wektor $z = / z_1, z_2, \dots, z_p /$; np. chwilowe zmiany fizyko-chemicznych , mechanicznych itp własności rudy , zużycie elementów maszyn , awarie , wszelkie błędy w rejestracji i analizach chemicznych danych itp.
4. Wielkości wyjściowe - charakteryzujące , jakość i ilość produktów ; zmienne te przedstawia wektor $y = / y_1, y_2, \dots, y_p /$; np. β /%/, γ /%/- zawartość metalu w koncentracie i odpadach , δ /%/- wychód produktów , skład ziarnowy produktów itp .

Warunkiem prawidłowego i efektywnego przebiegu każdego procesu technologicznego jest optymalny dobór czynników należących do pierwszej z podanych grup z uwzględnieniem wpływu czynników drugiej i trzeciej grupy . Pomiarów czynników należących do czwartej grupy oraz obliczone z nich wskaźniki wraz z ustaleniem związków między nimi a czynnikami i wskaźnikami pozostałych 2 grup - stanowią podstawę oceny procesu technologicznego .

Na rys. II /38/ przedstawiono schemat procesu , charakteryzujący się wymienionymi cechami . Zilustrowany tak model przemysłowego procesu flotacji przedstawia typową cybernetyczną " czarną skrzynkę " .

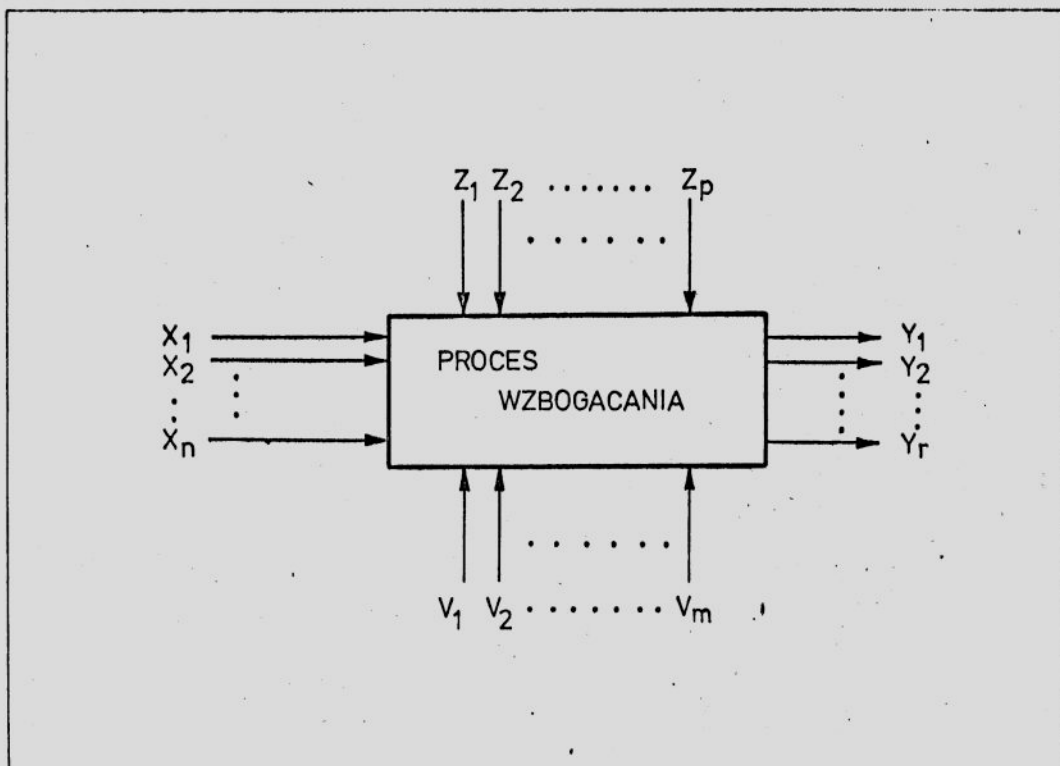
Przemysłowy proces flotacji posiada wszelkie cechy systemu cybernetycznego /5/ , do których należą :

- a/ charakter losowy ,
- b/ złożoność procesu ,
- c/ istnienie samoregulacji .

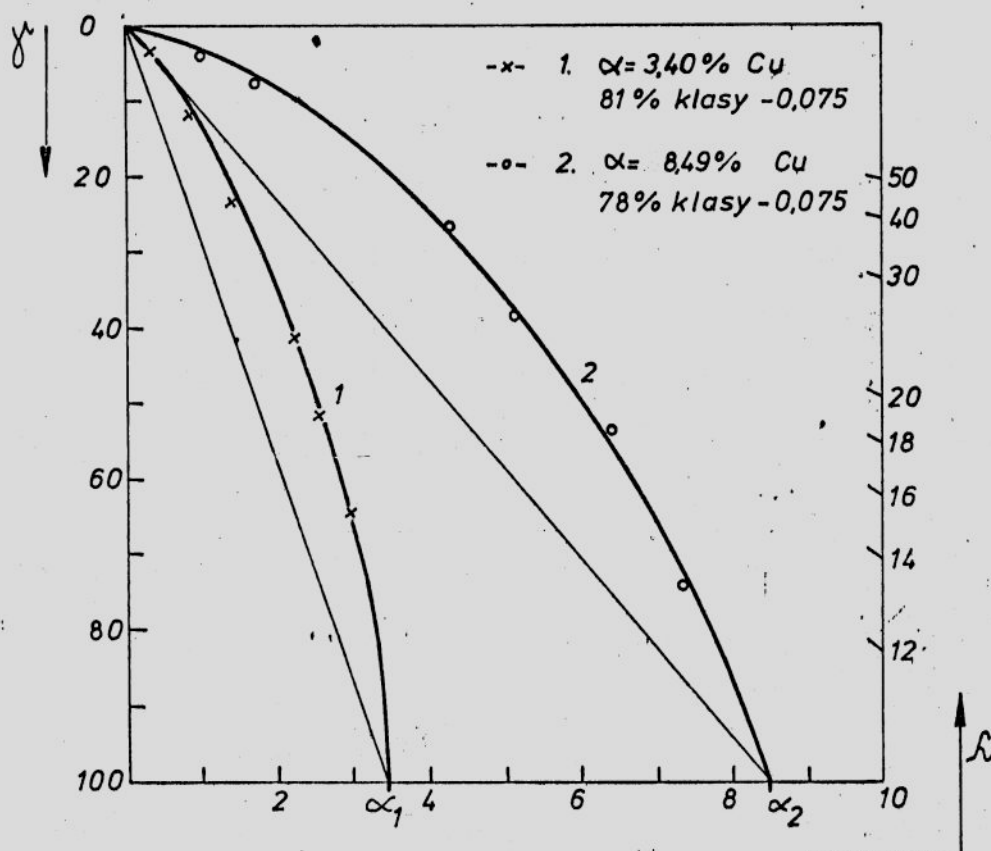
O ile dwie pierwsze cechy nie wymagają już wyjaśnień, to ostatnia wymaga szerszego omówienia . Otóż , w każdym schemacie technologicznym flotacji istnieje duża ilość zawrotów i to zarówno w samych maszynach flotacyjnych jak i pomiędzy maszynami , w układach młyn - klasyfikator / hydrocyklon / .

Produkty cyrkulujące w tych zawrotach są pewną formą sprzężeń zawrotnych /5/ . Duża ilość tych sprzężeń w rozbudowanych zwykle schematach technologicznych w połączeniu z prawie zawsze istniejącą rezerwą czasu flotacji / ilość komór w maszynach flotacyjnych / , powoduje , że mimo pewnych zaburzeń / wahań / w uziarnieniu i zawartości minerałów użytecznych - odpowiednie wskaźniki technologiczne są uzyskiwane niejako " automatycznie " bez udziału flotatora /44//5/. Dopiero duże , istotne zakłócenia / przesunięcia w przebiegu / procesu są zauważane przez flotatora i wymagają jego ingerencji .

W układach młyn - klasyfikator / hydrocyklon / ist-



Rys. II.2 Proces wzbogacania jako cybernetyczna "czarna skrzynka".



Rys. II.3 Krzywa średnich wartości Mayera. Wyniki flotacji żupkowej rudy miedzi w różnych zawartościach metalu w nadawie.
1 - ruda z kop. "Polkowice"
2 - ruda z kop. "Lubin".

nienie zawrotu do młyna pozwala na utrzymanie na ustabilizowanym poziomie uziarnienia przelewów mimo szerokiego zwykle zakresu zmian w wydajności / przerobach / młyna , składzie kul itp.

W cyklu flotacji natomiast istnienie dużej ilości sprzężeń zwrotnych / zawrotów półproduktów / pozwala na otrzymywaniu mniej lub bardziej stabilnych jakości koncentratów i stosunkowo stabilnych uzysków - mimo dość istotnych wahań w zużyciach odczynników i w ilościach przerobionej rudy , a przede wszystkim mimo silnych wahań jakości półproduktów . W wyniku wpływu dużej ilości czynników na proces flotacji zawsze istniejąca zmienność uzysków i dość duża zmienność jakości koncentratu powinna w znacznym stopniu zależeć od wychodu koncentratu - zgodnie z charakterystyką wzbogacalności rudy w danych warunkach . Jak podaje Nesterow /44/ i Barski-Rubinstein /5/ w warunkach ciągłego przemysłowego procesu flotacji przebiegającego na tyle stabilnie , aby nie wymagał ingerencji flotatorów istnienie losowych zaburzeń w czynnikach wpływających na ten proces powoduje zmiany uzysków i jakości koncentratu po krzywych wzbogacalności i to w wyniku samoregulacji . Zmiana warunków procesu , np. składu mineralogicznego rudy , zagęszczenia mętów itp powodujących zmianę szybkości flotacji wymaga ingerencji flotatora , która ogranicza się w końcu do zmiany wychodu produktów najprawdopodobniej również zgodnie z krzywą wzbogacalności .

Opierając się na długotrwałych obserwacjach procesu flotacji rud miedzi w naszych zakładach , można wysunąć

hipotezę , że zmienność podstawowych / końcowych / wskaźników technologicznych , takich jak uzysk metalu w koncentracie , zawartość metalu w koncentracie , zawartość metalu w ~~koncentracie~~ odpadach oraz wychód koncentratu przebiega zgodnie z krzywą wzbogacalności , właściwą warunkom technologicznym procesu . Przebieg ten oczywiście będzie ograniczony do wąskiego odcinka krzywej wzbogacalności , odpowiednio do zakresu zmian wychodów koncentratu końcowego .

W związku z powyższym , celowym wydaje się dokonanie przeglądu podstawowych metod oceny wzbogacalności rud pod kątem ich przydatności dla krajowych rud miedzi . Istnieje bowiem szereg metod oceny wzbogacalności , które są niedogodne - lub niemożliwe do zastosowania w przypadku siarczkowych rud miedzi .

2.2. Przegląd metod oceny procesów wzbogacania .

2.2.1. Proces ciągły a wzbogacalność kopalin .

Kierowanie ciągłym procesem flotacji w praktyce , jak wiadomo , ogranicza się do regulacji wychodów produktów pianowych oraz regulacji ilości podawanych odczynników , co ma na celu osiągnięcie i utrzymanie na żądanym poziomie wskaźników technologicznych .

W warunkach przemysłowych czy półtechnicznych przy ręcznej regulacji procesu , zmienność wychodów produktów pianowych jest wynikiem nie tylko działań flotatora , ale także wynikiem zmian poziomów mętów w komorach maszyn , przy wahaniami wydajności oraz zawartości minerałów użytecz.

nych.

Wszelkie oddziaływania na proces mające na celu sterowanie nim w warunkach technologicznych sprowadzają się do podwyższania szybkości flotacji bez pogarszania selektywności lub do podwyższania selektywności procesu / 42 /.

Przy wzbogacaniu flotacyjnym, jak i przy innych metodach wzbogacania, wzbogacalność rudy w danych warunkach, charakteryzuje się krzywymi wzbogacalności. W świetle współczesnych kierunków oceny procesów wzbogacania krzywe te wyrażają zależność między wychodem koncentratu i takimi wskaźnikami jak : zawartość składnika użytecznego w koncentratkach (frakcjach), uzysk tego składnika w koncentratkach, / 77,45,59,4,28,32, 25,79 /. Są to zwykle modyfikacje krzywych zaproponowanych przez Mayer'a. Jako charakterystyki dostarczające dodatkowych informacji proponowane są zależności uzysków lub zawartości składników użytecznych w odpadach - od zawartości składnika użytecznego w koncentratkach /25,59,16,84 / oraz zależności uwzględniające absolutny współczynnik stopnia wzbogacania / 57,77,79,61 /.

Krzywe wzbogacalności są stosowane przede wszystkim do oceny procesów wzbogacania w skali laboratoryjnej.

Mitrofanof / 42 / dzieli czynniki wpływające na proces wzbogacania na dwie grupy :

1. Czynniki nie zmieniające krzywych wzbogacalności, t.j. wpływające tylko na wychód, zatem wpływające na szybkość flotacji,

2. Czynniki zmieniające krzywe wzbogacalności t.j.

takie, które zmieniają selektywność flotacji bez
zmieniania lub ze zmianą szybkości flotacji.

Do grupy pierwszej można zaliczyć takie czynniki jak :
zużycie odczynnika, stopień areacji, zagęszczenia części
stałych, wysokość warstwy piany itp.

Do grupy drugiej można zaliczyć ^{(takie} czynniki jak uziarnienie
części stałych (tzn stopień uwolnienia), działanie aktywa-
torów i depresorów, wpływ temperatury i czasu kon-
taktowania mętów z odczynnikami, również stopień aeracji
mętów itp.

Oczywiście nie można stawiać ostrego rozgraniczenia
między tymi grupami czynników, gdyż są one mniej lub bar-
dziej ze sobą powiązane z różnym stopniem współdziałania.

W skali laboratoryjnej wzbogacalność rudy bada się
zwykle w doświadczeniach periodycznych przeprowadzając
flotacje frakcjonowane. Możemy wówczas otrzymać produkty
w całym zakresie wychodów od 0 do 100 %.

W instalacjach wielkolaboratoryjnych czy przemysłowych,
w warunkach procesu ciągłego również możliwe jest uzyski-
wanie krzywych wzbogacalności w szerokim zakresie wychodów,
o ile schemat tych procesów nie jest zbyt skomplikowany
i jest możliwość wyliczenia oddzielnych wskaźników dla po-
szczególnych operacji (etapów procesu) względem nadawy.
W pracy / 6 / przeprowadzono analizę dwóch procesów prze-
mysłowych przy pomocy krzywych wzbogacalności obejmujących

cały zakres wychodów.

W większości jednak przypadków dla przemysłowych procesów flotacji rud metali nieżelaznych określanie całej krzywej wzbogacalności nie zawsze jest możliwe a często jest niepotrzebne. Do oceny przebiegu procesu np dla porównania dwóch konkurencyjnych schematów czy odczynników wystarczy odcinek krzywej obejmujący realne zakresy wychodów, uzysków i jakości koncentratów mieszczące się w wymaganiach stawianych przez hutników czy ekonomikę / 12,69 /.

Odcinek ten na krzywej wzbogacalności obejmuje tzw obszar flotacji "kontrolnej" a ściślej - czyszczącej / 45 /.

Często jednak w praktyce procesów wzbogacania na skalę przemysłową analizuje się wyniki średnie za pewnen arbitralnie wybrany okres pracy zakładu. Sposób ten nie uwzględnia pochodzenia danych zbiorowości próbnych, z których wylicza się wskaźniki średnie, zatem przy ocenie przebiegu procesu może to prowadzić do błędnych wniosków. Może ale nie musi. W przypadku np. gdy dwie zbiorowości próbne (wyniki za dwa dane okresy pracy zakładu) pochodzą z różnych zbiorowości generalnych i przypadkowo jeden ze wskaźników średnich w obu przypadkach ma taką samą wartość (np wychód koncentratu), a pozostałe wskaźniki są istotnie różne, to ocena jest wtedy prosta i jednoznaczna. Ale prawdopodobieństwo zaistnienia takiego przypadku jest niewielkie. Dlatego koniecznym jest traktowanie wyników procesów przemysłowych jako odzwierciedlenia odcinka charakterystyki wzbogacalności rudy a także właściwości procesu (schemat, odczynniki, obsługa itp).

2.2.2. Krzywe wzbogacalności.

Dla scharekteryzowania kopaliny pod względem stopnia niejednorodności, a więc pod względem wzbogacania posługujemy się krzywymi wzbogacalności. Z krzywych wzbogacalności wywnioskować można czy materiał nadaje się do wzbogacania i w jakiej mierze, czy dana metoda wzbogacania jest najlepsza, czy opłaca się eksploatacja złoża, jakie wyniki otrzyma się przy zastosowaniu danego sposobu wzbogacania. Krzywe wzbogacalności pozwalają na odpowiedni dobór wskaźników technologicznych końcowych i w poszczególnych stadiach procesu czyli tym samym pozwalają na ułożenie racjonalnych schematów technologicznych / 73 /.

W przypadku badań flotacyjnych krzywe wzbogacalności uzyskane w warunkach laboratoryjnych są jedyną i najbardziej wiarygodną podstawą badań flotowalności i związanym z nimi szeregiem zagadnień teoretycznych, technologicznych i projektowych / 41 /.

Podstawowymi wskaźnikami oceny wyników wzbogacania są : średnia zawartość składnika użytecznego w koncentracie, β i w odpadach γ , oraz uzysk metalu w koncentracie. Średnia zawartość składnika użytecznego w koncentracie i odpadach są równe średnim wartościom funkcji gęstości rozkładu tego składnika w odpowiednich przedziałach zmiennej γ (wychodu),

obejmującej w pierwszym przypadku frakcje zaliczone do koncentratu - $[0, \gamma]$, w drugim zaś frakcje zaliczone do odpadów - $[\gamma, 100]$ /56/.

Zatem oba te wskaźniki są funkcjami zmiennej γ , określonymi przez wzory.

$$\beta = \frac{\int_0^{\gamma} \mathcal{L}(\gamma) d\gamma}{\gamma} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\int_{\gamma}^{100} \mathcal{L}(\gamma) d\gamma}{100 - \gamma} \quad (2)$$

Zależność pomiędzy obu wskaźnikami β i γ oraz zmienną γ przedstawia równanie bilansu składnika użytecznego :

$$\gamma\beta + (100 - \gamma)\gamma = 100\alpha \quad (3)$$

Uzysk składnika użytecznego w koncentracie jest również funkcją wychodu koncentratu i określony jest następującym wzorem :

$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\gamma} \mathcal{L}(\gamma) d\gamma \quad (4)$$

W licznych zagadnieniach z zakresu technologii czy ekonomiki występuje konieczność wyznaczenia zależności pomiędzy wskaźnikami (1) (2) i (4).

Wyznaczenie takiej zależności w postaci ogólnej równoważne jest z wyznaczeniem krzywej wzbogacalności.

Jak zaznaczono w poprzednim rozdziale stosowane obecnie krzywe wzbogacalności, szczególnie dla rud metali nieżelaznych są rozwinięciem graficznej interpretacji wyników wzbogacania zaproponowanej dla oceny wzbogacania węgla w latach 50-tych przez Mayera / 28 / i Budryka / 43 / aczkolwiek stosowane są jeszcze krzywe wzbogacalności Henry ego - Reinhardt - głównie przez ośrodek krakowski / 56,57,58 /.

Krzywa wzbogacalności jako krzywa średnich wartości (Mayera) ma tą przewagę nad innymi chronologicznie wcześniej stosowanymi metodami interpretacji graficznej wyników wzbogacania, że z jednej krzywej można w zasadzie odczytać wszystkie informacje o badanym materiale. Zaletą tej metody też jest to, że na jednym wykresie można porównywać ze sobą różne materiały lub różne metody wzbogacania.

W postaci klasycznej krzywa Budryka- Mayera zaadoptowana do oceny wzbogacalności rud przedstawia zależność kumulowanego wychodu koncentratu (rzędne) od kumulowanej zawartości składnika użytecznego w koncentratkach (odcięte) (Rys. II. 3.).^{*} Jak widać z rys, II.3. ze zmianą zawartości metalu w nadawie punkt końcowy krzywej przesuwają się po osi odciętych, co jest wynikiem przeliczania wszystkich punktów krzywej na średnią zawartość metalu w nadawie. W związku z tym nachylenie prostej względem osi wychodów poprowadzonej przez początek i koniec krzywej przedstawia zawartość metalu w nadawie. Nachylenie natomiast każdej innej prostej poprowa-

)* Rysunki bez odnośników do literatury są oparte na badaniach własnych autora.

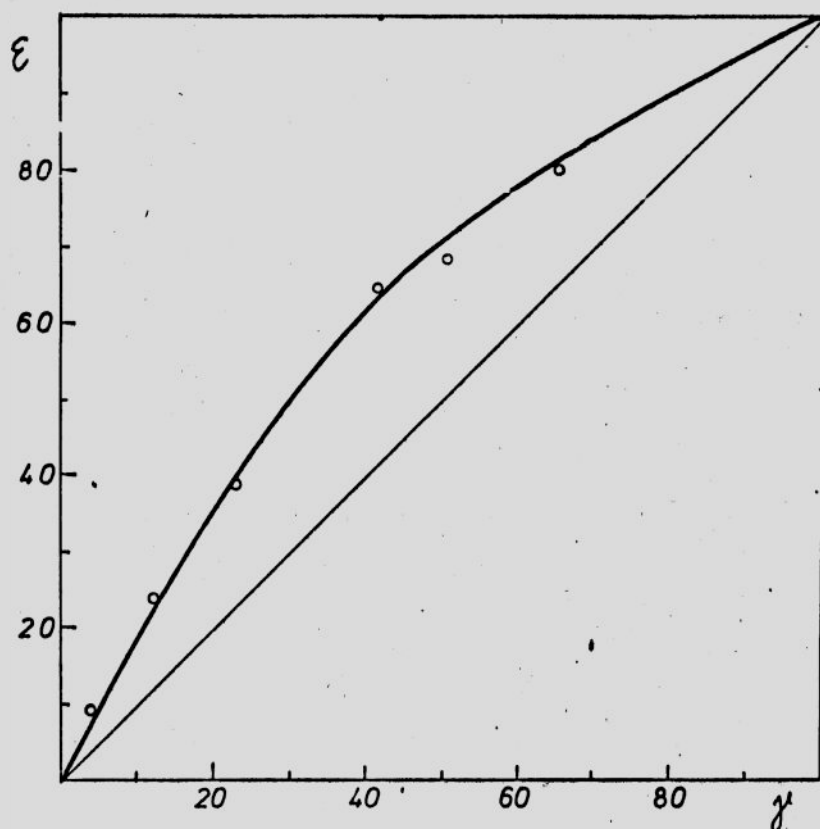
dzonej z punktu początkowego krzywej ($\gamma = 0\%$) do przecięcia z dowolnym punktem na krzywej będzie zawsze przedstawiać średnią zawartość metalu w koncentracji o sumarycznym wychodzie odpowiadającym temu ^{punktowi} przekroju na krzywej.

Łatwo można dowieść, że jeśli odcinek osi odciętych od 0 do $\alpha \%$ podzielimy na 100 równych części to na skali powstałej w ten sposób można będzie odczytać uzysk metalu w koncentracji (również skumulowany). Uwzględniając właściwą funkcjonalność wskaźników, tzn. przyjmując, że wychód poszczególnych frakcji wynika z własności fizycznych składników użytecznych rudy (minerałów) należy uznać wychód koncentratu za zmienną niezależną a uzysk jako zmienną zależną / 14 /. Tym sposobem otrzymamy dalszą modyfikację krzywej Mayera jak to przedstawiono na rys. II.4.

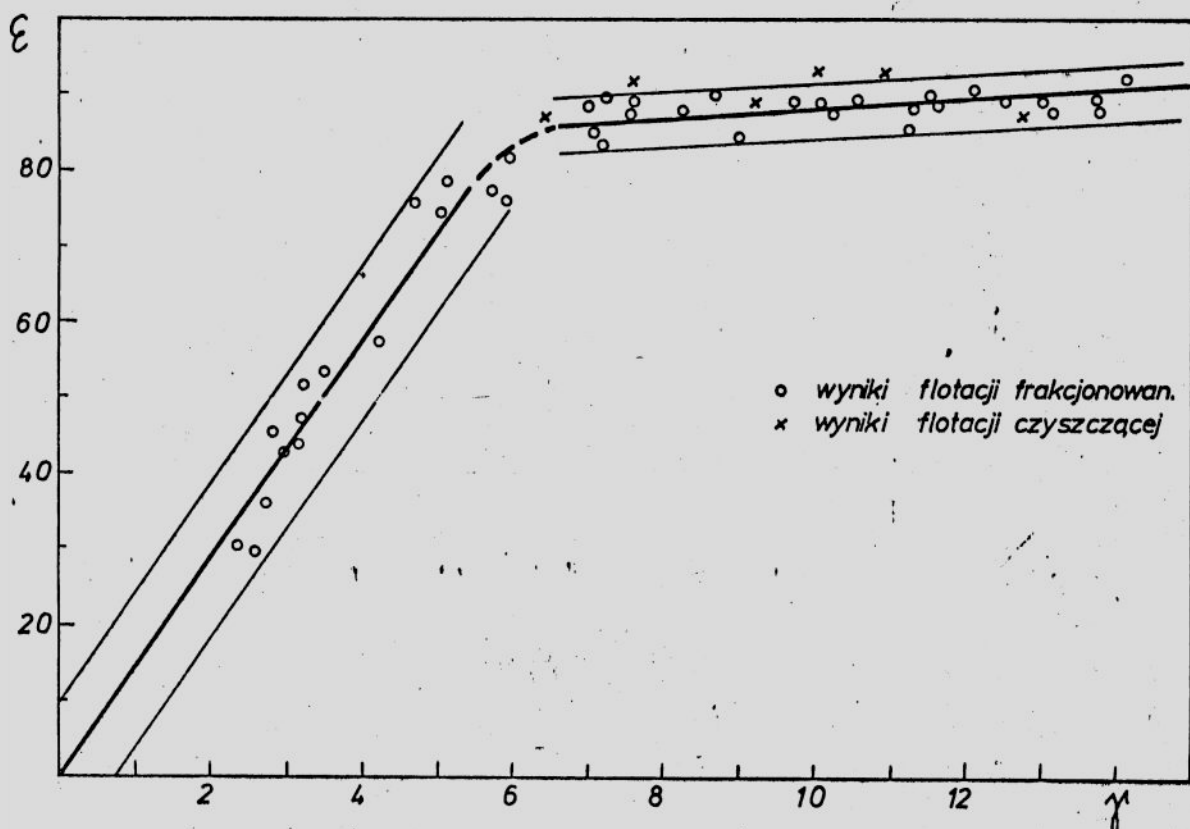
Oczywiście nachylenie prostej poprowadzonej przez początek układu i przez dowolny punkt na krzywej przedstawia nadal zawartość metalu w koncentracji o wychodzie odpowiadającym temu punktowi na krzywej.

Dalszy rozwój metod interpretacji graficznej wyników wzbogacania związany jest z próbami ścisłego ustalenia charakterystyk wzbogacalności przez udoskonalenie metodyki przeprowadzania doświadczeń oraz z próbami nadania krzywym wzbogacalności pewnych form matematycznych.

Jak wiadomo wyniki doświadczeń laboratoryjnych foletacji często nie potwierdzają się w warunkach przemysłowych, a nawet laboratoryjnie są czasem niepowtarzalne.



Rys. II.4 Zmodyfikowana krzywa Mayera. Wyniki flotacji kupałkowej rudy miedzi (dane jak dla krzywej 1 z rys. II.3).



Rys. II.5 Interpretacja graficzna wyników wzbogacania według Nixona - Moira (wzbogacalność siarczko-
wej rudy miedzi typu Nhanga) / 45 /.

Nierzadko w zakładzie zachodzi konieczność opracowywania na nowo reżimu odczynnikowego, a nawet schematu technologicznego - bez względu na uprzednie długotrwałe badania laboratoryjne poprzedzające projektowanie. Do tego rodzaju przypadków można zaliczyć opracowywane laboratoryjnie różnego rodzaju metody podwyższania wskaźników technologicznych, które wdrożone w zakładzie przemysłowym często nie wywołują pożądaných efektów. Przyczyna tych "paradoxsów" jak stwierdzają Nixon - Moir / 45 / i Płaksin ze współpracownikami / 52 / może być tylko jedna - duże błędy i zła powtarzalność prób laboratoryjnych oraz bardzo często błędy interpretacji / 33 /.

W pracach Nixona - Moira i Raffinot stwierdzono, że w wyniku nieuniknionej niedoskonałości przeprowadzania doświadczeń flotacji frakcjonowanych otrzymane krzywe wzbogacalności mają charakter zależności statystycznych i wyniki kilku prób mieszczą się w pewnych przedziałach wokół najprawdopodobniej rzeczywistej krzywej.

W celu podwyższenia dokładności oceny doświadczeń flotacyjnych i otrzymania porównywalnych wyników Nixon i Moir / 45 / zaproponowali nanoszenie wyników kilku prób flotacji frakcjonowanych przeprowadzonych w identycznych warunkach w układzie współrzędnych : wychód - uzysk. Następnie po wyliczeniu korelacji liniowych wykreśla się przedziały ufności dla żądanego poziomu istotności.

Naniesione w tym układzie punkty układają się zwykle w jednakowy typ krzywej. Krzywa ta jak wykazali Nixon- Moir zbliża się do dwóch linii prostych połączonych krótkim odcinkiem krzywoliniowym (Rys.II.5.). Porównując wyniki te z praktyką przemysłową pierwsza stromo nachylona część krzywej przedstawia flotację główną, część druga - łagodnie nachylona - flotację kontrolną. Dla obu zbiorów punktów tworzących linie proste oblicza się przedziały ufności, które pozwalają na ocenę dokładności uzyskanych charakterystyk. Zwykle pierwszy odcinek wykazuje węższy przedział ufności niż odcinek drugi. Współczynniki równań regresji wyznaczonych na podstawie takich zbiorów punktów charakteryzują zatem proces wzbogacania. Podstawowym brakiem takiego ujęcia oceny wzbogacalności jest to, że najbardziej interesujące punkty krzywej znajdują się na niezdefiniowanym odcinku krzywoliniowym. Odcinek ten charakteryzuje uzysk w najważniejszym etapie procesu flotacji - tu kończy się proces przemysłowy, a dalszy wzrost uzysku możliwy jest jedynie przez zwiększanie wychodu czyli przez obniżanie jakości koncentratu.

Raffinot /59 / badając przyczyny braku powtarzalności w wynikach doświadczeń flotacji frakcjonowanych ujawniających się rozrzutem pktów w przedziałach (rys II.5)- stwierdził, że rozrzut ten jest wynikiem głównie sposobu przeprowadzania tych doświadczeń (mimo utrzymywania stałych warunków) natomiast błędy powstałe przy pobieraniu prób oraz

przy analizach chemicznych stanowią bardzo niewielką część całości błędu. Wniosek ten potwierdza w pełni Płaksin i współpracownicy / 52 / dowodząc, że niezgodność w wynikach doświadczeń zawarte są przede wszystkim w wahaniach wychodów frakcji koncentratów (współczynnik zmienności do 30 %).

Andrews / 4 / stwierdził, że stosując komorę flotacyjną o odpowiedniej konstrukcji oraz przestrzegając bardzo dokładnie stałych warunków doświadczenia przedstawione wyniki flotacji w układzie współrzędnych jakości koncentratu - wychód (przy uwzględnieniu poprzez odpowiednią korektę zmian w zawartości metalu w nadawie) - wykazują bardzo niewielki rozrzut i współczynniki korelacji dla otrzymanych odcinków prostej są rzędu 0,99, a przedziały ufności bardzo wąskie. Należy tu podkreślić, że autorzy cytowanych prac omawiając celowość takiego podejścia do interpretacji wyników wzbogacania, uzasadniają w sposób przekonujący, że zarówno w doświadczeniach laboratoryjnych jak i praktyce przemysłowej, ocena procesu nie może być oparta o wskaźniki średnie. To samo dotyczy wyliczania różnych pojedynczych uniwersalnych średnich wskaźników. Ocena procesu jest możliwa jedynie wtedy gdy porównuje się zależności ilościowe tych wskaźników. W najprostszym przypadku są to zależności prosto liniowe np jakości koncentratu od zawartości metalu w odpadach (o ile można zastosować przybliżenie liniowe).

Ponieważ zależności te są kinetyczne należy proces oceniać wówczas zawartością metalu w koncentracie przy stałej zawartości metalu w odpadach.

Dla wielu jednak typów rud metody Nixona - Moir'a i jej pochodnych nie można zastosować gdyż otrzymane punkty tworzące krzywą nie dają się przybliżyć do dwóch odcinków (a nawet jednego) prostoliniowych.

Najbardziej jednak rozpowszechniony sposób interpretacji wyników wzbogacania w ostatnich latach oparty jest na metodzie przedstawionej przez Della / 28, 32, 25, 17 /.

Założeniem metody Della było stworzenie przesłanek umożliwiających sprowadzenie krzywych wzbogacalności do jakiejś dokładniej (ściślej) ustalonej formy teoretycznej, dostarczającej maksimum informacji o przebiegu procesu i w konsekwencji stworzenie podstaw do budowy modelu matematycznego procesu wzbogacania. Krzywe wzbogacalności zastosowane przez Della i nazwane krzywymi analizy uwalniania stanowią wykres uzysku w zależności od wagi koncentratu odpowiadającej 100 jednostkom wagowym metalu w nadawie / 28, 32 /. Jeśli bilans materiału i metalu przedstawimy w postaci równań

$$Q = C + T \quad (5)$$

$$\frac{Q}{100} = \frac{C}{100} + \frac{T}{100} \quad (6)$$

gdzie Q , C , T - to odpowiednio ilości wagowe nadawy, koncentratu i odpadów, to w krzywych Della na osi odcię -

tych odkłada się skumulowaną wartość:

$$x = 100 \frac{1000}{Q_{\alpha}} = \frac{100 \gamma}{\alpha} \quad (7)$$

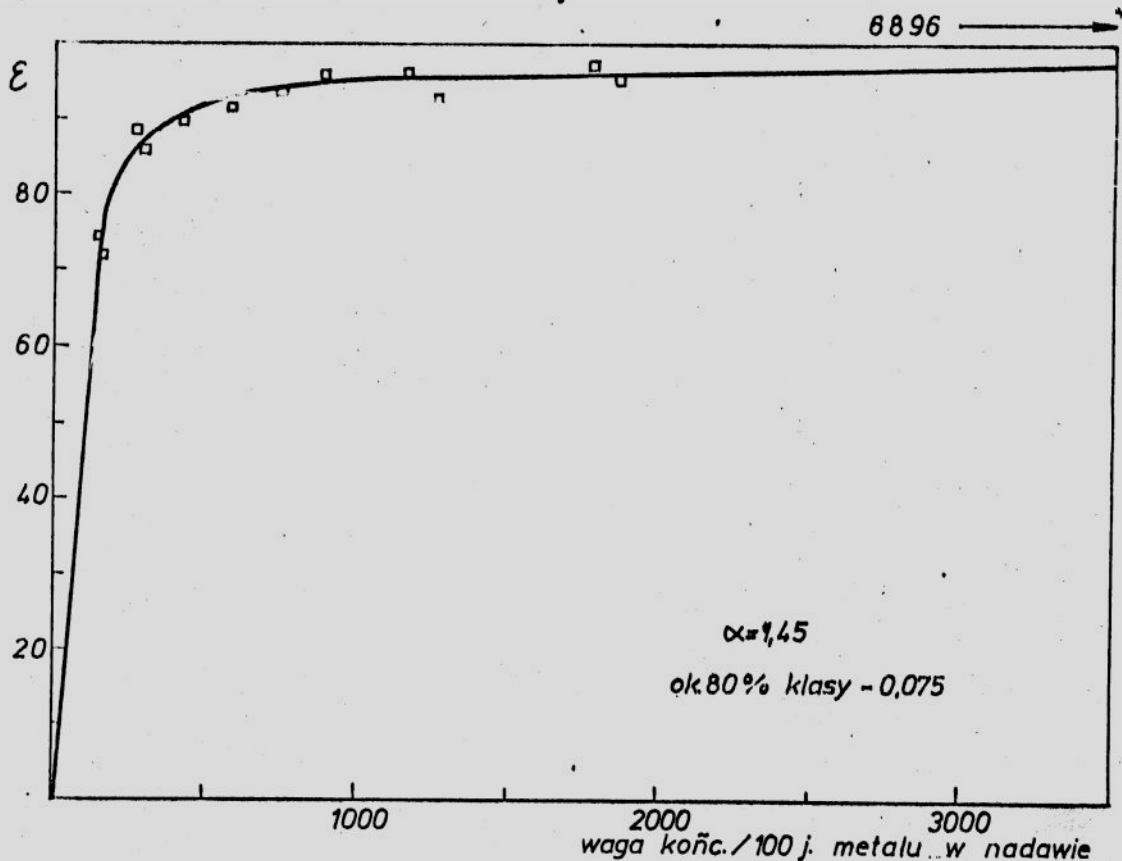
a na osi rzędnych skumulowany uzysk :

$$y = 100 \frac{C\beta}{Q_{\alpha}} = \gamma \frac{\beta}{\alpha} \quad (8)$$

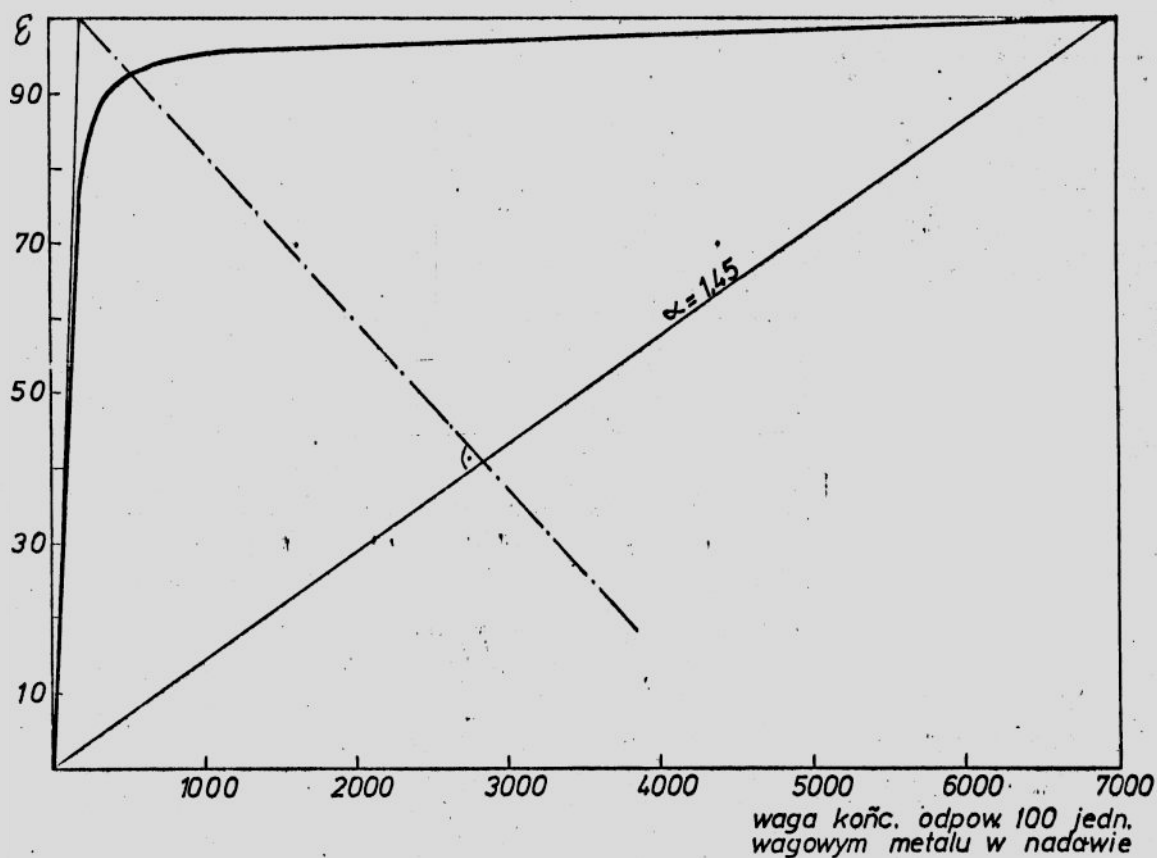
Przy zastosowaniu takich współrzędnych można bezpośrednio dla każdego punktu krzywej wzbogacalności wyliczyć zawartość metalu w koncentracie dzieląc współrzędną y przez współrzędną x . Zatem nachylenie prostej poprowadzonej przez dowolne dwa punkty krzywej bezpośrednio przedstawia zawartość. Konstrukcję tej krzywej wzbogacalności autor proponowanej metody przedstawił w przejrzystej formie w postaci analizy wektorowej / 17 / / 32 /. Rys II.6 i II.7 przedstawia typową krzywą w układzie Della.

Jowett / 28 / badając metodami geometrycznymi i analitycznie wiele charakterystyk wzbogacalności różnych kopalin stwierdził, że krzywe wzbogacalności Della można opisywać i to bardzo dobrze równaniami krzywych stożkowych. W przeważającej ilości badanych przez niego przypadków zauważył on, że aproksymując otrzymane doświadczalnie punkty krzywej wzbogacalności równaniem kwadratowym w ogólnej postaci :

$$ax^2 + 2hxy + by^2 + 2x + 2fy + c = k \quad (9)$$



Rys. II.6 Krzywa Della. Wyniki flotacji frakcjonowanych czystej piaskowcowej rudy miedzi z rejonu Lubina.

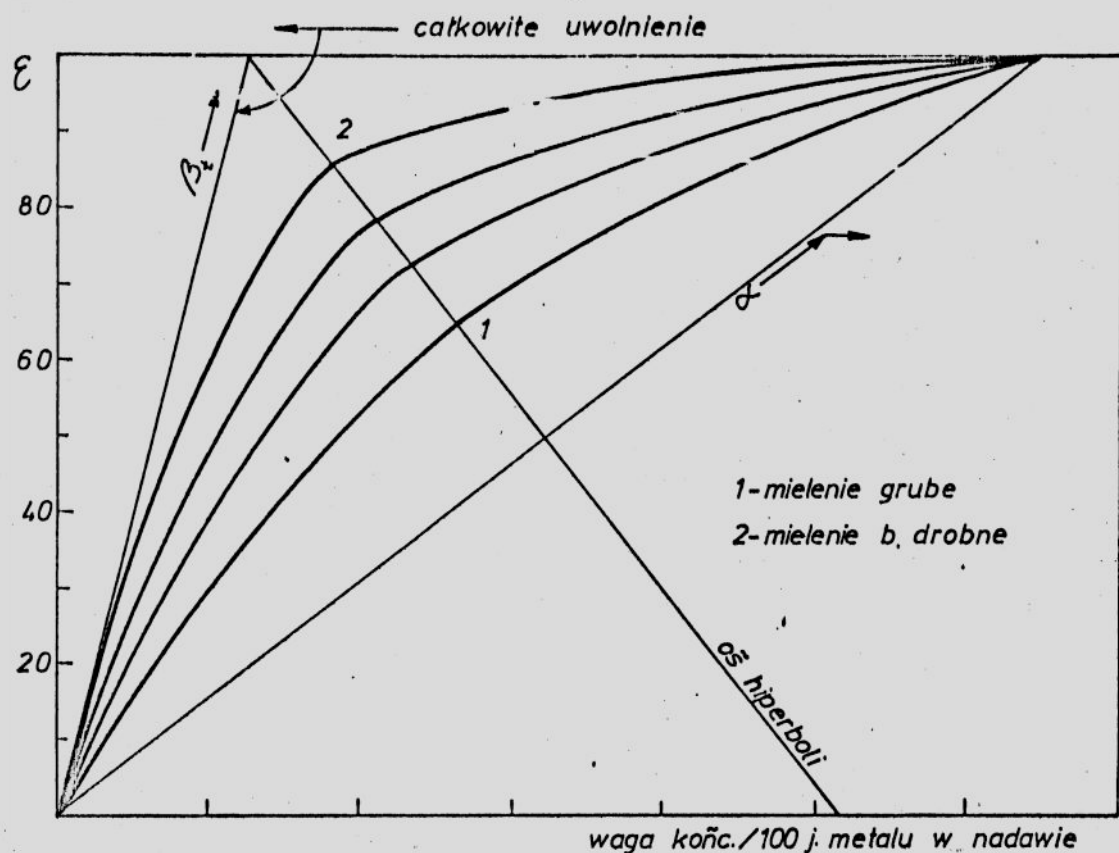


Rys. II.7 Krzywa Della wzbogacalność czystej rudy piaskowcowej (według danych jak na rys. II.6)

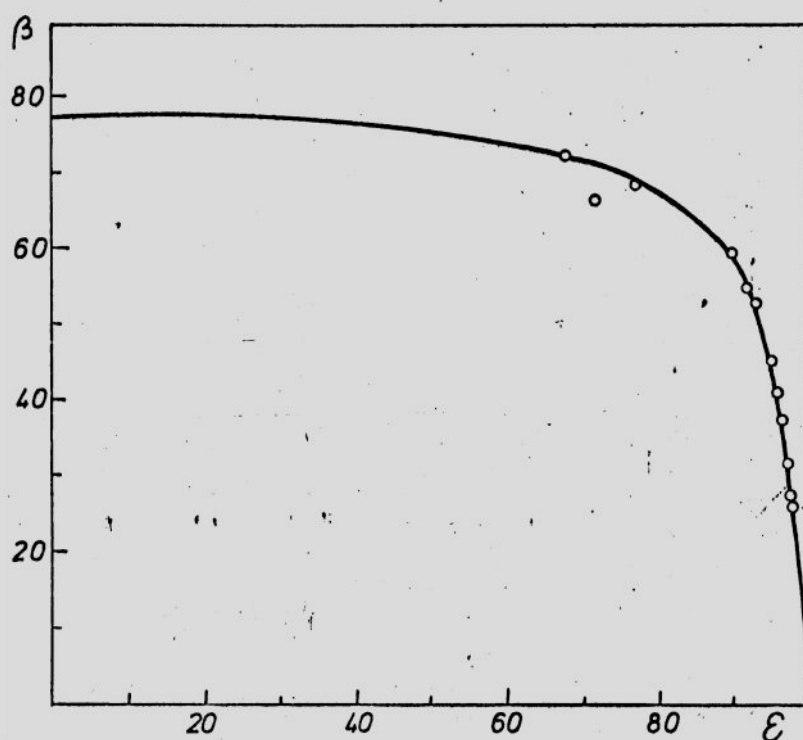
wyznaczony wyróżnik tego równania $\Delta = h^2 - ab > 1$, co świadczy o tym, że krzywa jest hiperbolą. Jedynie w bardzo rzadkich przypadkach krzywe mają charakter eliptyczny. Jednak przypadki takie tłumaczy się raczej niedoskonałością doświadczeń. Znajac formę matematyczną (równanie) krzywej wzbogacalności, autor ten podaje dwa szczególne aspekty praktyczne tego faktu :

- 1° Nachylenie prostej poprowadzonej przez dany punkt na krzywej i początek układu lub przez dwa dane punkty krzywej (co przedstawia jakoś danego produktu) można porównywać analitycznie z ekonomiczną zawartością składnika użytecznego w koncentracji.
- 2° Ogólny kształt krzywej (współczynniki równania) jest zależny od stopnia uwolnienia (Rys II.8.) co stwarza podstawę do znalezienia jakiegoś parametru uwalniania, który byłby jednym z podstawowych parametrów modelu matematycznego procesu wzbogacania.

Mimo, że powyższe podejście zapewnia doskonałą zgodność otrzymanych równań z punktami eksperymentalnymi, autor zwraca uwagę na czysto empiryczny charakter proponowanej metody oceny wzbogacalności. Przy tym zastosowane równania nie mogą być spełnione dla punktów skrajnych krzywej ($\varepsilon = 0$ i 100%). Fakt ten sprawia, że sformułowanie



Rys. II.8 Krzywe analizy uwalniania Della otrzymane w wyniku flotacji rudy miedzi przy różnym stopniu uwolnienia / 28 /.



Rys. II.9 Krzywa wzbogacalności siarczkowej rudy miedzi typu Shackleton w układzie współrzędnych uzysk metalu w koncentracie / 25 /.

(wyprowadzenie) jakiegoś jednego parametru uwalniania jest zadaniem niezwykle żmudnym i trudnym lub jak stwierdzono w pracy / 25 / często niemożliwym. Dlatego należy szukać innej formy matematycznej krzywej wzbogacalności.

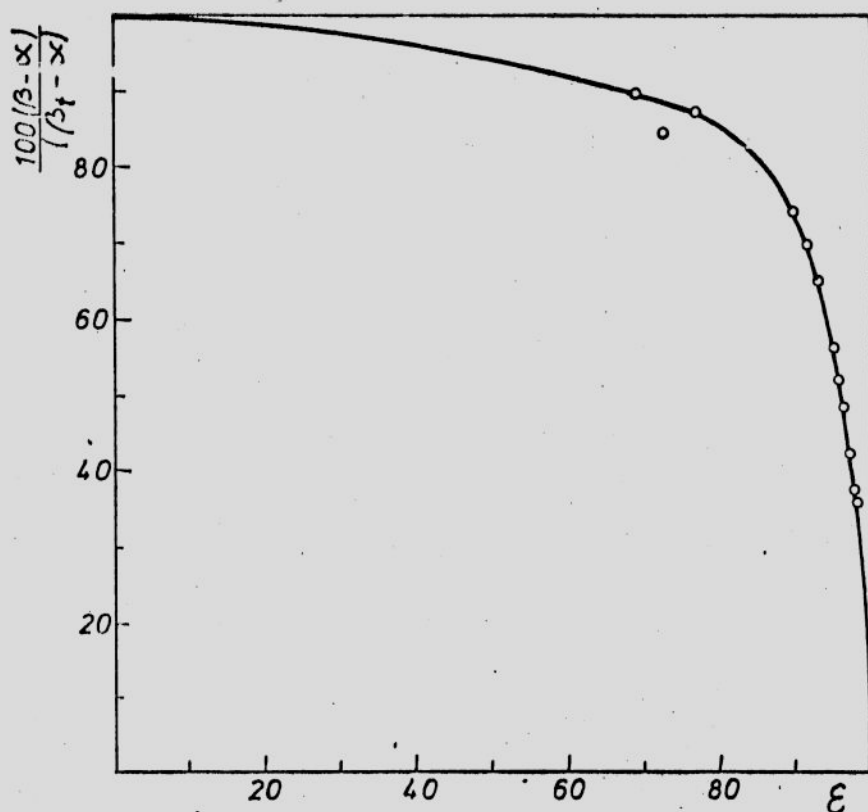
Jak słusznie zauważa Hall / 25 / przy bliższej analizie charakteru krzywych wzbogacalności staje się oczywistym, że na ich formę mogą wpływać trzy zmienne charakterystyki rudy :

- zawartość składnika użytecznego w rudzie,
- zawartość składnika użytecznego w czystym minerale,
- stopień uwolnienia tego minerału od skały płonnej.

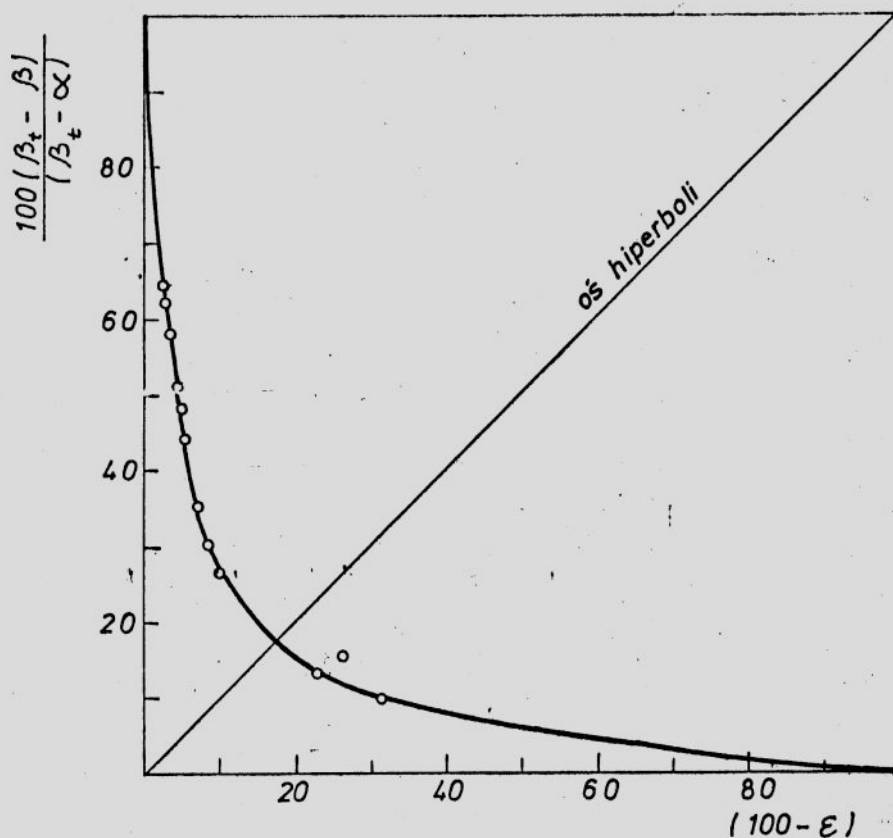
W związku z tym autor ten postuluje wyrażenie krzywej jako funkcji tych trzech zmiennych przy czym dwie z nich są specyficznymi dla badanej rudy a trzecia zmienna przedstawiać sobą może jednostkowy współczynnik uwolnienia.

Rozwiązanie tak postawionego zadania rozpoczęto od [25] analizy diagramu jakości koncentratu - uzysk (rys II.9). Pierwszym krokiem było przekształcenie tej krzywej do postaci bardziej dogodnej dla analizy - doprowadzenie do osi współrzędnych o jednakowych skalach.

Wiadomo bowiem, że w miarę zmienności uzysku ε po osi odciętych od 0 do 100, przedział zmienności jakości koncentratu β po osi rzędnych nie może być mniejszy od zawartości metalu w nadawie α oraz nie może przekroczyć β_t w czystym minerale. Zatem krzywa może być przekształcona do postaci równoosiowej (rys II.10) drogą następującego



Rys. II.10 Krzywa wzbogacalności z rys. II.9 przekształcona do postaci równościowej / 25 /.



Rys. II.11 Krzywa jak na rys. II.10 w układzie współrzędnych obróconych o kąt 180° / 25 /.

przekształcania zmiennej odkładanej (kumulowanej) na osi rzędnych :

$$y = \frac{\beta - \alpha}{\beta_t - \alpha} 100 \quad (10)$$

Ponieważ jak przypuszczano krzywa taka ma charakter hiperboli, to stanie się ona jeszcze bardziej dogodna do sprawdzenia i analizy przez odjęcie wartości x i y od 100.

Wówczas :

$$x = 100 - \varepsilon \quad (11)$$

$$y = 100 - \frac{\beta - \alpha}{\beta_t - \alpha} = 100 \frac{\beta_t - \beta}{\beta_t - \alpha} \quad (12)$$

krzywa przecina osie w punktach o współrzędnych 0;100 i 100; 0, co jest zgodne z tym, że uzysk tylko wtedy osiąga 100% gdy $\beta = \alpha$ i wielkość β tylko wtedy zbliża się do β_t gdy uzysk zbliża się do zera (Rys II.11). Próby zastosowania znanych metod aproksymacji doprowadziły autora do wniosku, że przy takiej formie przedstawiania krzywej, dane eksperymentalne aproksymują się z wysokim współczynnikiem korelacji krzywą typu :

$$y = \frac{B}{x} - A \quad (13)$$

Ponieważ krzywa taka jest asymptotyczna do osi y , nie może przechodzić przez punkt 0;100. W związku z tym koniecznym jest wprowadzenie trzeciego członu do wzoru (13), który daje asymptoty będące nieortogonalnymi w stosunku

do obu osi :

$$y = \frac{B}{x + c} - A \quad (14)$$

Z warunków zgodności krzywej (14) z punktami o znanych współrzędnych (0;100) i (100;0) oraz wracając do pierwotnych oznaczeń (11) i (12) otrzymujemy wyrażenie :

$$\beta = \beta_t - \frac{\beta_t - \alpha}{100} \cdot \frac{A\varepsilon}{100 + A - \varepsilon} \quad (15)$$

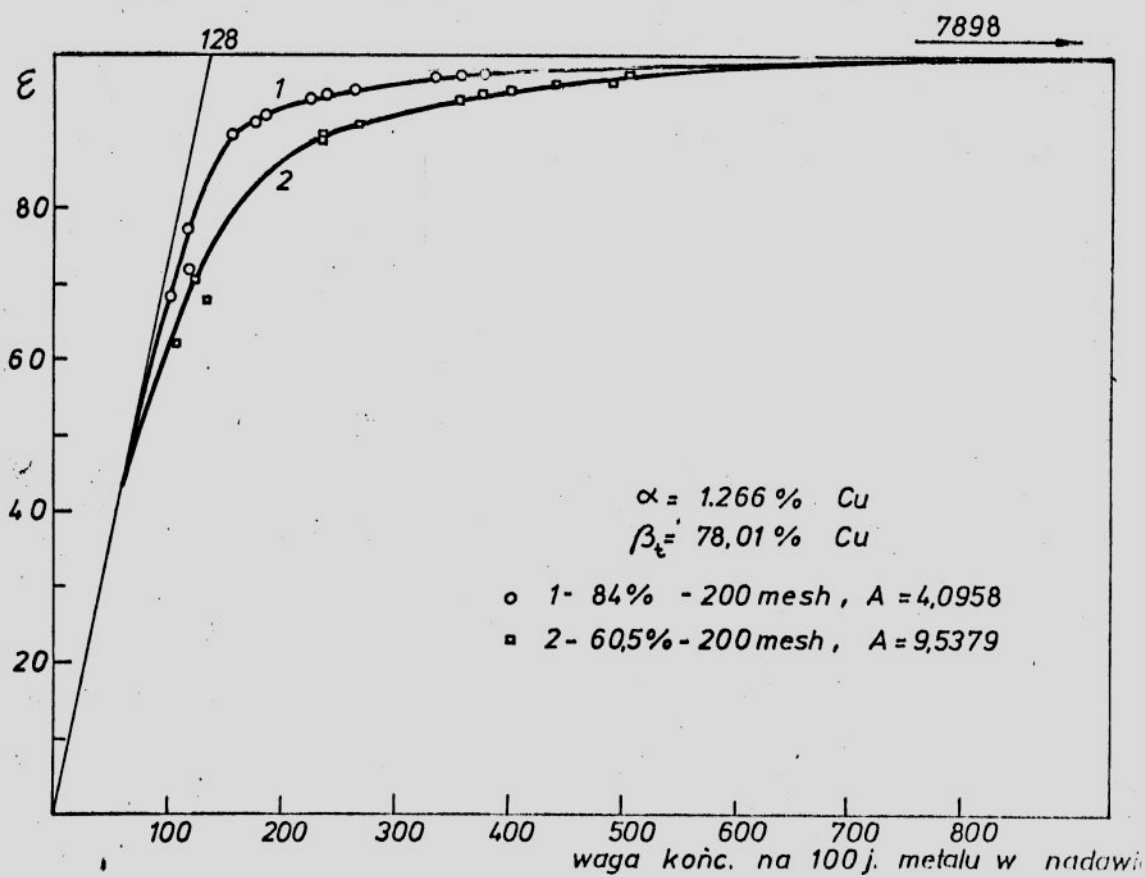
Mając oznaczone (metodami chemicznymi i chemiczno - mineralogicznymi) wartość α i β_t parametr A można wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów lub jak zaleca autor tej metody przy pomocy prostej procedury iteracyjnej, która daje lepsze wyniki. Mając parametry równania (15) można przejść na inny układ współrzędnych mianowicie do współrzędnych krzywej Della. Oznaczając wagę koncentratu odpowiadającą 100 jednostkom wagowym metalu w nadawie (wzór (7)) przez W można zapisać że :

$$\frac{\varepsilon}{W} = \frac{\beta}{100} \quad \text{czyli} \quad W = \frac{100\varepsilon}{\beta} \quad (16)$$

Podstawiając do wzoru (16) równanie (15) po przekształceniu otrzymujemy następującą formę matematyczną krzywej Della :

$$W = \frac{100\varepsilon}{\beta_t - \frac{\beta_t - \alpha}{100} \cdot \frac{A\varepsilon}{100 + A - \varepsilon}} \quad (17)$$

Analizując kilkanaście krzywych wzbogacalności dla kilku siarczkowych rud miedzi (z różnym stopniem uwolnienia) - autor doszedł do wniosku, że współczynnik A w przytoczonych równaniach jest funkcją stopnia uwolnienia i nazywa



Rys. II.12 Krzywa wzbogacalności Della dla danych
 jak na rys II. 8 do 11, (krzywa 1).

go współczynnikiem uwolnienia.

Rys II.12 przedstawia krzywą Della (krzywa 1) dla danych jak na rys II.9 do 11 opisaną równaniem (17).

Krzywa 2 przedstawia wzbogacalność tej samej rudy ale o mniejszym stopniu uwolnienia.

Cytowany autor zastosował wyprowadzone przez siebie zależności w szeregu opracowaniach dotyczących optymalizacji zespołów przerobczo - metalurgicznych, głównie w celu maksymalizacji zysku w kombinatach górniczo - metalurgicznych miedzi. Autor ten stwierdza również, że metoda ta może być wykorzystana przy budowie modelu matematycznego procesu flotacji.

Przedstawiony przegląd metod oceny wzbogacalności rud nie wyczerpuje w pełni wszystkich proponowanych w ostatnich latach metod, jednakże omówiono tu, jak się wydaje, główną linię rozwoju tych metod.

Niezależnie jednak od przedstawionych badań "podstawowych" przebiegu procesów wzbogacania, w warunkach przemysłowych najczęściej preferuje się oceny oparte na wynikach z bieżącej pracy zakładu wykorzystując fakt, że wskaźniki procesu przemysłowego wykazują zmienność losową, aczkolwiek w swej masie zgodną z ogólnymi regułami przeróbczymi.

2.2.3. Metody oceny przemysłowych procesów flotacji

W warunkach konkretnej technologii wzbogacania danej rudy możliwe jest otrzymywanie koncentratów o określonej jakości przy odpowiednim poziomie strat metalu w odpadach.

Z ogólnych reguł przeróbczych wiadomo, że ze wzrostem jakości koncentratu wzrasta zawartość metalu w odpadach i maleje uzysk metalu w koncentracie. W formie ilościowej takie zależności są bardzo użyteczne dla technologa kieru-

jącego procesem. Są one również przydatne w rozważaniach ekonomicznych / 70 /. W warunkach zakładów wzbogacania rud miedzi L G O M brak jest określeń ilościowych tych relacji.

Z praktyki przeróbnej wiadomo, że na zależność uzysku od zawartości metalu w koncentracie lub na równoważną jej zależność zawartości metalu w odpadach od zawartości metalu w koncentracie muszą wpływać następujące czynniki natury technologicznej :

- 1° Charakter wzbogacalności rudy ; np przy rudzie łatwo wzbogacalnej będziemy obserwować mniejszy wpływ jakości koncentratu na zawartość metalu w odpadach.
- 2° Schemat wzbogacania dla danej rudy ; przy różnych schematach technologii będą występowały różne zależności (np zwiększenie lub zmniejszenie ilości stopni czyszczenia, wprowadzenie dodatkowej klasyfikacji czy flotacji itp).
- 3° Zastosowane odczynniki flotacyjne zarówno zbierające jak i pianotwórcze, odczynniki mogą działać mniej lub bardziej selektywnie. Osobnym czynnikiem może tu być także ilość zużytego odczynnika.
- 4° Zakłócenia ruchu, ingerencja obsługi świadoma, właściwa i niewłaściwa np. awarie maszyn, remonty, itp i związane z tym odpowiednie kierowanie procesem.

Ocena procesu może być oparta o analizę wpływu tych czynników. Analizę taką najlepiej przeprowadzać przez porównanie zależności korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami (α , β , ν , δ , ε) wyznaczanych każdorazowo dla konkretnych warunków technologii.

Stępiński / 71 ^{badając} / wiele przypadków z praktyki przemysłowej dochodzi do wniosku, że w zakresie praktycznie spotykanych wartości zawartości metalu w koncentracie β , najbardziej dogodną do oceny procesu jest zależność typu

liniowego :

$$\gamma = a + b\beta \quad (18)$$

lub rzadziej typu parabolicznego:

$$\gamma = \frac{(\beta - c)^2 + ed}{e} \quad (19)$$

gdzie, a , b , oraz c , d , e są to stałe zależne od rodzaju rudy i od sposobu wzbogacania wyznaczone eksperymentalnie. Równania (18) i (19) zachowują wartość w sąsiedztwie punktu przegięcia podstawowej krzywej wzbogacalności $\mathcal{K}$ a więc w granicach zawartości β , które osiągnąć można w przemysłowym procesie wzbogacania przy racjonalnym uzysku.

Zależność powyższa została zastosowana przez cytowanego autora jako podstawa rozważań ekonomicznych dotyczących rud metali nieżelaznych. Zależność tą potwierdza i wykorzystuje również w swoich pracach Czarkowski / 11, 12 / i Stefański / 68, 69 /.

Zdaniem Kozina i Tropia / 30 / zależność między podstawowymi wskaźnikami procesu flotacji w kilku radzieckich zakładach wzbogacania rud miedzi najlepiej aproksymować krzywą o równaniu :

$$\gamma = \frac{1}{a + b\beta + c\beta^2} \quad (20)$$

przy czym omawiana zależność pozostaje w zakresie lewej gałęzi krzywej, która ma w tej części tendencję rosnącą. Jednak istotną dla naszych rozważań gałąź tej krzywej dla stosunkowo wąskich zakresów β i dalekich od $\beta_{\max}$ można dobrze aproksymować linią prostą o równaniu (18).

Autorzy proponujący przedstawione tu zależności słusznie zaznaczają, że funkcje regresji jednej zmiennej typu $\gamma = f(\beta)$ są dobrym przybliżeniem gdy jakość nadawy jest stała lub zmienia się w bardzo wąskim zakresie.

Jeśli warunek ten nie jest spełniony omawianą zależność można aproksymować równaniem płaszczyzny regresji zaproponowanym w pracy / 63 /

$$\gamma = a\alpha + b\beta + c \quad (21)$$

Zdaniem autorów tej pracy, określana tym wzorem zależność umożliwia prognozę uzysku z jednej strony, z drugiej zaś stanowi bardzo użyteczny instrument kontroli wpływu szeregu czynników technologicznych na wyniki wzbogacania - przez porównanie wielkości γ , otrzymanej w normalnych warunkach z rzeczywiście osiągniętą wielkością γ w zmienionych warunkach.

Fišman - ustalił eksperymentalnie zależność uzysku od jakości koncentratu w postaci regresji liniowej / 61 /.

$$\xi = a + b\beta \quad (22)$$

Zależność ta jest równoważna równaniu liniowemu (18) gdyż w większości przypadków uzysk jest silnie skorelowany z zawartością metalu w odpadach.

Podobną zależność badano w pracy / 87 / ale z uwzględnieniem wpływu zawartości metalu w nadawie gdyż stwierdzono, że na uzysk duży wpływ ma jakość nadawy. Badana w tej pracy zależność typu :

$$\xi = a\alpha + b\beta + c \quad (23)$$

dla wyników wzbogacania w ZWR "Polkowice" okazała się jednak w większości przypadków nieistotna gdyż zakres zmienności uzysków metalu w koncentracie był bardzo mały i nieznacznie przewyższał błąd wyznaczania uzysku. Stwierdzono przy tym, że o ile współczynnik zmienności uzysku V_{ξ} mieścił się w granicach 1,5 do 2 % to współczynniki zmienności V_{α} , V_{β} , V_{γ} , V_{δ} mają wartość od 10 do 20 %. W związku z tym w cytowanej pracy stwier-

dzono, że fakty te mogą utrudnić badanie jakichkolwiek zależności od uzysku dla wyników wzbogacania rud miedzi w zakładach przeróbczych L G O M.

Pudło badając warunki zachodzenia zależności (18) zaproponowanej przez Stepińskiego zauważa, że wyznaczanie jakiegokolwiek zależności między podstawowymi wskaźnikami wzbogacania jest równoznaczne z wyznaczeniem w postaci analitycznej podstawowej krzywej wzbogacalności $\mathcal{K}$ / 56 /. W związku z tym autor ten analizując krzywe wzbogacalności i równania bilansu wyprowadza z tego ostatniego zależność (18), uzasadniając matematycznie warunki jej zachodzenia.

Osobną grupą metod oceny przemysłowych procesów flotacji rud siarczkowych proponują różni autorzy, którzy ograniczyli się jedynie do określenia wpływu zawartości metalu w nadawie na wyniki procesu, zatem na wskaźniki $\beta, \vartheta, \varepsilon$. Zależności tego typu są interesujące głównie w rozważaniach dotyczących ekonomiki całokształtu procesów górniczo - przeróbczych a w szczególności przy obliczeniach ekonomicznych w zagadnieniach związanych z eksploatacją rud, stratami złożowymi i eksploatacyjnymi oraz zubażaniem rud / 64 /. Wpływ jakości nadawy na wyniki wzbogacania oczywiście również interesuje technologa przeróbkarza ze względów technologicznych / 20 /. Wiadomo bowiem, że wszelkie zmiany nadawy prowadzą do zakłócenia przebiegu procesu technologicznego i często zmuszają do korekty warunków technologicznych

W cytowanej pracy / 64 / oraz w publikacjach Czarkowskiego /10/ /13/, Beneša /7/ jak i w kilku pracach

autorów radzieckich / 20, 40, 53, 86 / stwierdzono, że w stosunkowo wąskich zakresach zmienności α wpływ jakości nadawy na wyniki wzbogacania można opisywać zależnością liniową typu

$$\varepsilon = a + b\alpha \quad (24)$$

$$\beta = c + d\alpha \quad (25)$$

lub krzywoliniową :

$$\varepsilon = a + b\alpha + c\alpha^2 \quad (26)$$

$$\beta = c + d\alpha + e\alpha^2 \quad (27)$$

Natomiast w przypadku zmienności nadawy w szerokich granicach wymienieni autorzy proponują zależności krzywoliniowe typu hiperbolicznego :

$$\varepsilon = c \left(1 - \frac{d}{\alpha} \right) \quad (28)$$

$$\text{lub } \varepsilon = d - \frac{e}{\alpha} \quad (29)$$

$$\text{oraz } \varepsilon = \frac{\alpha}{a + b\alpha} \quad (30)$$

Wymienione zależności (24) do (30) otrzymano w wyniku obliczeń statystycznych, którym poddano wyniki wzbogacania pochodzące z opróbowań zmianowych. W wymienionych tu pracach autorzy nie podają pełnej analizy statystycznej otrzymanych równań. W jednej natomiast pracy tzn / 64 / podano w formie tablicy oszacowania wartości średnich w przedziałach klasowych utworzonych na podstawie ok 1000 opróbowań zmianowych ; na podstawie wyników zawartych w

tej tablicy obliczono współczynniki równania typu (29). Bliższa jednak analiza tych czynników wykazuje, że przybliżenie liniowe typu wz. (24) jest wystarczające dla tego przedstawionego zestawu danych.

W rzeczywistości dla szerokich zakresów zmienności jakości nadawy słuszną musi być zależność hiperboliczna podana przez Beneša / 7 / wzorem (28), wyprowadzona z bilansu metalu ; jednak w warunkach prawidłowej eksploatacji złoża zakres zmienności nadawy na ogół jest na tyle wąski że wystarczające jest przybliżenie liniowe.

Przedstawione w tym rozdziale różne zależności ilościowe cytowani autorzy otrzymali w wyniku analizy statystycznej wskaźników procesów przemysłowych opierając się na danych z normalnej pracy zakładów.

2.3. Uwagi o zastosowaniu metod statystycznych do oceny przebiegu przemysłowych procesów wzbogacania.

W wielu pracach naukowych często podkreśla się trudności z jakimi można się spotkać przy stosowaniu metod statystycznych w badaniach rzeczywistych procesów przemysłowych. Dlatego konieczne jest omówienie pewnej specyfiki tych metod w zastosowaniu do omawianej klasy procesów.

W poprzednich rozdziałach zwrócono m. in, uwagę na fakt, że w przebiegu procesów przeróbowych wpływ zmiennych

czynników niekontrolowanych, który powoduje znaczny nieraz rozrzut wyników pomiarów jest nieunikniony. Utrudnia to ocenę wpływu czynników kontrolowanych, który będzie zauważalny tylko wtedy gdy skutki działania tych czynników przewyższą skutki działania czynników powodujących rozrzut.

Obiektywny osąd równoczesnego oddziaływania wielu czynników zmiennych na przebieg procesu technologicznego i na wartości wskaźników technologicznych mogą zapewnić tylko metody statystyczne uzupełnione doświadczeniem osobistym i logicznym rozumowaniem / 27, 80 /. Celowość stosowania metod statystycznych do badań technologii wzbogacania została wykazana przez wielu autorów np w pracach / 5, 19, 39, 48, 52, 76 /.

W warunkach eksperymentu biernego ogólnie przyjmuje się następujący tok postępowania przy badaniu statystycznym procesów przemysłowych / 15, 27, 38, 76 / w tym i procesów flotacji / 5 / :

- 1^o Określenie typu rozkładów prawdopodobieństwa parametrów procesu w celu stwierdzenia możliwości zastosowania danych metod statystycznych ;
- 2^o Określenie siły i formy zależności między oddzielnymi parametrami procesu ;
- 3^o Wyznaczenie statycznego modelu procesu w postaci równania regresji i ocena jego adekwatności.

Oprócz tu wymienionych dla pełnej analizy statystycznej konieczne jest określenie charakterystyk dynamicznych

procesu jednak zagadnienie to nie wchodzi w zakres niniejszej pracy. Przeważająca część prac ostatnich lat wykorzystujących analizę statystyczną w badaniach przemysłowego procesu flotacji, analizuje ten proces pod kątem wpływu na ten proces konkretnych parametrów jak zużycie odczynników, pH, zagęszczenie mętów, przemiał rudy i.t.p. Otrzymane przy tym statyczne modele regresyjne mają zwykle małe współczynniki korelacji i jak stwierdzają Płaksin i współpracownicy / 51, 75 / są wystarczające do bieżącej oceny procesu ale nie nadają się do wykorzystania w charakterze modelu matematycznego do sterowania procesem.

Ogólnie zauważa się dużą ilość prac poświęconych analizie statystycznej procesów wzbogacania, obciążonych jednak różnego rodzaju błędami merytorycznymi. Wynika to z przyczyn natury ogólnej oraz ze specyfiki procesów wzbogacania / 51 /.

Do najczęstszych błędów można zaliczyć założenie a priori niewłaściwego rozkładu parametrów / 48,5 /. Prawidłowe bowiem zastosowanie szeregu testów statystycznych, analizy wariancji, analizy regresyjnej czy korelacji liniowej, możliwe jest wówczas gdy badane parametry mają rozkład normalny.

Rozkład prawdopodobieństwa badanych parametrów winien być co najmniej zbliżony do normalnego lub dać się sprowadzić do rozkładu normalnego.

W rzeczywistości jednak, w przypadku parametrów proce-

sów przeróbczych przeważnie wyrażanych w procentach rozkład normalny jest raczej wyjątkiem niż regułą.

Wynika to z faktu, że rozkład normalny zmiennych losowych zmienia się w przedziale od $-\infty$ do $+\infty$, podczas gdy przedział zmienności takich parametrów jak zawartość metalu w koncentracie - ograniczony jest do β_t - teoretycznej zawartości metalu w czystym mineralu użytecznym, wychód i uzysk ograniczone są warunkami prowadzenia procesu. Zatem zakres zmienności parametrów wyrażanych w procentach jest zwykle nawet mniejszy od zakresu od 0 do 100 %.

Aproksymacja wybranej próby statystycznej rozkładem normalnym jest wówczas możliwa jedynie w pobliżu środka przedziału zmienności. Natomiast w przypadku gdy zakres zmienności badanego parametru obejmuje wartości znacznie oddalone od środka przedziału to ich rozkłady stają się niesymetryczne i najczęściej można je dokładniej aproksymować rozkładem logarytmonormalnym.

W wielu przypadkach z różnych dziedzin "technologii mineralnej" przy badaniu rozkładów zawartości różnych składników mineralnych i parametrów stwierdzono fundamentalną rolę rozkładu logarytmonormalnego / 5,29, 67 /. W pracach dotyczących geologii i geochemii dowiedziono np, że rozkład logaratmonormalny składników użytecznych w złożach rud jest ogólną prawidłowością i na tej podstawie oparto szereg teorii genezy złóż / 55 /.

Dowiedziono, że obliczone rzeczywiste charakterystyki statystyczne (tzn przy obowiązywaniu rozkładu logarytmo -

normalnego) różnią się w sposób istotny od charakterystyk obliczonych przy założeniu że rozkład jest normalny / 27 . Stwierdzono przy tym istotne różnice nawet w przypadku wartości oczekiwanej a przy obliczeniu wariancji może powstać 1,5 - 2 krotny błąd / 5 /. Jak wiadomo współczynniki zmienności parametrów podlegających rozkładowi normalnemu są mniejsze niż współczynniki te dla zmiennych podlegających rozkładowi logarytmnormalnemu. Mając na uwadze analizę podstawowych parametrów procesów flotacji oczywiście trudn jest ustalić granicę od której przestał by obowiązywać dany rozkład. Jednak w cytowanej tu monografii Barskiego - Rubinsteina ustalono na podstawie badań analiz chemicznych prób technologicznych w zakładach przeróbki rud, że współczynnik zmienności $V < 20 \%$ w zasadzie zapewnia, że rozkład normalny będzie dobrą charakterystyką zmienności. Można się spodziewać wyjątków od tej reguły w przypadku np zawartości metalu czy uzysków w zależności od tego jakiego odcinka charakterystyki wzbogacalności dotyczy zmienność badanego parametru czy wskaźnika. Gdy będziemy mieli do czynienia z technologią w miarę ustabilizowaną to zakres zmienności będzie na tyle jednak mały, że można się spodziewać w większości przypadków rozkładów normalnych ale jak podaje każdy podręcznik statystyki należy to sprawdzić

Na podstawie powyższych rozważań nasuwa się wniosek, że zakres zmienności parametrów może być miarą stabilności procesu. Im mniejszy zakres zmienności parametrów tym proces można uważać za bardziej ustabilizowany.

Powstaje tu jednak pewna sprzeczność. Otóż zasadniczym warunkiem znalezienia istotnych zależności między parametrami procesu jest ich zmienność w dostatecznie szerokich granicach. Im bardziej technologia będzie ustabilizowana tym mniejsze będą współczynniki zmienności badanych parametrów, tym bardziej nie będzie miało sensu wyznaczanie zależności statystycznych / 38 /. W takich przypadkach jedynym wyjściem będzie przeprowadzenie eksperymentu czynnego, czyli celowego wymuszania szerszych zakresów zmienności wskaźników według pewnego planu. Jest to jednak zagadnienie trudne dla zakładu produkującego cenny surowiec. Jak wykaże szereg autorów, procesy flotacji są na tyle złożone, że wprowadzenie nawet automatycznej stabilizacji technologii nie likwiduje całkowicie zmienności wielu parametrów i analiza statystyczna w tzw. eksperymentach biernym przy normalnym funkcjonowaniu zakładu jest możliwa a nawet i konieczna / 38 /. Zaletą ustabilizowanej technologii nie potrzeba uzasadniać ale równocześnie fakt wahań parametrów procesów w szerokich granicach ma to dodatnie znaczenie, że daje możliwość obliczenia np. współczynników korelacji i równań regresji obowiązujących w dostatecznie szerokim interwale bez potrzeby przeprowadzania trudnych dla zakładu produkcyjnego eksperymentów czynnych.

Podając się analizie statystycznej procesu przerobczego powstaje szereg pytań związanych ze zbieraniem danych eksperymentalnych. Przy zbieraniu danych do obliczeń musi się bowiem uwzględnić takie zagadnienia jak wybór

czasu między pomiarami, ilości obserwacji, sytuacja w zakładzie (remonty, awarie, zmiany w technologii).

Przy wyborze czasu między pomiarami należy kierować się okresem wahań parametrów posiadających najniższą częstotliwość / 5 /. Przy pomiarach obejmujących krótkie okresy pracy zakładu (np. kilkanaście godzin) należy uwzględnić również czas opóźnienia między poszczególnymi punktami pomiarowymi. Uwagi te w zasadzie nie odnoszą się do przypadków gdy danymi eksperymentalnymi są wyniki zmianowe (wyniki średnie za całą zmianę technologiczną) / 78 /.

Pozostaje wówczas jedynie rozwiązanie zagadnienia ilości obserwacji do obliczeń. Istnieje wiele metod wyznaczania koniecznej ilości obserwacji (liczebności prób) / 15 /. Jednak na ogół nie zaleca się ich stosowania gdyż w przypadku badań wyników zmianowych flotacji powinny decydować głównie warunki technologiczne zakładu a konieczna ilość danych i tak musi być np dla obliczenia korelacji co najmniej rzędu 100 zmian (1 miesiąc) / 5 /. Zagadnienie to będzie omówione szerzej w dalszych rozdziałach.

Przy określeniu siły zależności pomiędzy parametrami przemysłowego procesu flotacji należy mieć na uwadze również podkreślaną uprzednio specyfikę procesów przeróbowych. Jak wiadomo praktycznie zawsze współczynnik korelacji jest pewną estymacją ścisłości związku mającą sens tylko przy liniowej zależności między parametrami. Zatem nawet przy wysokim współczynniku korelacji całkowitej nie można z zupełną pewnością wnioskować o występowaniu związku ponieważ

znany jest fakt, że wskutek sterowania procesem równocześnie regulowanie parametrów przez flotatora prowadzi do ich sztucznej "koretowalności" / 44 /, / 27 /. Również mały współczynnik korelacji całkowitej nie zawsze jest wynikiem braku związku i może wynikać z nieliniowości związku lub ze znacznego wpływu innych nie badanych czynników. W tym ostatnim przypadku często lepsze oszacowanie siły zależności daje współczynnik korelacji cząstkowej / 67 / / 76 /.

Przy pomocy oszacowania współczynnika korelacji cząstkowej określa się wpływ badanego czynnika przy ustalonych na pewnym poziomie innych czynnikach. Znane są przypadki gdy oszacowany współczynnik korelacji prostej między np jakością nadawy a uzyskiem metalu w koncentracie jest nieistotny lub bardzo mały a odpowiedni współczynnik korelacji cząstkowej jest wysoki i wskazuje na istotny wpływ tej zmiennej.

Korelację jako zależność charakteryzuje się analitycznie za pomocą funkcji regresji. Najbardziej rozpowszechnioną metodą określania zależności ilościowych jako charakterystyk statycznych obiektów przerobczych w warunkach przemysłowych (eksperyment bierny) jest metoda analizy regresyjnej. Analiza regresyjna jest jedną z wielu metod tzw identyfikacji obiektów sterowania / 38 /.

Eksperyment bierny ma wiele zalet jednak narzuca szereg ograniczeń co do możliwości otrzymania wiarygodnych charakterystyk statystycznych, dlatego stosując w tym przypadku którąkolwiek z metod identyfikacji należy z dużą ostrożno-

ścią podchodzić do jej wyników / 38 /.

Warto w tym miejscu podkreślić, że wyniki analizy regresyjnej są dla technologa stosunkowo łatwe do interpretacji. Na korzyść tej metody kształtują się również jej koszty oraz łatwe do przygotowania programy obliczeniowe.

Decydując się na zastosowanie analizy regresyjnej należy zwrócić uwagę na dwie przesłanki na których oparta jest ta metoda / 27, 38, 82 /:

- 1° Zmienna niezależna mierzona jest bez błędów lub z błędem odpowiednio małym wobec zmiennej zależnej
- 2° Zmienna zależna przedstawia sobą proces losowy typu białego szumu

W warunkach przemysłowych nierzadko jednak się zdarza, że postulat 1° jest trudny do spełnienia a równocześnie zakres zmienności zmiennej x jest na tyle mały, że odpowiednio pomiary wartości zmiennej zależnej y wykazują wahania mało różniące się od jej błędu pomiarowego. Możemy wówczas otrzymać współczynniki regresji obciążone dużymi błędami tak, że równanie traci sens nawet mimo jego istotności / 82 /. W związku z powyższym w cytowanej tu pracy zaleca się dodatkowo zastosowanie testu w postaci stosunku wariancji

$$F = \frac{s^2(\bar{y})}{s^2(y^1)} \gg F_{\text{tabl.}} \quad (31)$$

gdzie $s^2(\bar{y})$ - rozrzut względem średniej arytmetycznej, który można traktować jako współczynnik regresji w wielo-

mianie zerowego rzędu $y = \bar{y}$; $S^2(y)$ - rozrzut względem otrzymanego równania regresji.

Na zakończenie rozważań tego rodzaju należałoby poświęcić nieco uwagi wyznaczaniu podstawowych parametrów statystycznych wskaźników wzbogacania. Jak wiadomo takie wskaźniki jak wychód koncentratu, uzysk metalu w koncentracie są w przypadku oceny bieżącej procesu wielkościami obliczonymi z wartości wskaźników α, β i γ . Przy wyznaczaniu z próby np wariancji i odchylenia standardowego musi się uwzględnić fakt pośredniego wyznaczania tych wskaźników. Tak np jeśli oszacowanie odchylenia standardowego wskaźników α, β i γ wyznacza się bezpośrednio ze znanych wzorów np:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (32)$$

to w przypadku np uzysku należy stosować wzór /5, 47/ :

$$S_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \gamma}\right)^2 S_\gamma^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \beta}\right)^2 S_\beta^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)^2 S_\alpha^2} \quad (33)$$

gdy uzysk obliczamy w procentach wg wzoru :

$$\varepsilon = \frac{\gamma \beta}{\alpha} = \frac{100 \gamma \beta}{\gamma \beta + (100 - \gamma) \gamma} \quad (33)$$

lub

$$S_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)^2 S_\alpha^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \beta}\right)^2 S_\beta^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \gamma}\right)^2 S_\gamma^2} \quad (34)$$

gdy uzysk obliczamy wg wzoru

$$\varepsilon = \frac{1 - \frac{\gamma}{\alpha}}{1 - \frac{\gamma}{\beta}} \quad (35)$$

W wzorach (32), (33), (34) i (35) wskaźniki są oszacowanymi wartościami średnimi tych wskaźników. Wyliczając odpowiednie pochodne cząstkowe wartości średnie oraz wariancje i wstawiając je do wzorów (32) i (34), odchylenie standardowe uzysku można oszacować po przekształceniu z wzorów :

$$S = \frac{\sqrt{10^4 \beta^2 \vartheta^2 S_r^2 + [\gamma \vartheta (100 - \gamma)]^2 S_\beta^2 + [\gamma \beta (100 - \gamma)]^2 S_\vartheta^2}}{(\gamma \beta + 100 \vartheta - \gamma \vartheta)^2} \quad (36)$$

lub

$$S = \frac{100 \sqrt{[\beta \vartheta (\beta - \vartheta)]^2 S_\alpha^2 + [\vartheta (\alpha - \vartheta)]^2 S_\rho^2 + [\beta (\alpha - \beta)]^2 S_\vartheta^2}}{\alpha^2 (\beta - \vartheta)^2} \quad (37)$$

Obliczanie odchylenia standardowego uzysku metalu w koncentracie "bezpośrednio" przy użyciu wzoru (32) daje wyniki błędne i z reguły wartość obliczona jest nieco niższa niż obliczana wzorami (36) lub (37).

3. Badania podstawowych wskaźników technologicznych wzbogacania rud miedzi

3.1. Wzbogacalność rud miedzi z rejonu Lubina.

Rudy miedzi z Lubińsko - Głogowskiego okręgu miedziowego są typu siarczkowego o bardzo niskim stopniu utlenienia. Przeważająca większość minerałów miedzionośnych to siarczki, spośród których najliczniej występuje chalkozyn. W rejonie Lubina ok. 70% miedzi związane jest z tym minerałem. Pozostała miedź przypada na charkopiryt (ok. 10%) i bornit (ok. 20%). W niektórych częściach złoża należące do obszaru górniczego ZG "Lubin" obserwuje się jednak partie o przewadze mineralizacji charkopirytowej lub bornitowej / 54 /. Forma mineralizacji rudy jest w dużym stopniu związana z rodzajem skały płonnej jaka towarzyszy minerałom użytecznym / 9 /.

Rudy miedzi ze złoża LGOM mimo siarczkowego charakteru nie należą do łatwowzbogacalnych. Wynika to głównie z bardzo drobnego okruszczenia jak i ze specyficznych własności skały płonnej / 83 /. Minerały miedzionośne występują w trzech warstwach litologicznych: piaskowcach, wapieniach oraz ilasto bitumicznych łupkach. Każda z tych warstw posiada zróżnicowane własności fizyczne i chemiczne, wymaga zatem różnych warunków procesu wzbogacania.

Najłatwiej wzbogacalną rudą jest ruda piaskowcowa co wynika stąd, że minerały użyteczne występują wyłącznie w lepiszczu spajającym ziarna kwarcu. Ruda piaskowcowa wymaga zatem tylko takiego stopnia zmielenia, który uwalnia ziarna kwarcu t.j. poniżej 0,3 mm, wówczas bowiem ma miejsce całkowite niemal uwolnienie minerałów miedzi. Flotacja tych minerałów zachodzi łatwo i w czasie ok 10 min można osiągnąć ponad 90% uzysku przy wysokiej zawartości miedzi w koncentracie / 2, 9, 83 /.

Ruda węglanowa wymaga znacznie drobniejszego przemiału ze względu na licznie występujące drobne wytrąsnięcia minerałów miedzi. Końcowe uziarnienie rudy do flotacji winno być praktycznie poniżej 0,075 mm. Wskutek występowania znacznych ilości minerałów ilastych, czasy flotacji rudy wapiennej są długie sięgające 50 min. a zużycie odczynników duże. Jednak przy optymalnych warunkach flotacji możliwe jest osiągnięcie 90%-owych uzysków przy dość wysokiej zawartości metalu w koncentracie / 83 /.

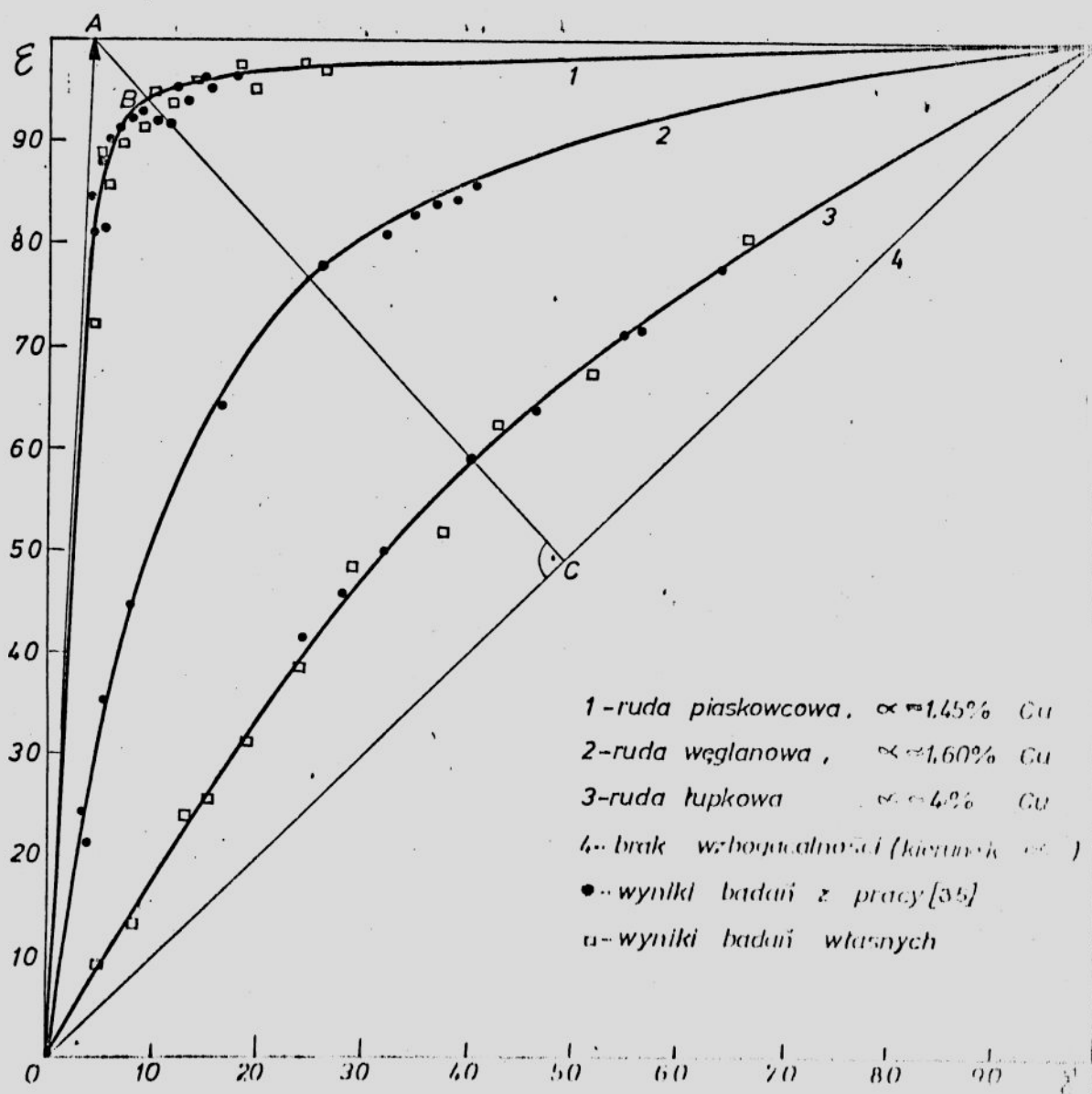
Ruda łupkowa jest najbardziej skomplikowana zarówno pod względem składu skały płonnej jak i składników użytecznych. Ziarna siarczków najczęściej mają wymiary mikronowe i w zasadzie praktycznie nie zachodzi całkowite uwolnienie minerałów miedzionośnych. Skała płonna zawiera znaczne ilości ilów bardzo utrudniających flotację oraz substancji organicznych nadających części skały własności hydrofobowych. Wskutek tego wychody koncentratów flotacyjnych są duże jednak przy bardzo niskich uzyskach. Zużycie odczynników

jest znaczne, czasy flotacji bardzo długie (powyżej 60 min)
/ 2,3,9,83 /

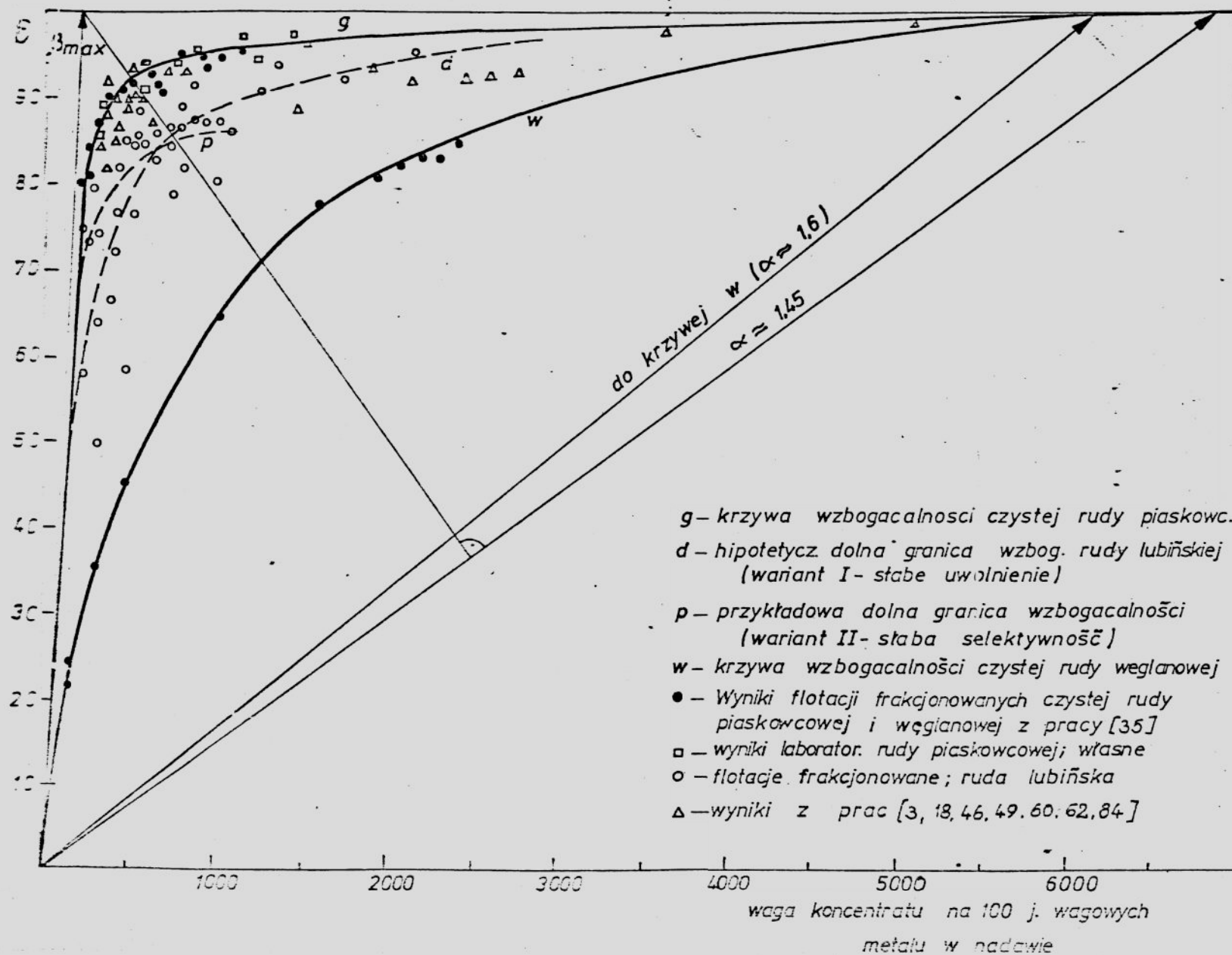
Wskutek swej budowy litologicznej ziarna łupków, mimo odpowiedniego rozdrabniania, zawierają pewną ilość wprysnięć minerałów miedzi i mają tendencję do przechodzenia w toku procesu flotacji do produktów odpadowych powiększając straty miedzi / 36 /. W różnych partiach złoża Lubińsko - Głogowskiego Okręgu Miedziowego obserwuje się różne stosunki ilościowe pomiędzy rudami związanymi z wymienionymi warstwami litologicznymi. W rejonie Lubina i Rudnej rudy miedzi związane są głównie z serią piaskowcową, natomiast w rejonie Polkowic i Sieroszowic głównie z serią węglanowo - łupkową.

W rejonie Lubina stosunek ilościowy rudy piaskowcowej do węglanowej i łupkowej w procentach kształtuje się przeciętnie jak 65 : 23 : 12 %.

Na rys III.1. przedstawiono wyniki badań nad wzbogacalnością poszczególnych odmian litologicznych rud miedzi z rejonu Lubina. Na rysunku tym oprócz wyników badań własnych naniesiono dla pełniejszego obrazu wyniki badań Lekkiego z pracy / 40 /. Na uwagę zasługuje tu fakt, że naniesione na wykresie wyniki flotacji frakcjonowanych różnych rud układają się w krzywe wzbogacalności o podobnym kształcie. Przy konstrukcji tego wykresu dane stanowiły tylko uzyski i wychody koncentratu; przy porównaniu wzbogacalności poszczególnych rud trzeba zatem uwzględnić fakt że zawartości metalu w nadawie są inne dla każdej krzywej.



Rys.III.1 Wzbogacalność odmian litologicznych rudy miedzi z rejonu Lubina.



Rys. III.2. Obszar wzbogacalności lubińskiej rudy miedzi

Przedstawione wyniki badań wzbogacalności otrzymano w zbliżonych warunkach flotacji.

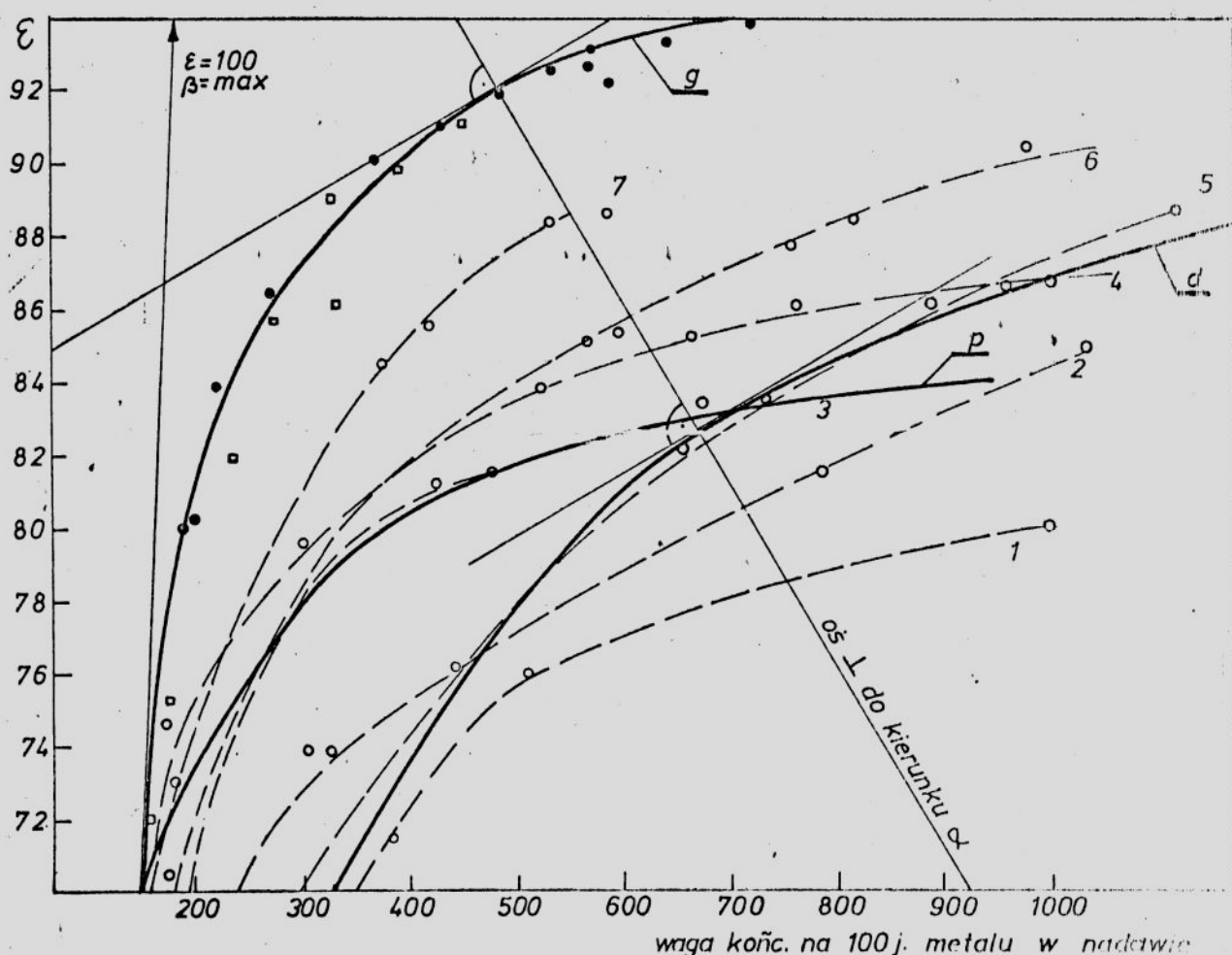
Krzywe 1 i 2 z rys III.1. przedstawiające odpowiednią wzbogacalność czystej rudy piaskowcowej i węglanowej wraz z punktami doświadczalnymi, na podstawie których krzywe te wykreślono, przedstawiono na rysunku III.2 w układzie Della. Na rysunku tym naniesiono również punkty ilustrujące wyniki kilku różnych doświadczeń flotacji frakcjonowanych rudy lubińskiej. Ruda ta stanowiła naturalną mieszanę trzech odmian litologicznych rudy miedzi w przeciętnym stosunku. Zawartość metalu zarówno w czystej rudzie piaskowcowej jak i w naturalnej mieszance wynosiła przy wszystkich doświadczeniach około 1,45 %. Dla pełniejszej ilustracji obrazu wzbogacalności rudy z rejonu Lubina na omawianym wykresie znalazły się również wyniki końcowe kilku prób półtechnicznych (ciągłych) przeprowadzonych w ostatnich latach w Zakładzie Doświadczalnym "Cuprum" w Lubinie. Tu również wybrano wyniki tylko takich doświadczeń, w których zawartość miedzi w nadawie wynosiła w przybliżeniu 1,45% (ściślej od 1,4 do 1,5 % Cu).

Przedstawiony w ten sposób obraz wzbogacalności lubińskiej rudy miedzi pozwala na przyjęcie pewnych uogólnień. Można przyjąć, że wzbogacalność czystej rudy piaskowcowej stanowi górną granicę wzbogacalności rudy z rejonu Lubina. Na rys III.2. krzywą tą oznaczono symbolem "q". Kształt tej krzywej bardzo zbliżony do hiperboli sugeruje, że spełnia ona wymagania tzw krzywej uwalniania. Krzywa uwal-

niania (krzywe Della) można traktować jako ekstremalne i krzywe wzbogacalności dla optymalnych warunków procesu flotacji i dla danego stopnia uwolnienia / 25 / / 28 /.

Natomiast według pozostałych punktów z rys III.2 można wykreślić hipotetyczną dolną granicę wzbogacalności badanej rudy. Analizując wyniki badań własnych oraz liczne inne źródła można tu przyjąć dwa warianty jak to zaznaczono na rysunku - krzywą "p" i "d". Krzywa "d" byłaby dolną granicą wzbogacalności wynikającą ze słabego uwolnienia minerałów użytecznych (wspólna z krzywą "q" oś hiperboli). Krzywa "p" może być krzywą "pośrednią" wynikającą z coraz gorszej w czasie selektywności flotacji. Uzasadnieniem takiego podejścia może być rys III.3. na którym pokazano w powiększonej skali wycinek rys. III.2 ale już z zaznaczonymi krzywymi wzbogacalności. Krzywe te otrzymano z doświadczeń flotacyjnych tej samej rudy stosując różne odczynniki pianotwórcze oraz różne czasy mielenia. Pokazane na rys III.3 wyniki doświadczeń są wybrane spośród wielu wyników flotacji otrzymanych przez autora i uznane zostały jako optymalne nie są to optymalne krzywe flotowalności

Ponieważ z praktyki badań nad wzbogacalnością rud miedzi znane są powszechnie takie przypadki krzywych, dlatego można przyjąć, że wyniki flotacji sprowadzają się do trzech głównych typów charakterystyk: "q", "d" i "p". Dla porównania, na rys III.2 wykreślono krzywą wzbogacalności rudy

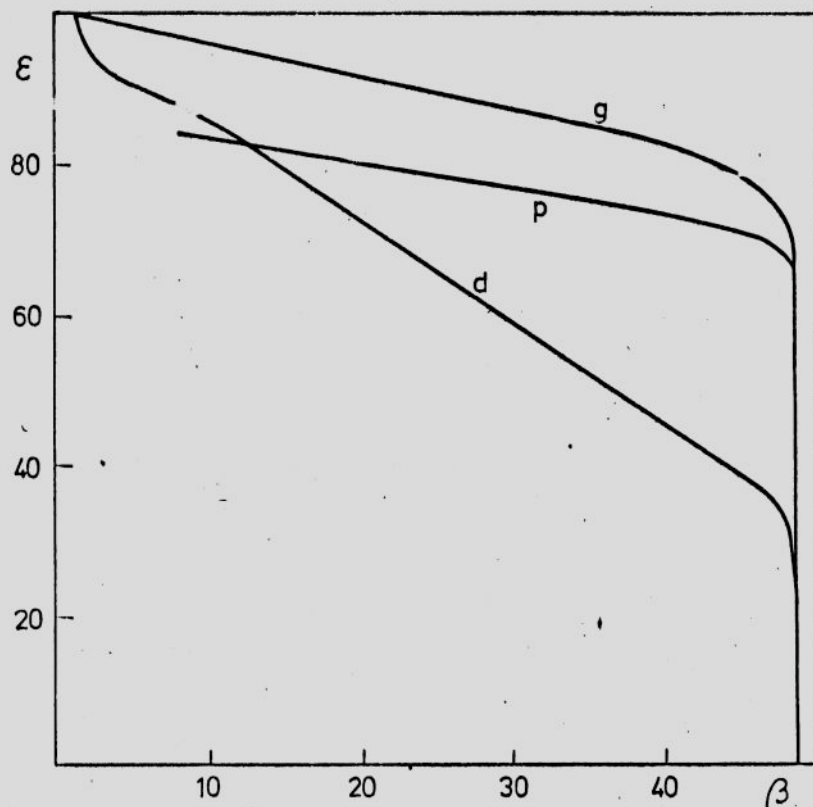


Rys. III.3 Wycinek rys. III.2 w powiększonej skali wraz z krzywymi wzbogacalności (flotacji) otrzymanymi przy różnych warunkach doświadczeń:

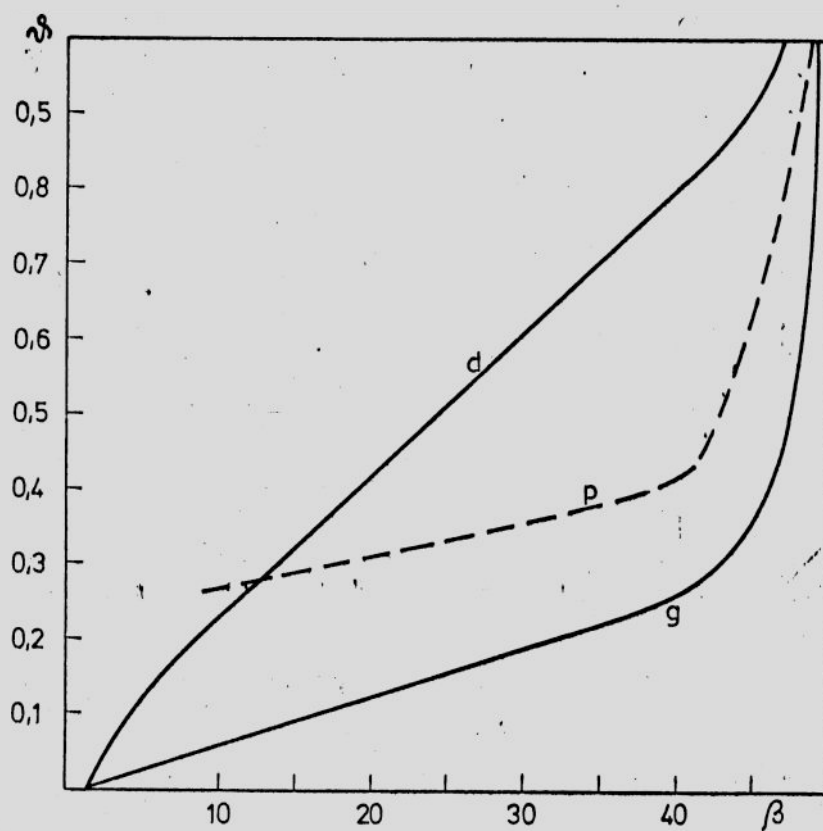
- 1 - Słabe uwolnienie (10 min. mielenia) odczynnik pianotwórczy - α - terpeneol,
- 2 - lepsze uwolnienie (20 min. mielenia) odczynnik pianotwórczy - α - terpeneol,
- 3 - 10 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AG,
- 4 - 20 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AG,
- 5 - 10 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AD + M,
- 6 - 45 min. mielenia (przemielenie) odczynnik pianotwórczy AD + M,
- 7 - 20 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AD + M,

węglanowej (krzywa "w"). Jak można zauważyć krzywa ta raczej nie może stanowić dolnej granicy wzbogacalności rudy lubińskiej. Krzywą tą otrzymano na podstawie doświadczeń flotacyjnych w optymalnych warunkach uwolnienia /35/. Otrzymane i uzasadnione w powyższy sposób krzywe jako górna i dolna granica wzbogacalności rudy lubińskiej ^{przeniesiono} graficznie na układ jakości koncentratu - uzysk (Rys III.4) oraz jakość koncentratu - zawartość metalu w odpadach (rys III.5). W tym celu krzywe "g", "d" i "p" z rys III.2 wykreślono w bardzo dużej skali i stąd odczytano z dużą dokładnością rzędne i odcięte wybranych punktów krzywych.

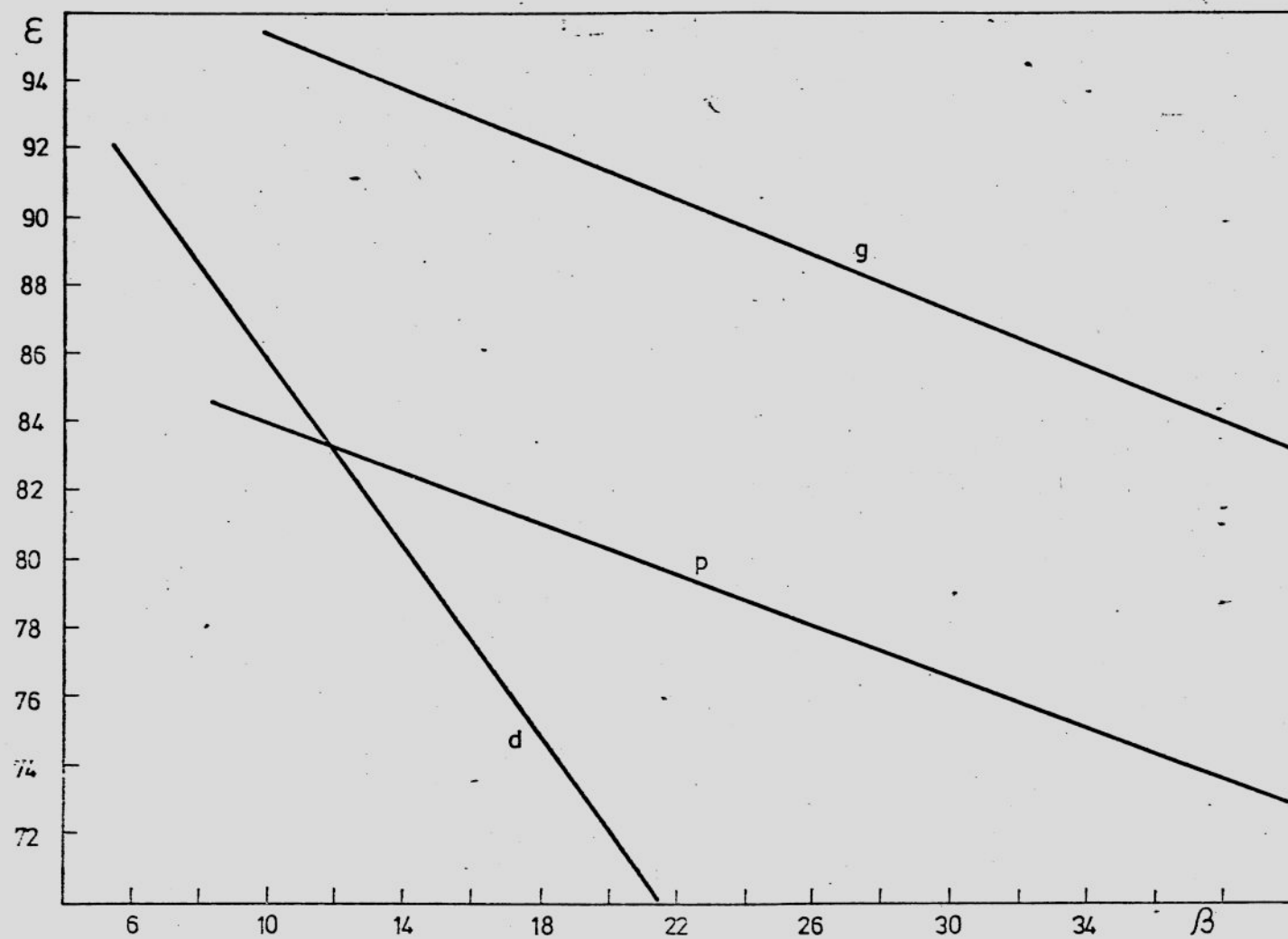
Na podstawie tak wyznaczonych współrzędnych wyliczono dla tych punktów wartości β , δ oraz inne wskaźniki, które zestawiono w tablicach III.1, III.2 i III.2a. Uzyskane w ten sposób w innych układach współrzędnych wykresy dolnej i górnej granicy wzbogacalności rudy lubińskiej ujawniają pewną regułę. Z rysunków III.4 i III.5 wynika, że w zakresie od minimum zawartości metalu w koncentracie do około 40% wykresy krzywych są liniami prawie prostymi zarówno dla dolnej jak i górnej granicy wzbogacalności. Dopiero w miarę zbliżania się po osi odciętych do maksymalnej (teoretycznej) zawartość miedzi w czystych minerałach użytecznych przebieg charakterystyki wzbogacalności ulega silnemu zakrzywieniu. Na wykresach z rys. III.6 i 7 pokazano krzywe "g", "d" i "p" w powiększonej skali obejmujące realne w warunkach przemysłowych zakresy uzysków i zawartości.



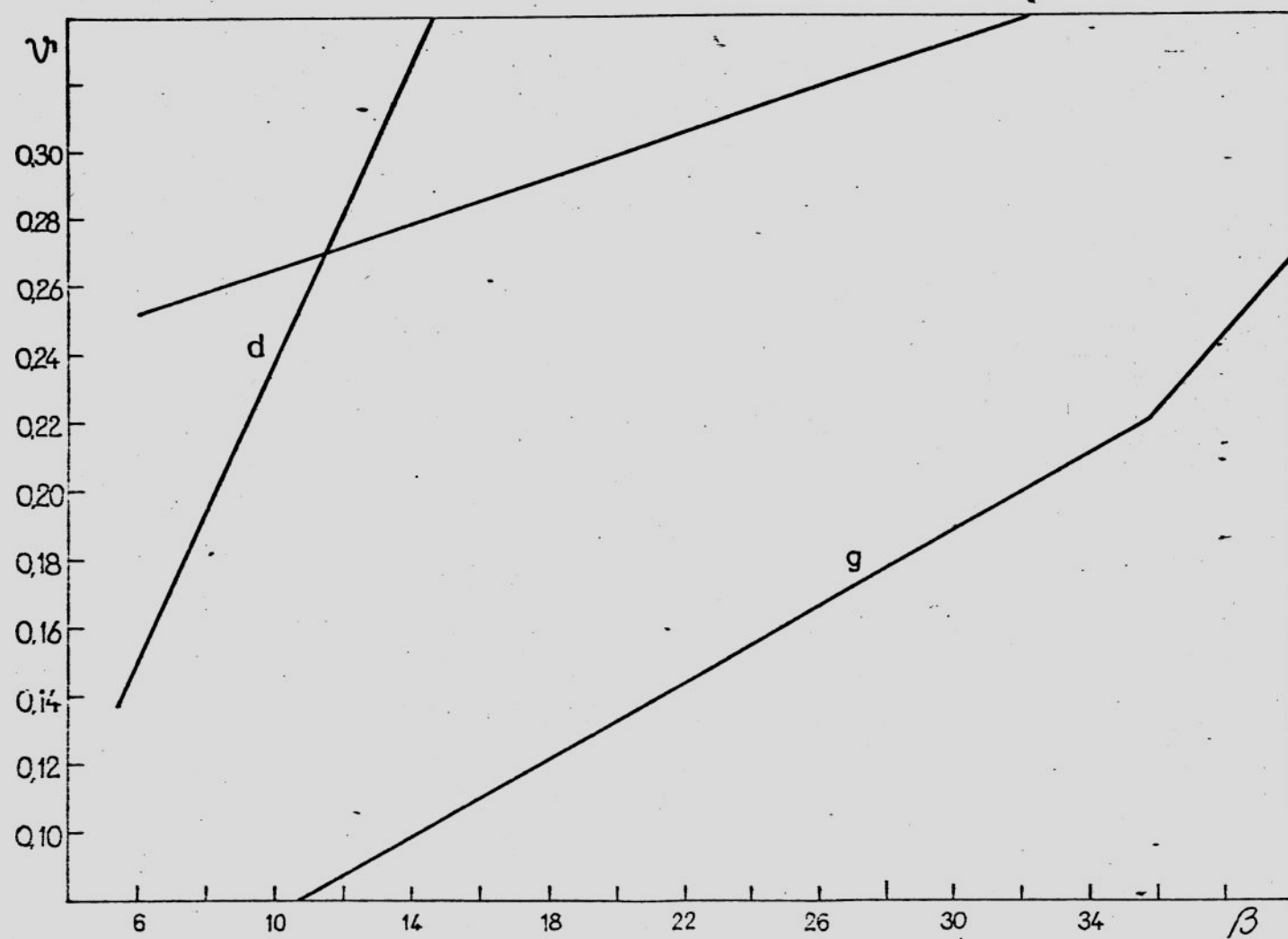
Rys. III.4 Krzywa "g", "p" i "d" z rys. III.2
w układzie jakość koncentratu - uzysk
metal w koncentracie.



Rys. III.5 Krzywa "g", "p" i "d" z rys. III.2
w układzie jakość koncentratu - zawar-
cie w odpadach.



Rys. III.6 Krzywe z rys. III.4 w powiększonej skali.



Rys. III.7 Krzywe z rys. III.5 w powiększonej skali.

Zaznaczoną na rysunku III.4 oraz w tabl III.1,2 i 2a teoretyczną zawartość miedzi w czystych minerałach użytecznych $\beta \approx 50\%$ przyjęto kierując się następującymi przesłankami :

1° Z danych "Monografii przemysłu miedziowego w Polsce" / 67 / wynika, że dla rejonu Lubina miedź jest związana w :

- 50 ÷ 75 procentach z chalkozynem, w którym stwierdzono około 67 % Cu

- 5 ÷ 15 procentach z chalkopirytem, w którym oznaczono ok. 32 % Cu

- 10 ÷ 30 procentach z bornitem, w którym stwierdzono zawartość Cu rzędu 58 % Cu.

Stąd można obliczyć, że przy powyższych stosunkach minerałów miedzi w koncentratkach mineralogicznie czystych należy się spodziewać przeciętnie 50 - 60 % Cu.

2° Jeśli przez początek układu współrzędnych na rys III.2 lub rys III.1 (punkt 0) poprowadzimy styczną do krzywej 1 (lub "g") to nachylenie jej przedstawiać będzie maksymalną możliwą do osiągnięcia zawartość metalu w koncentracji, którą można odczytać na specjalnie skonstruowanej skali na rzędnej $\varepsilon = 100\%$ (na omawianych rysunkach skali tej nie umieszczono). Odczytana takim spo-

sobem zawartość metalu w czystych minerałach użytecznych wynosi $\beta_t = 48,33 \%$.

Metoda wyznaczania teoretycznej zawartości metalu w czystych minerałach użytecznych przedstawiona w punkcie 2^o jest mało precyzyjna i w literaturze nie zalecana / 25, 72 / ze względu na duże zagęszczenie skali zawartości metalu na takim wykresie. Dla dalszych rozważań przyjęto jednak wyznaczoną w ten sposób zawartość teoretyczną jako rzeczywistą.

Wartość $\beta_t = 48,3 \%$ wydaje się bardzo prawdopodobną gdyż zbliżona jest do danych wynikających z cytowanej tu pracy / 54 /. Nie będzie błędem jeśli taką wartość potraktujemy jako przykładową i zupełnie możliwą dla przedstawionych w tym rozdziale danych z wielu doświadczeń flotacyjnych. Dla dalszych rozważań i wynikających z nich wniosków przyjęcie takiej czy innej wartości nie będzie miało zasadniczego znaczenia. Należy jednak podkreślić, że ścisłe określenie teoretycznej wartości metalu w czystych minerałach użytecznych może mieć istotne znaczenie dla innych zagadnień związanych z ekonomiką wzbogacania oraz technologią. Wartość β_t rzutuje bowiem na graniczną zawartość metalu w koncentracie możliwą do osiągnięcia w warunkach technologicznych. Dokładniejsze dane na temat znaczenia i sposobów określania teoretycznej zawartości metalu w czystych minerałach użytecznych można znaleźć w pracy /25/.

W niniejszym rozdziale teoretyczna zawartość metalu w czystych minerałach użytecznych będzie wykorzystana również do wyznaczenia optymalnych wskaźników wzbogacania

dla dolnej i górnej granicy wzbogacalności rudy lubińskiej, przyjmując jako kryterium optymalizacyjne maksymalne zbliżenie się wyników wzbogacania rzeczywistego do wyników wzbogacania idealnego. Wzbogacaniem idealnym nazywamy taki proces, w którym wszystkie minerały użyteczne zawarte w nadawie przechodzą do koncentratu. Zatem zawartość składnika użytecznego w odpadach po wzbogacaniu idealnym $\gamma = 0$.

Stopień zbliżenia się wyników wzbogacania rzeczywistego do wyników wzbogacania idealnego nazwany został w polskiej literaturze przez Stępińskiego absolutnym współczynnikiem stopnia wzbogacania / 73 / a w literaturze anglosaskiej skutecznością (efektywnością) separacji / 61, 77 /. Wydaje się że najbardziej trafnym określeniem w języku polskim będzie termin "skuteczność wzbogacania". Przyjmując skuteczność wzbogacania jako kryterium optymalnego technologicznie podziału wzbogacanego materiału na koncentrat i odpady należy znaleźć taki wychód koncentratu, dla którego skuteczność wzbogacania przyjmuje wartość największą. Według Stępińskiego / 73 / metoda ta częstokroć jest jedynym sposobem wyznaczania optymalnego technologicznie wychodu koncentratu. Pudło / 57 / natomiast metodę tą opracował analitycznie stwierdzając, że jest to jedyna metoda, przy pomocy której można wyznaczyć analitycznie optymalny wychód koncentratu. Wskaźniki skuteczności wzbogacania zostały zaproponowane do oceny efektywności procesu rozdziału mieszanin już w roku 1918 przez Hancocka. W roku 1922 prof Czeczot zastosował

go do oceny procesów przeróbczych. Dla procesów wzbogacania rud obliczyć go można w częściach jednostki jednym z następujących wzorów :

$$E_m = \frac{\gamma(\beta - \alpha)}{\alpha(1 - \frac{\alpha}{\beta_t})} \quad (38)$$

$$E_m = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \frac{\alpha}{\beta_t}} \quad (39)$$

$$E_m = \varepsilon - R_m \quad (40)$$

gdzie R_m jest uzyskiem minerałów płonnych w koncentracie; jeśli przez β_m oznaczymy zawartość minerału użytecznego w koncentracie to

$$R_m = \gamma \frac{1 - \beta_m}{1 - \alpha} \quad (41)$$

Jeśli nie dysponujemy wartością zawartości metalu w koncentracie mineralogicznie czystym β_t , można zastępczo obliczyć skuteczność wzbogacania przyjmując, że czyste minerały użyteczne zawierają 100 % składnika użytecznego czyli

$\beta_t = 100 \%$ lub w częściach jednostki $\beta_t = 1$. Wówczas wzory (38) (39) (40) można zapisać odpowiednio :

$$E_{100} = \frac{\gamma(\beta - \alpha)}{(1 - \alpha)} \quad (42)$$

$$E_{100} = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha} \quad (43)$$

$$E_{100} = \varepsilon - R_{100} \quad (44)$$

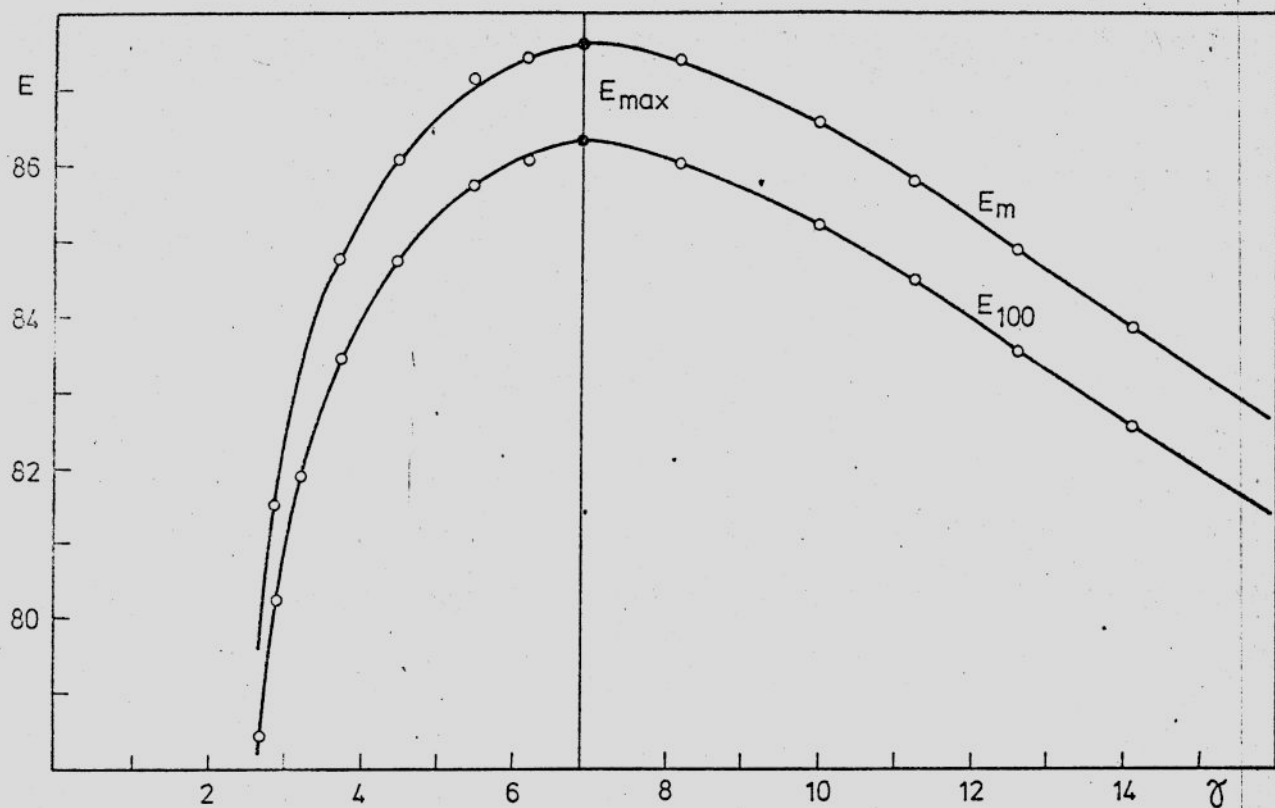
gdzie

$$R_{100} = \int \frac{1 - \beta}{1 - \alpha} \quad (45)$$

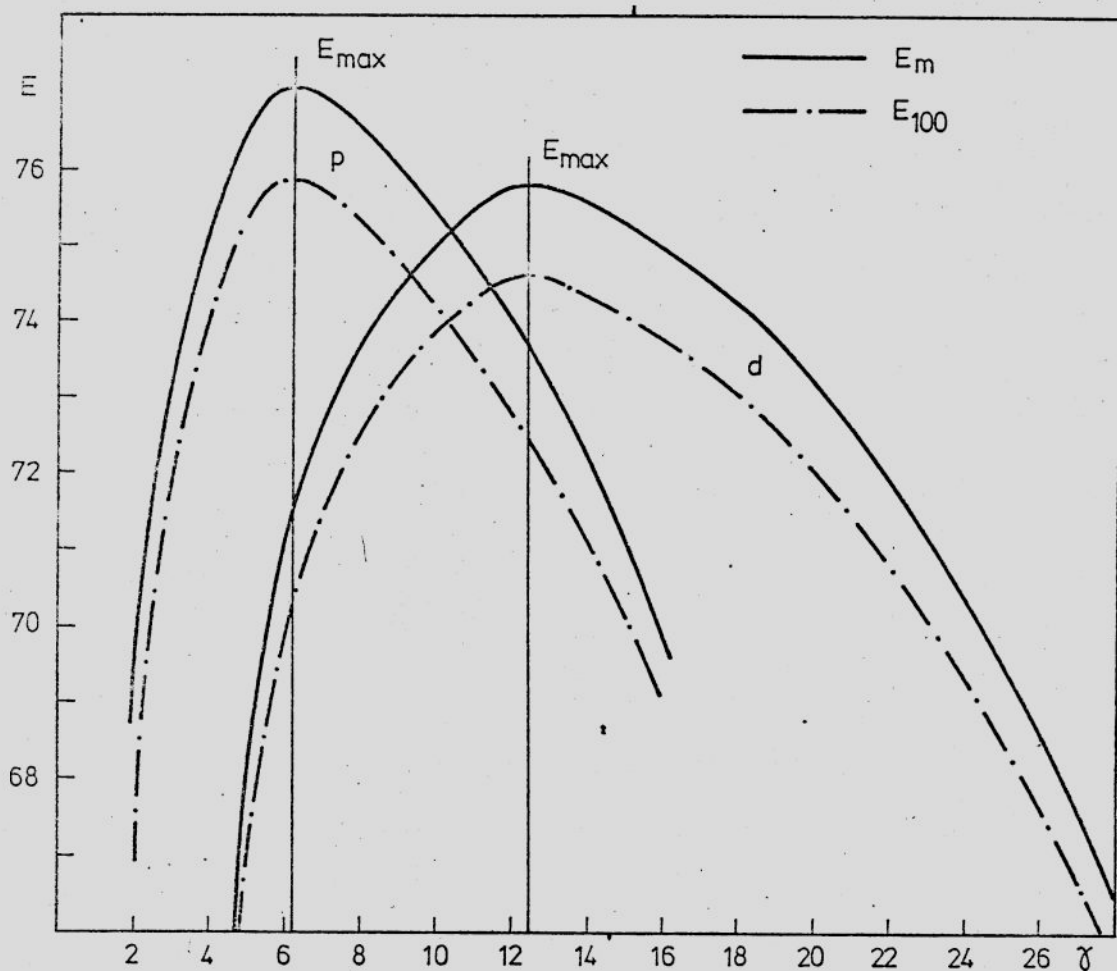
i jest uzyskiem substancji nieużytecznej w koncentracji.

Ponieważ wskaźniki skuteczności wzbogacania jest podobnie jak $\beta(\gamma)$ czy $\varepsilon(\gamma)$ funkcją ciągłą argumentu γ , która posiada jedno maksimum gdy wszystkie wartości $\beta > \alpha$ [57], to posługując się jednym z podanych wyżej wzorów, łatwo można wyznaczyć punkt technologicznie optymalny dla danej krzywej wzbogacalności.

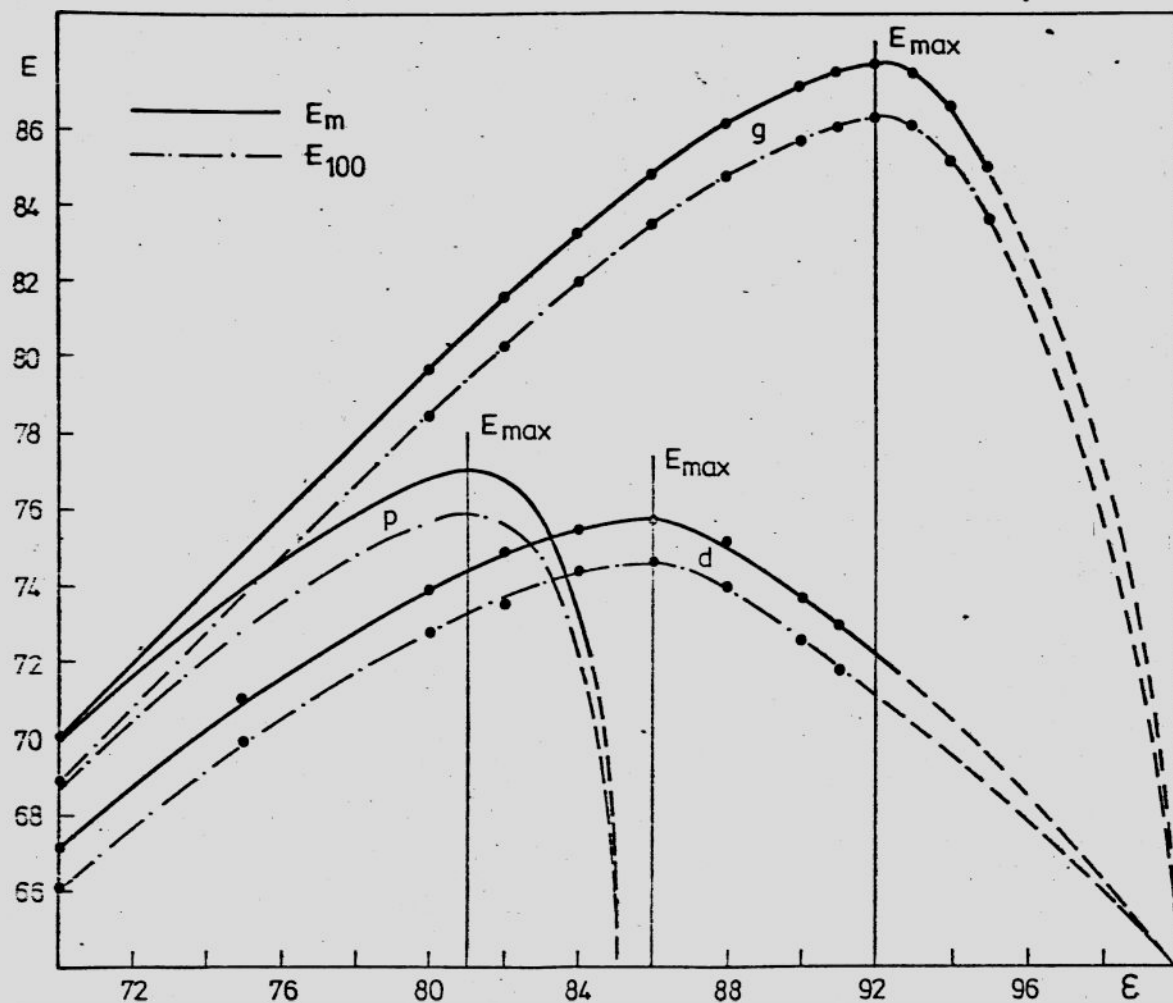
W tablicach III.1, III. 2a przedstawiono tok obliczeń wartości E_m i E_{100} dla punktów krzywych opisujących górną i dolną granicę wzbogacalności rudy lubińskiej posługując się wzorami (40) i (44). Z podanych wzorów na skuteczność wzbogacania wynika, że przy uśrednionej rudzie, gdy $\alpha = \text{const}$ i $\beta_t = \text{const}$, mianowniki są wartością stałą a zmienne wartości znajdują się w licznikach. Zatem niezależnie od tego który ze wskaźników użyjemy, E_m czy E_{100} wychód lub uzysk optymalny technologicznie otrzymamy ten sam. Ilustracją tego wniosku są rysunki III.8, 9 i 10 na których wykreślono tzw krzywe skuteczności wzbogacania zgodnie z danymi wyliczonymi w tablicach III.1. , III.2 i III. 2a. Przy dokładniejszej analizie danych w tych tablicach i na rysunkach, okazuje się, że optymalne technologicznie punkty na krzywej 1 z rys III. 1 i na krzywych "q",



Rys. III.8 Krzywe skuteczności technologicznej flotacji czystej piaskowcowej rudy lubińskiej. Wyznaczenie optymalnego technologicznie wychodu koncentratu.



Rys. III.9 Krzywe skuteczności technologicznej dla dolnej (krzywe "p" i "d") granicy wzbogacalności rudy lubińskiej.



Rys. III.10 Krzywe skuteczności technologicznej dla górnej "g" i dolnej "p", "d" granicy wzbogacalności rudy łubinskiej. Wyznaczenie optymalnych technologicznie uzysków.

"d" i "p" z rys III.2 znajdują się w miejscach ^(największej) wypukłości tych krzywych. Jeśli krzywe te uznać za hiperbole to punkty takie znalazłyby się na przecięciu krzywych z osią hiperboli czyli prostą prostopadłą do kierunku przedstawiającego zawartość metalu w nadawie (punkt B, linia 4, rys III.1) i przechodzącą przez punkt przez punkt A. Punkt A otrzymamy z przecięcia się rzędnej $\mathcal{E} = 100\%$ z kierunkiem przedstawiającym teoretyczną zawartość metalu w koncentracie mineralogicznie czystym. Wyznaczenie takiego optymalnego punktu bezpośrednio z krzywej wzbogacalności jest mało dokładne i często trudne, a dla krzywych na rys III.4 i 5, które w powiększonej skali obejmującej realne w technologii zakresy zawartości i uzysków wykreślono na rys III.6 i 7 - wręcz niemożliwe.

Rozważania te wydają się interesującym uzupełnieniem metody interpretacji czynników wzbogacania zaproponowanej przez Nixona - Moira. Jednym z zarzutów pod adresem tej metody było istnienie niezdefiniowanego odcinka krzywoliniowego łączącego proste przedstawiające flotację główną i flotację kontrolną. Wiadomo bowiem, że w tym właśnie krótkim odcinku krzywej wzbogacalności znajdują się wyniki końcowe procesu przemysłowego. Wyznaczając analitycznie, dla krzywej wzbogacalności wykreślonej układzie zawartość metalu w koncentracie - uzysk, punkt, w którym maksymalnie zbliżamy się do wyników abstrakcyjnego wzbogacania idealnego jesteśmy w stanie wyznaczyć współrzędne najlepszego technolo-

gicznie rozdziálu na koncentrat i odpady.,

Bliższa analiza podanych tu wzorów określających skuteczność wzbogacania doprowadzi nas do wniosku, że krzywa skuteczności wzbogacania (jak na rys III.8 i III.9) powstaje z obrotu układu współrzędnych (rys III.1 i 2) o kąt odpowiadający zawartości metalu w nadawie z równoczesnym rzutem krzywej wzbogacalności na oś wychodu. Kierunek przedstawiający zawartość metalu w nadawie, w nowym układzie współrzędnych stanie się osią odciętych.

3.2. Opis zakładu i wybór danych do badań .

Schematy technologiczne zakładów przeróbowych podlegają okresowym korektom w miarę udoskonalania technologii, zmian własności rudy, rozbudowy zakładów, wprowadzania nowych urządzeń itp.

Schemat Zakładu Wzbogacania Rud "Lubin" również ulega ciągłym zmianom, których przyczyna leży w wymienionych tu czynnikach. Ogólne jednak założenia technologii wzbogacania pozostają niezmienione aczkolwiek obecne schematy zakładu znacznie już odbiegają w swych szczegółach od pierwotnie zaprojektowanych. Efektem tych wszystkich zmian są coraz korzystniejsze wyniki pracy zakładu w ciągu ostatnich lat.

Opracowana i udoskonalana dla ZWR "Lubin" technologia wzbogacania usiłuje uwzględnić zarówno różnorodność litologiczną rud tego rejonu jak i specyfikę ich wzbogacalności / 8 /.

Aktualny schemat zakładu składa się z trzech równoległych ciągów technologicznych. Zaprojektowana technologia przewidywała rozdział skruszonego urobku metodą przesiewania na frakcje żupkowo - węglanową i piaskowcową z następną oddzielną przeróbką tych frakcji. Dla trudno wzbogalnej rudy węglanowo- żupkowej przewidziano technologię dwustadialną (ciąg I i II), natomiast dla piaskowców prostszą technologię jednostadialną (ciąg III i IV).

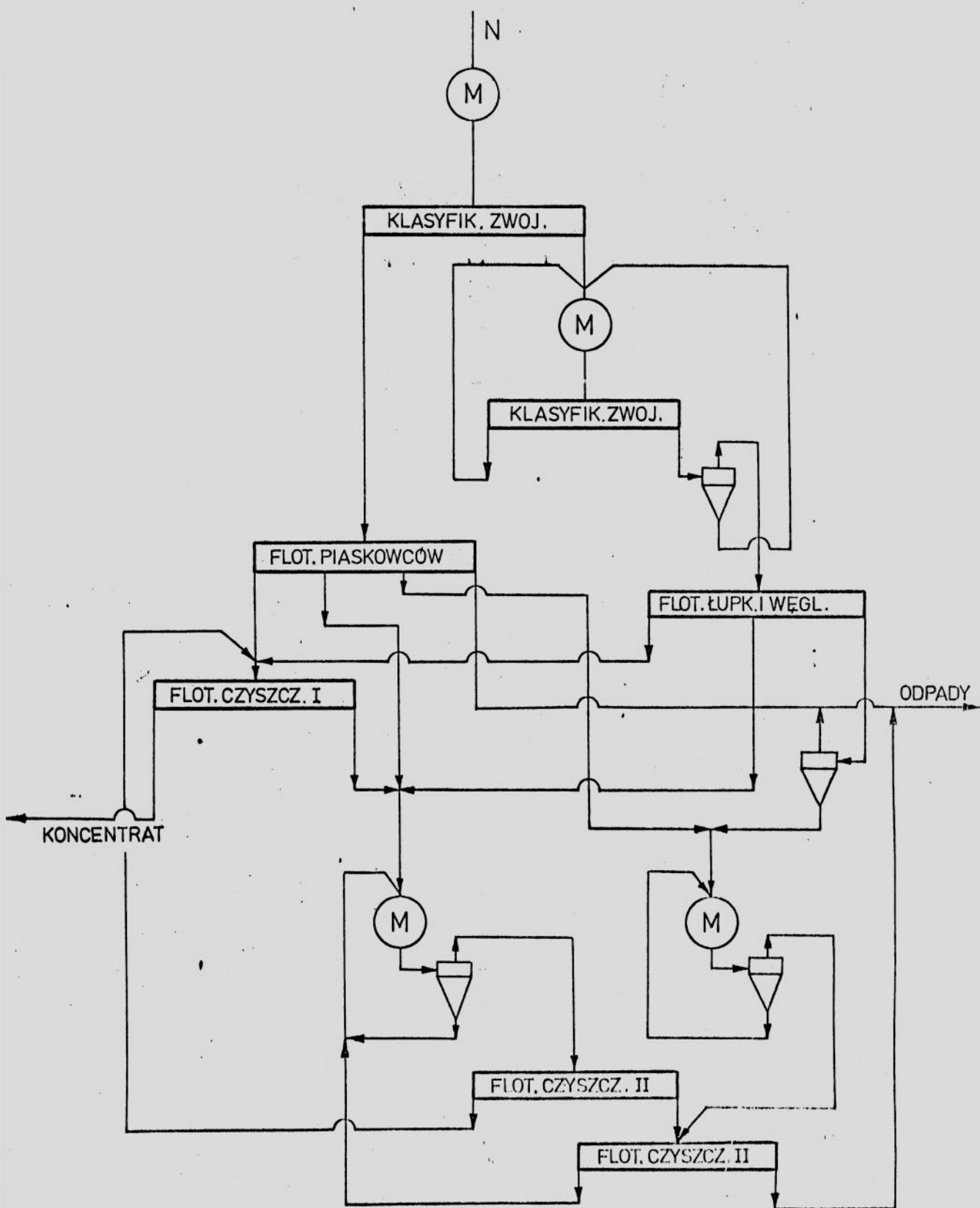
Z różnych przyczyn powstałych w trakcie rozbudowy zakładu i osiągania pełnych zdolności produkcyjnych naj-

skuteczniejszy obecnie rozdział na dwie oddzielne frakcje dokonywany jest "wewnątrz" I i II ciągu technologicznego przy pomocy klasyfikatora zwojowego. Natomiast trzeci ciąg technologiczny (połączony ciąg III i IV) zasilany jest przesiewem z przesiewaczy - wałkowo - płytkowych,^{*} który jest uzupełniony rudą surową (ze względu na zbyt małą ilość przesiewu).

Z chwilą podjęcia niniejszych badań aktualnym był schemat I ciągu technologicznego zakładu przedstawiony na rys III. 11. Zmiany schematu, które zostały objęte badaniami będą omówione w następnych rozdziałach.

Jak przedstawiono na rysunku III. 11 ruda skruszana do wielkości ziarn poniżej 40 mm kierowana jest do młyna prętowego, z którego wylew podawany jest do klasyfikatora zwojowego. Z klasyfikatora zwojowego frakcja drobna jest kierowana do hydrocyklonów, skąd przelew podawany jest do flotacji I piasków. Frakcja gruba z klasyfikatora kierowana jest do drobnego zmielenia w układzie młyna kulowego z klasyfikatorem i hydrocyklonami. Przelew hydrocyklonów podawany jest do flotacji I żupków i wapieni. Odpady z flotacji I piasków stanowią odpady końcowe, natomiast odpady z flotacji I żupków i wapieni po klasyfikacji w hydrocyklonie jako przelew łączone są z odpadami flotacji I piasków. Wylew tego ostatniego hydrocyklonu oraz półprodukty z flotacji I piasków i żupków i wapieni podawane są do układów domielających, na które składają się młyny cylpepsowe wraz z hydrocyklonami. Przelewy tych hydrocyklonów kierowane są do flo-

* Dane te dotyczą stanu z okresu, w którym przeprowadzano badania.



Rys. III.11 Schemat jakościowy i ciągu technologicznego
Z W R " Lubin " (rok 1972).



tacji czyszczącej II oraz do flotacji II. Odpady tej ostatniej stanowią odpady końcowe. Koncentrat z flotacji czyszczącej II, wraz z koncentratami z flotacji I-szych podawane są do flotacji czyszczącej I, z której otrzymuje się koncentrat końcowy. Kierowany jest on do zagęszczacza, skąd po zagęszczeniu podawany jest do filtrów próżniowych i po odwodnieniu do suszarni.

Schemat technologiczny zakładu przerobowego jako zorganizowany w określoną strukturę zespół operacji, maszyn, urządzeń i załogi dysponuje określonymi możliwościami w celu otrzymania odpowiedniej jakości wskaźników technologicznych.

Podstawowymi wskaźnikami oceny pracy zakładu wzbogacania rud są wskaźniki mieszalne : zawartości metalu w nadawie, koncentracie i odpadach, z których oblicza się uzysk metalu w koncentracie.

Do badań zależności między tymi podstawowymi wskaźnikami wzięto wyniki zmianowe (ściślej średnio zmianowe) z różnych okresów pracy zakładu mając na uwadze reprezentatywność tych wyników. Dane do badań pochodziły z bieżącego opróbowania I cięgu zakładu i umieszczone są w książce raportów zmianowych ZWR ZG Lubin. Przy wyborze danych do badań kierowano się następującymi przesłankami :

- okres, z którego pochodziła dana zbiorowość statystyczna powinien charakteryzować się w miarę ustabilizowanym przebiegiem technologii, bez większych awarii i zakłóceń w produkcji,
- ruda kierowana do zakładu pochodzić winna tylko z obszaru górniczego ZG Lubin,

- W zakładzie nie przeprowadzano żadnych celowych ani koniecznych zmian w schemacie, stosowanych odczynnikach, obsłudze itp.

Spełnienie powyższych postulatów jednak nie jest całkowicie możliwe i przy wyborze odpowiedniego do badań okresu pracy zakładu starano się możliwie maksymalnie uwzględnić wymienione kryteria. Na podstawie wyników badań statystycznych ustalono jako podstawowy do badań okres pracy zakładu - zbiorowość wyników zmianowych z jednego miesiąca, a jako najbardziej reprezentatywny okres - zbiorowość wyników zmianowych co najmniej z trzech miesięcy pracy zakładu.

Do badań statystycznych w pierwszej kolejności wzięto zbiorowość wyników zmianowych, z których każdy składa się z następujących wskaźników :

- zawartości metalu w nadanie ,
- zawartości metalu w koncentracie, ,
- zawartości metalu w odpadach, .

Zbiorowość wyników wzięto do badań bez jakichkolwiek eliminacji czy odrzucania danych. Uzyski metalu w koncentracie i wychody koncentratu obliczano już w toku przetwarzania wskaźników mierzalnych. Po obliczeniu, z tak przygotowanych prób statystycznych, podstawowych parametrów statystycznych dokonano wstępnej oceny zebranego materiału doświadczalnego, eliminując (odrzucając) z badanych prób statystycznych wyniki zmianowe silnie odchylające się od wartości oczekiwanej, przyjmując jako kryterium trzykrotną wartość odchylenia standardowego. Kryterium to zasto-

sowano do każdego z badanych wskaźników (wyników zmianowych) oraz do wielkości przerobów (ilości przerabianej w czasie każdej zmiany rudy). Ilości ton przerabianej rudy w ciągu zmiany nie uwzględniono w badaniach jako jednej ze zmiennych w analizie statystycznej ale wykorzystano ją jako wagę przypisaną każdemu ze wskaźników ; przy wyznaczaniu np wartości oczekiwanej, obliczono oszacowanie średniej "ważonej" . Również korelacje, regresje obliczano w takim sensie jako "ważone". Takie bowiem podejście do badań statystycznych wydaje się najbardziej słuszne z punktu widzenia technologa.

Do badań wytypowano następujące okresy pracy I systemu ZWR Lubin :

1. Okres I, miesiące : maj, czerwiec, lipiec 1972,
2. Okres II, miesiące: styczeń, luty, marzec 1973,
3. Okres III, miesiące: maj, czerwiec, lipiec 1973.

Zanim jednak przystąpiono do badań wymienionych okresów (zbiorowości statystycznych wyników pracy zakładu) dokonano obszernych badań wstępnych również innych zbiorowości. Uczyniono to w celu wypracowania metodyki obliczeń, która pozwoliłaby uwzględnić w pewnym sensie specyfikę przemysłowego procesu wzbogacania. Badania te (przedstawione w następnym rozdziale) nie uwzględniają "wag" (przerobów) przypisanych każdemu elementowi próby (wynikowi zmianowemu).

3.3 Ocena typu rozkładu prawdopodobieństwa podstawowych wskaźników technologicznych.

W celu określenia postaci rozkładu badanej zmiennej losowej stosuje się w statystyce matematycznej tzw. testy zgodności. Należą one do nieparametrycznych testów istotności [26, 66, 85], w których weryfikowana hipoteza dotycząca rozkładu badanej cechy w populacji generalnej nie precyzuje wartości parametrów tego rozkładu. Idea stosowania testów zgodności jest następująca: wypowiadamy sąd o rozkładzie cechy w populacji generalnej, a następnie pobieramy próbkę i w oparciu o rozkład cechy w próbce sąd ten poddajemy weryfikacji statystycznej. Weryfikacja ta polega na zbadaniu zgodności między hipotetycznym rozkładem w populacji generalnej, a empirycznym rozkładem w próbce. Odpowiednio ustalona miara zgodności jest zmienną losową, której rozkład jest znany. Jeśli zgodność między rozkładem empirycznym a rozkładem hipotetycznym jest duża, nie ma podstaw do odrzucania hipotezy. Jeśli natomiast jest mała, to, że prawdopodobieństwo takiego zdarzenia równe jest poziomowi istotności, hipoteza zostaje odrzucona.

Jednym z najstarszych tego typu testów jest test zgodności χ^2 [2]. Test ten jest jednym z najczęściej używanych testów zgodności i pozwala na sprawdzenie hipotezy, że populacja ma określony typ rozkładu. Ze względu na jego "ostrość" i łatwość zastosowania posłużono się nim

również do weryfikacji hipotezy statystycznej normalności rozkładów podstawowych wskaźników procesu przemysłowego flotacji rud miedzi.

Tok postępowania jest następujący / 24 / : stawiamy hipotezę H_0 , że badana zmienna ma dany typ (postać funkcyjną) rozkładu. Dla pobranej próby o liczebności n , podzielonej na k przedziałów klasowych określa się liczebności n_i badanej zmiennej w i -tym przedziale. Znając postać rozkładu hipotetycznego (teoretycznego) można określić częstości teoretyczne p_i trafiania zmiennej losowej do każdego z przedziałów. Z kolei mnożąc p_i przez liczebność całej próby n otrzymuje się liczebności teoretyczne, n'_i , które powinny były wystąpić w klasie i , gdyby zmienna miała hipotetyczny rozkład, tzn gdyby hipoteza była prawdziwa. Ze wszystkich liczebności empirycznych n_i oraz hipotetycznych n'_i wyznacza się następnie wartość statystyki χ^2 Pearsona :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n_i} \quad (38)$$

która przy założeniu prawdziwości hipotezy H_0 ma rozkład asymptotyczny χ^2 o ν stopniach swobody. Rozkład χ^2 można określić z tablic statystycznych np w / 85 /, znając liczbę stopni swobody :

$$\nu = k - s - 1 ,$$

gdzie s jest liczbą szacowanych z próby parametrów hipotetycznego rozkładu.

Według obliczonej wartości χ^2 i ν , przy pomocy tablic Pearsona określa się prawdopodobieństwo, że zmienna mająca rozkład χ^2 przy ν stopniach swobody przekroczy wartość obliczoną. Jeśli prawdopodobieństwo to jest bardzo małe, hipotezę H_0 odrzucamy. Jeśli prawdopodobieństwo jest odpowiednio duże można przyjąć, że hipoteza nie jest sprzeczna z własnościami badanej próby. Powstaje pytanie : jaki należy przyjąć poziom istotności, przy którym (lub po przekroczeniu którego) sprawdzaną hipotezę należy odrzucić ? Podręczniki statystyki nie precyzują dokładnie tego zagadnienia / 82 / ograniczając się najczęściej do stwierdzenia, że przy sprawdzaniu hipotezy o normalności rozkładów bezpiecznie jest przyjąć poziom istotności 0,05 i w tym przypadku gdy obliczona wartość χ^2 przekracza wartość tablicową, hipotezę należy odrzucić jako fałszywą /1,25, 80 / (gdyż obliczona wartość χ^2 przekraczałaby wartość, jakiej można by oczekiwać z małym jedynie prawdopodobieństwem).

Kierując się powyższymi założeniami postawiono hipotezę, że rozkłady badanych wskaźników są normalne i obliczono wartości χ^2 dla czterech uprzednio wymienionych podstawowych wskaźników procesu flotacji zebranych w zestawy wymienione przy końcu rozdziału 3.2. Obliczenia wykonano oddzielnie dla każdej wybranej próby statystycznej, tj. dla pojedynczych miesięcy i dla okresów trzymiesięcznych. Ponieważ dla każdego wskaźnika zastosowano w programie obliczeniowym "sztywny" podział na przedziały klasowe, jak się później okazało, niektóre okresy wykazały niezgodność

z rozkładem normalnym. Kierując się bowiem zaleceniami Volka / 80 / i zmieniając granice przedziałów klasowych okazało się, że rozkłady tych wskaźników można uznać za zbliżone do normalnego. Ilustrują to tablice III.4 i 5, III. 9 i 10 oraz III.11 i 12. Tablice III.3. do 16. przedstawiają tok obliczeń wartości χ^2 dla przykładowo wybranych okresów z badanych prób statystycznych. W tablicach III. 17 - 20 zestawiono wyniki obliczeń χ^2 dla wszystkich badanych zestawów. Sposób postępowania przy wyznaczaniu wartości χ^2 przedstawiony przykładowo w tabl. III.3. do 16 jest następujący : na podstawie pobranych zbiorowości próbnych szacujemy parametry rozkładu tj. wartość średnią i odchylenie standardowe (zanotowane pod tabelami), próbkę dzielimy na przedziały klasowe o odpowiednich granicach i określamy liczebności zmiennych w przedziałach (kolumna druga i trzecia). W kolumnie czwartej obliczono standaryzowaną wartość prawego końca przedziałów klasowych, dla których w kolumnie piątej zestawiono wartości dystrybuanty rozkładu normalnego $N(0, 1)$. Odpowiednie prawdopodobieństwa w kolumnie szóstej wylicza się z wzoru :

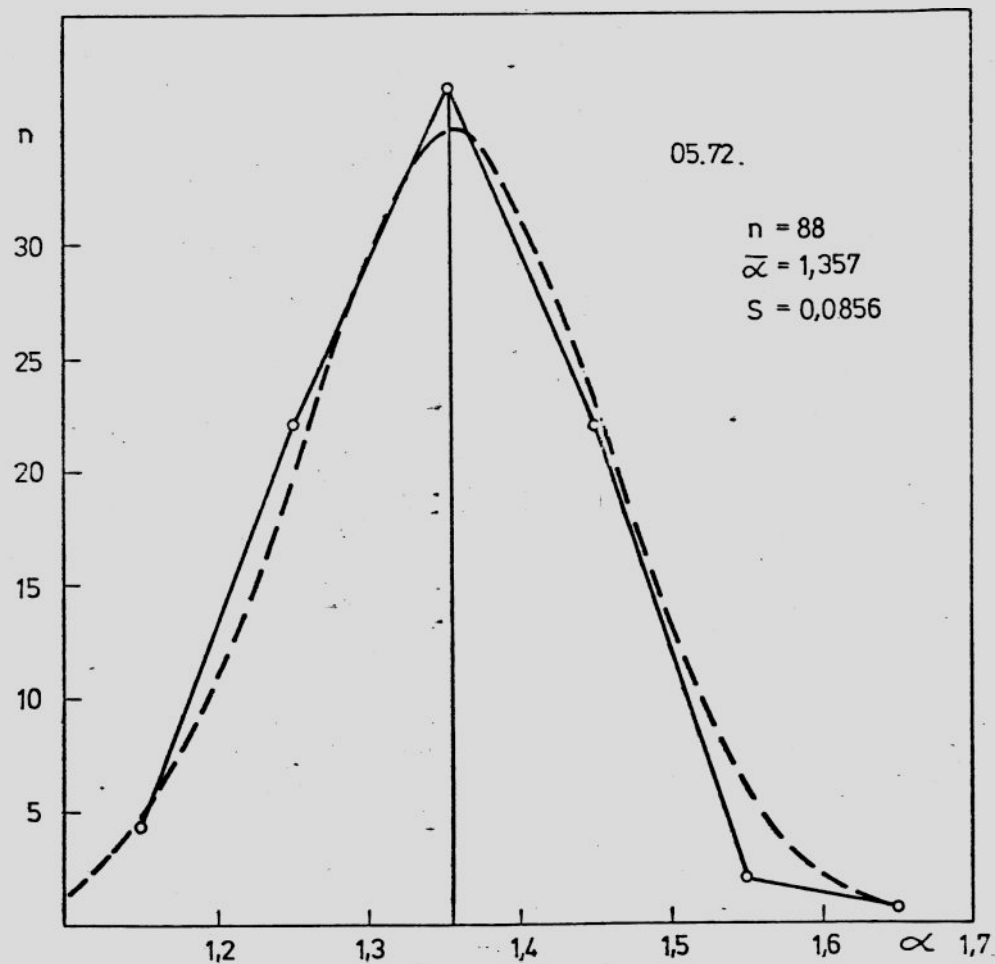
$$p_1 = \Phi\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{s}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - 1 - \bar{x}}{s}\right)$$

W kolumnie siódmej oblicza się liczebności teoretyczne w przedziałach klasowych poprzez wymnożenie powyższych prawdopodobieństw przez całkowitą liczebność próby. W ostatniej kolumnie wyliczamy wartość χ^2 . Z zestawionych w tabl. III.17 do 20 wyników wynika, że we wszystkich przy-

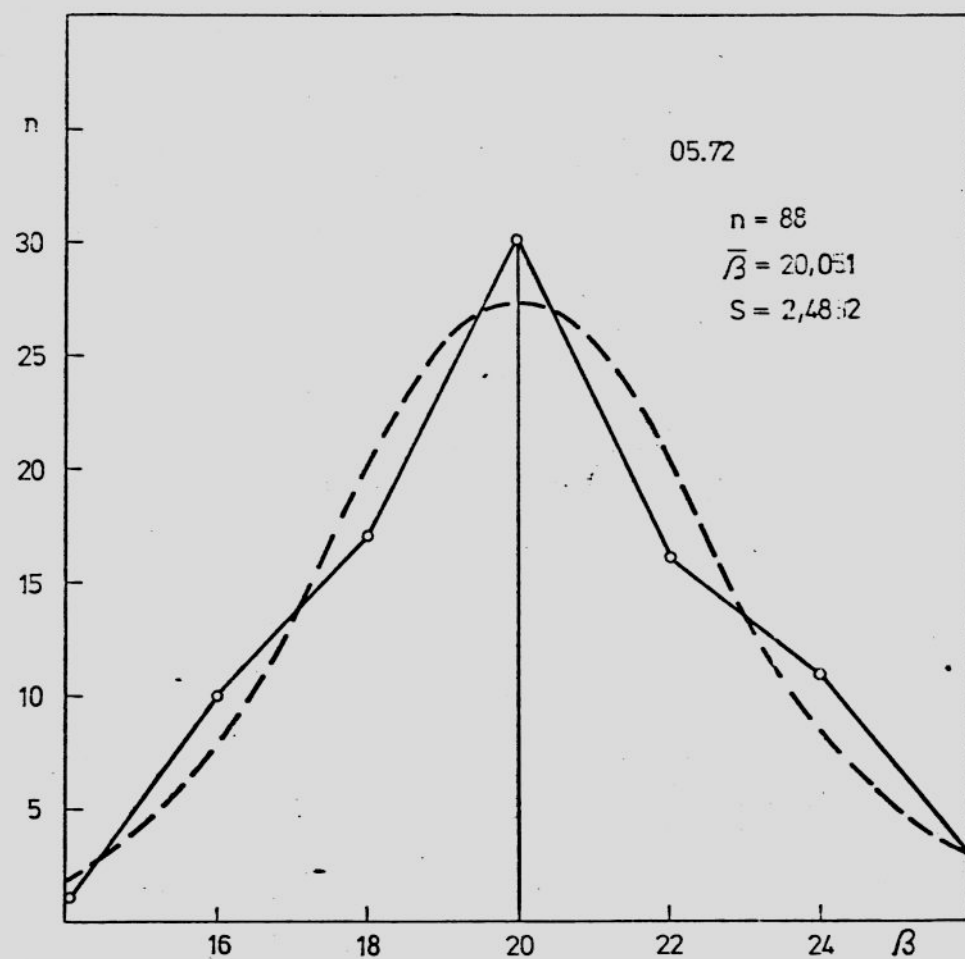
padkach wyliczone wartości χ^2 nie przekraczają wartości krytycznych na przyjętym poziomie istotności równym 0,05. Zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy normalności rozkładów badanych wskaźników. Dla niektórych jednak zestawów obserwuje się stosunkowo niskie poziomy prawdopodobieństwa zbliżające się do poziomu istotności. Dotyczy to przede wszystkim wskaźników : zawartości metalu w nadawie i zawartości metalu w odpadach. Zmiany ilości przedziałów klasowych (czyli stopni swobody) nie zawsze polepszają "poziom" zgodności. Jednak analiza np tabl. III.5 i III.12 wykazuje, że największe odchylenia od rozkładu teoretycznego obserwuje się w pobliżu środka (ale poza środkiem tj oszacowana wartością średnią) co sugeruje, że rozkłady tych wskaźników stają się niesymetryczne. Jednak dla badanych zestawów danych efekt ten można pominąć. Na uwagę zasługuje niemal całkowita (pełna) zgodność rozkładów empirycznych z teoretycznymi dla zawartości metalu w koncentracie. W przypadku uzysków metalu w koncentracie również obserwuje się dużą zgodność rozkładów empirycznych z rozkładami normalnymi, chociaż przede wszystkim tu można się było spodziewać raczej coraz większej niezgodności, gdyż w kolejnych okresach uzysk poważnie wzrastał osiągając w ostatnim niemal 90% a to świadczy o zbliżeniu się tego wskaźnika do jego górnej granicy na krzywej wzbogacalności. Jednak jak to będzie wyjaśnione w dalszych rozdziałach,

wytłumaczyć to można równoczesną zwiększającą się stabilizacją uzysków, co ilustruje zmniejszająca się wariancja w miarę wzrostu wartości tego wskaźnika. Można to również zaobserwować na rys III.16. Na rys III.12 do 16 przedstawiono przykładowo wybrane przywe empiryczne i teoretyczne rozkładu normalnego dla badanych wskaźników.

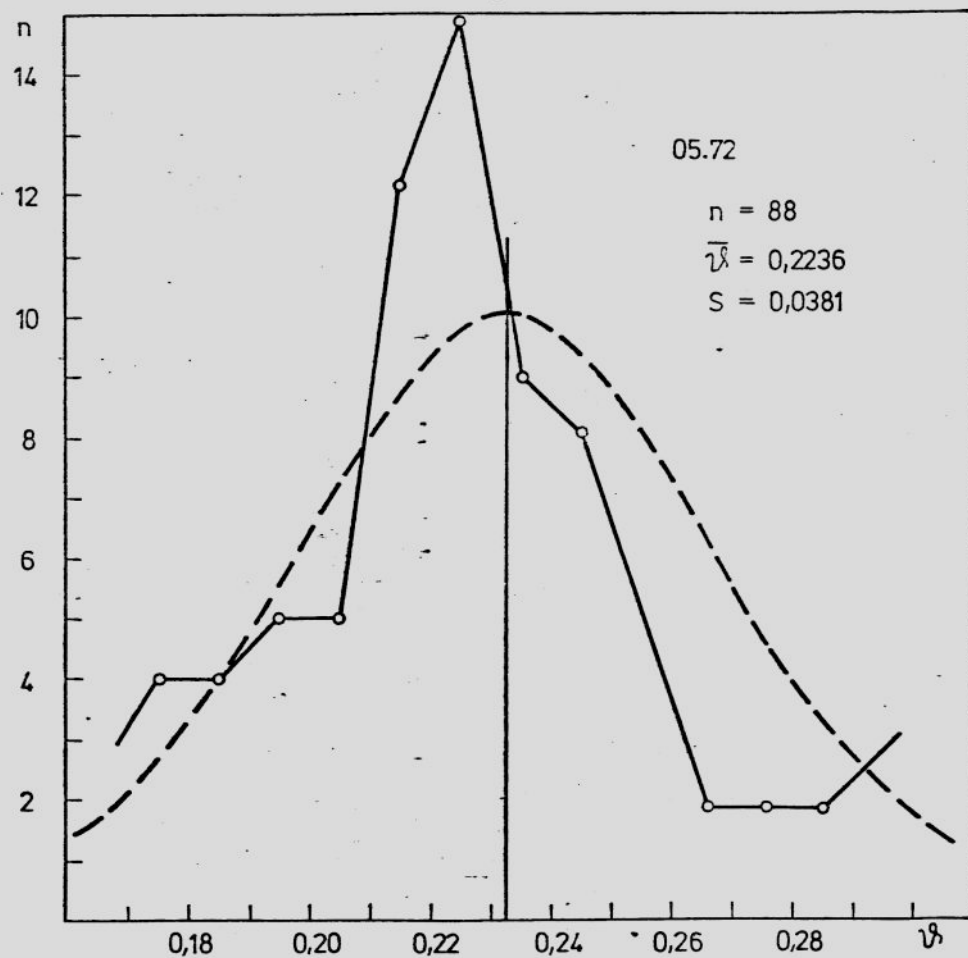
Przytoczone obliczenia potwierdzają fakt, że rozkłady wskaźników procesu flotacji z zakresach spotykanych w praktyce przemysłowej są bardzo zbliżone do normalnego, a więc jest uzasadnione stosowanie metod statystycznych zakładających taki rozkład. Można zatem stwierdzić, że związki między wskaźnikami w zakresach spotykanych w praktyce przemysłowej mogą być przybliżane charakterystykami liniowymi jak to już stwierdzono dla wyników laboratoryjnych w rozdz. 3.1. (wykresy na rysunkach III.6 i 7) drogą zmiany układu współrzędnych krzywych wzbogacalności



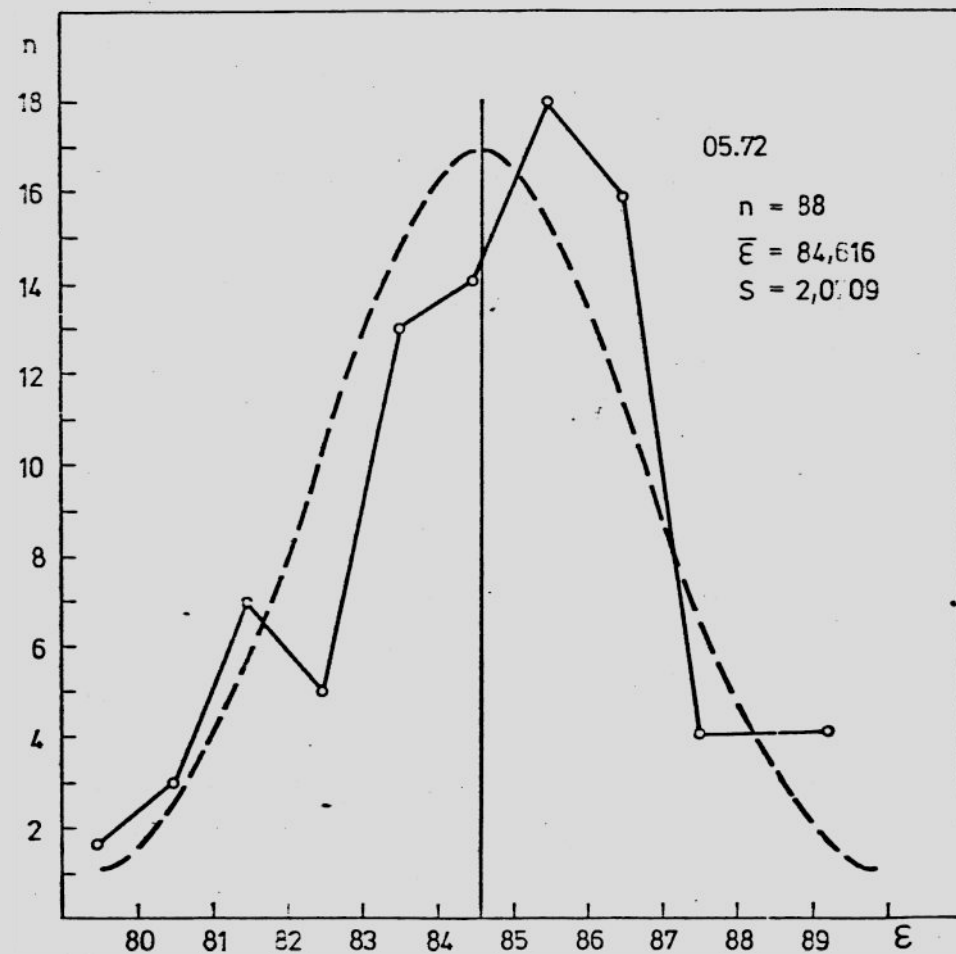
Rys.III.12 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w nadawie.



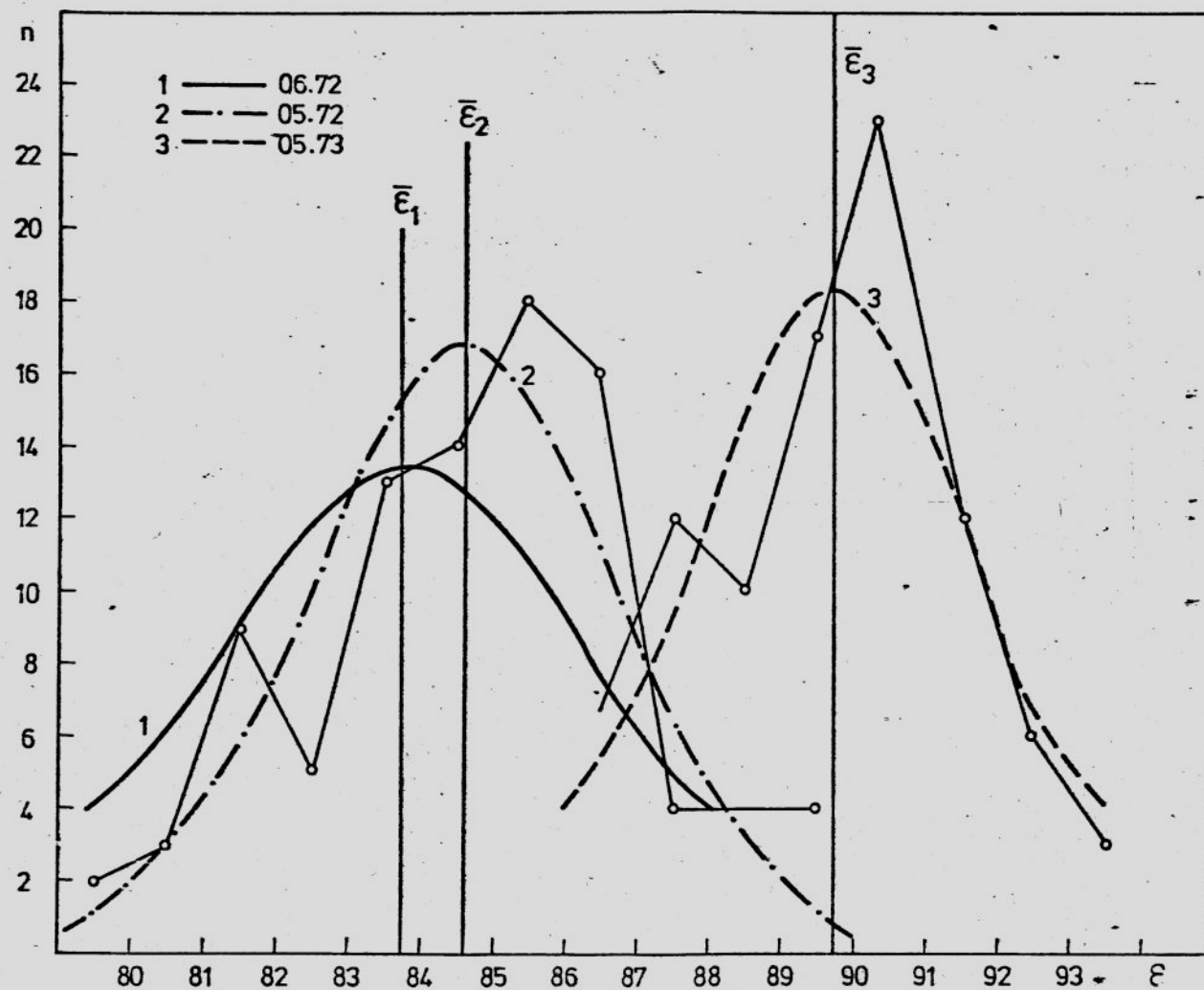
Rys.III.13 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w koncentracie.



Rys. III.14 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w odpadach.



Rys. III.15 Rozkład teoretyczny i empiryczny uzysku metalu w koncentracji.



Rys. III.16 Rozkład teoretyczny i empiryczny uzysku metalu w koncentracji.

3.4. Badania wstępne związków między podstawowymi wskaźnikami procesu.

Badania związku cech najprościej przeprowadzać za pomocą teorii korelacji. Miarą współzależności między zmiennymi losowymi są współczynniki korelacji. Najprostszy i najczęściej stosowany w badaniach statystycznych jest współczynnik korelacji całkowitej (lub prostej), który odnosi się tylko do zależności (regresji) liniowej. Jeżeli empiryczne linie regresji łączące średnie wartości w tzw dwuwymiarowych szeregach rozdzielczych (lub z tablic korelacyjnych) - nie są ściśle liniami prostymi to zakładamy w tych przypadkach, że odchylenia od linii prostej są przypadkowe czyli wywołane niedostateczną liczbą spostrzeżeń / 75 /

Korelacja całkowita, tzn korelacja między dwoma tylko cechami, będzie dobrym miernikiem związku wtedy, gdy związek jednej (lub więcej) pary takich cech uwydatnia się szczególnie jaskrawo, przysłaniając wszystkie inne zależności. Jednak w procesie przemysłowym, na wyniki którego wpływa równocześnie wiele ważnych czynników wraz z ich współdziałaniami, korzystnie jest oprócz wnioskowanie również o korelacje wielokrotne i cząstkowe. Wyznaczenie współczynników korelacji wielokrotnej i cząstkowej poza tym jest szczególnie uzasadnione w przypadkach gdy eksperymentator nie może wpływać na dane /23, 80 /.

Badając podstawowe wskaźniki przemysłowego procesu flotacji spotykamy się właśnie z takimi sytuacjami.

W badaniach wstępnych wzięto pod uwagę okres pracy I ciągu ZWR "Lubin" obejmujący zbiorowość wyników zmianowych od lutego do lipca 1972 r, zatem sześć miesięcy. Dla okresu tego badano korelację pomiędzy wskaźnikami przy różnych kombinacjach dla danej zbiorowości. Tak np. zbadano wpływ długości okresu, z którego brano dane na korelację pomiędzy wskaźnikami, biorąc oprócz wyników średniozmianowych wyniki średnio dobowe, średnie za trzy doby itd aż do średnich za dekady. W tym ostatnim przypadku, ze względu na małą ilość danych, zbadano korelację dla okresu całorocznego (1972 i 1973).

Badania oparto na wyznaczaniu korelacji całkowitej oraz cząstkowej, analizując wszystkie kombinacje badanych wskaźników. W przypadku korelacji całkowitej dodatkowo wyznaczano korelacje z obliczonym wychodem koncentratu wg wzoru :

$$\gamma = \frac{\alpha - \bar{v}}{\beta - \bar{v}} 100$$

Jeśli badane cechy (wskaźniki) oznaczymy kolejno:

- 1 - zawartość metalu w nadawie x_1 ,
- 2 - zawartość metalu w koncentracie x_2 ,
- 3 - zawartość metalu w odpadach x_3 ,
- 4 - uzysk metalu w koncentracie x_4 ,

to współczynnik korelacji całkowitej wyznaczamy np z wzoru :

$$r_{1,2} = \frac{\sum (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2}} \quad (46)$$

Dla danej trójki zmiennych np x_1, x_2, x_3 , wyznaczyć można współczynniki korelacji cząstkowej pomiędzy zmiennymi x_1 i x_2 , przy ustalonym wpływie zmiennej x_3 , opierając się na współczynnikach korelacji całkowitej, np :

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13} r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}} \quad (47)$$

następnie przy pomocy analogicznych wzorów wyznaczamy :

$$r_{12.4} \quad \text{i} \quad r_{23.4} \quad \text{itd}$$

Dla czwórki zmiennych x_1, x_2, x_3, x_4 współczynniki korelacji cząstkowej, np dla x_1 i x_2 przy ustalonym wpływie zmiennych x_3 i x_4 , wyznaczają się z wzoru :

$$r_{12.34} = \frac{r_{12.3} - r_{14.3} r_{24.3}}{\sqrt{(1 - r_{14.3}^2)(1 - r_{24.3}^2)}} \quad (48)$$

dalej $r_{13.24}, r_{14.23}, r_{23.14}, \text{ itd.}$

W tablicach od III.21 do III. 24 zestawiono wartości współczynników korelacji wyznaczonych z badanych prób. W tablicy III.21 umieszczono wyniki obliczeń korelacji całkowitej dla okresów obejmujących zbiorowość wyników zmianowych z pojedynczych miesięcy. W wierszu siódmym tej tablicy obliczono średnie arytmetyczne współczynników dla badanego okresu półrocznego. W wierszu ósmym natomiast wyznaczono współczynniki korelacji cząstkowej, wychodząc z wartości średnich umieszczonych pod poz. Lp.7.

Korelacje cząstkowe w ostatnim wierszu tej tablicy należy rozumieć w sposób następujący : np w kolumnie trzeciej dotyczącej korelacji między zawartością metalu w nadawie i koncentracji $r_{\alpha\beta}$, ostatnia u dołu pozycja jest korelacją cząstkową między zawartością metalu w nadawie i koncentracji, przy ustalonym wpływie pozostałych dwóch zmiennych czyli zawartości metalu w odpadach i uzysku metalu w koncentracji, zatem $-r_{\alpha\beta,\delta\epsilon}$. Podobnie w kolumnie oznaczonej $r_{\alpha\delta}$, w ostatniej u dołu pozycji jest $r_{\alpha\beta,\delta\epsilon}$, itd.

W tablicy III.22 zestawiono wartości współczynników korelacji całkowitej dla zbiorowości wyników (zmiennych) o większych liczebnościach niż z jednego miesiąca.

Wartości współczynników korelacji cząstkowej między czterema podstawowymi wskaźnikami procesu ale już tylko dla wytypowanego (rozdz.3.2.) okresu pracy zakładu umieszczono w tablicy III. 23.

Ponieważ w zakładach przeróbczych analizuje się oprócz wyników zmianowych również wyniki średnie za dłuższe okresy np za dobę, dekadę itd, w tablicy III.24 zestawiono korelacje cząstkowe dla kilku kombinacji uśrednionych wyników zmianowych.

Istotność korelacji całkowitych i cząstkowych w wymienionych wyżej tablicach badano za pomocą statystyki :

$$t_{n-k} = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \quad (49)$$

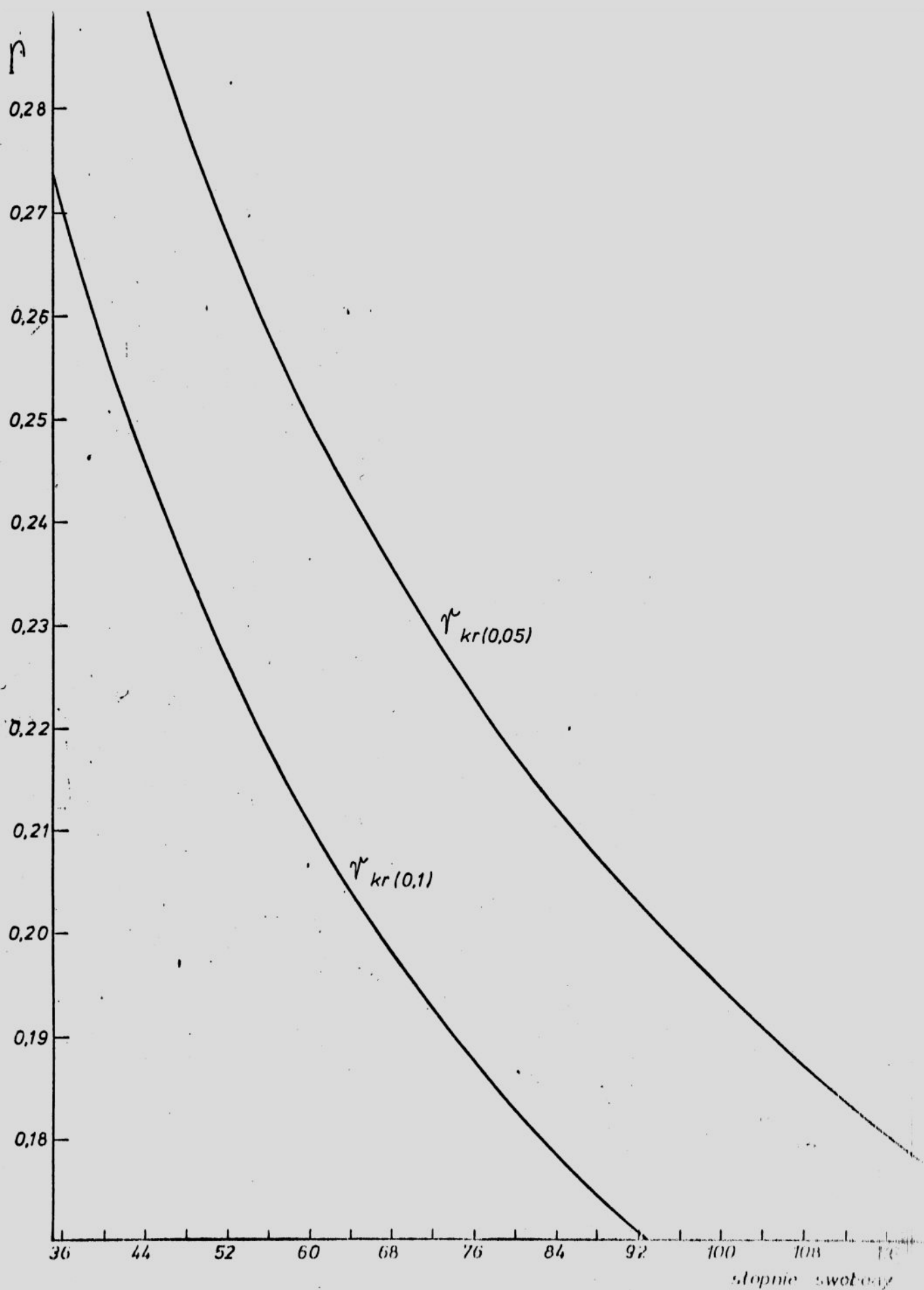
gdzie :

$n - k$ - stopni swobody

r - oszacowanie współczynnika korelacji.

Jeśli postawimy hipotezę $H_0 : \rho = 0$ (rzeczywisty współczynnik korelacji), to statystyka (49) ma rozkład t Studenta o $n - k$ stopniach swobody. Zatem, jeśli obliczona wartość t (wzór (49)) przekracza wartość krytyczną w tablicach rozkładu t Studenta,^(to) oszacowany współczynnik korelacji jest istotny. Istotność wyznaczonych z próby współczynników korelacji można również sprawdzić przy pomocy gotowych tablic wartości krytycznych współczynników korelacji całkowitej i częściowej wyznaczonych na podstawie statystyki (49), zamieszczonych np w pracy /85/. Na podstawie takich tablic sporządzono wykres wartości krytycznych współczynników korelacji dla poziomu istotności 0,1 i 0,05 i przedstawiono na rysunku III.17. W podanych tablicach podkreślono linią ciągłą korelacje nie istotne na poziomie istotności 0,1, natomiast linią przerywaną - korelacje istotne na poziomie 0,1 ale nie istotne na poziomie 0,05.

Analiza tablic prowadzi do wniosku, że oszacowane korelacje między uzyskiem metalu w koncentracie, a zawartością metalu w odpadach oraz pomiędzy zawartością metalu w koncentracie a wychodem są zawsze najwyższe i prawie liniowe. Również wysokie i w badanych przypadkach zawsze istotne są korelacje między uzyskiem metalu w koncentracie i wychodem koncentratu.



Rys. III.17 Wartości krytyczne współczynnika korelacji całkowitej i cząstkowej. (Wykres sporządzono na podstawie danych z tablic w / 85 /.

W przypadku pozostałych związków zagadnienie nie jest już tak jednoznaczne i wymaga dokładniejszego omówienia. Ogólnie można stwierdzić, że znaki przy wszystkich oszacowanych korelacjach nie zależnie od ich istotności są prawidłowe.

Współczynniki korelacji całkowitej oszacowane dla kilku oddzielnych zbiorowości obejmujących okresy jednomiesięczne pracy zakładu (tabl III.21) kształtują się różnie. Jednak ich średnie arytmetyczne poz. lp.7) sugerują, że jednak dla większej ilości spostrzeżeń można się spodziewać istotności związku we wszystkich badanych przypadkach. Potwierdzają to korelacje dla większych zbiorowości, których oszacowania zestawiono w tabl III.22. O ile dla okresów dwumiesięcznych korelacje nie zawsze są istotne to ich średnie arytmetyczne są ; również są one ogólnie nieco wyższe niż analogiczne średnie arytmetyczne wyznaczonych współczynników korelacji w poprzedniej tablicy.

Średnich arytmetycznych współczynników korelacji można oczywiście używać jedynie dla orientacji, gdyż nie są to oszacowania prawidłowe i poprawnie wyznaczone dla danej zbiorowości. Prawidłowo oszacowany współczynnik korelacji np z całego okresu trzymiesięcznego powinien być nieco wyższy niż średnia arytmetyczna współczynników wyznaczonych oddzielnie dla pojedynczych miesięcy (można to np stwierdzić w poz. 4, 5, 6 tabl III. 21 i poz. 6 tabl III. 22).

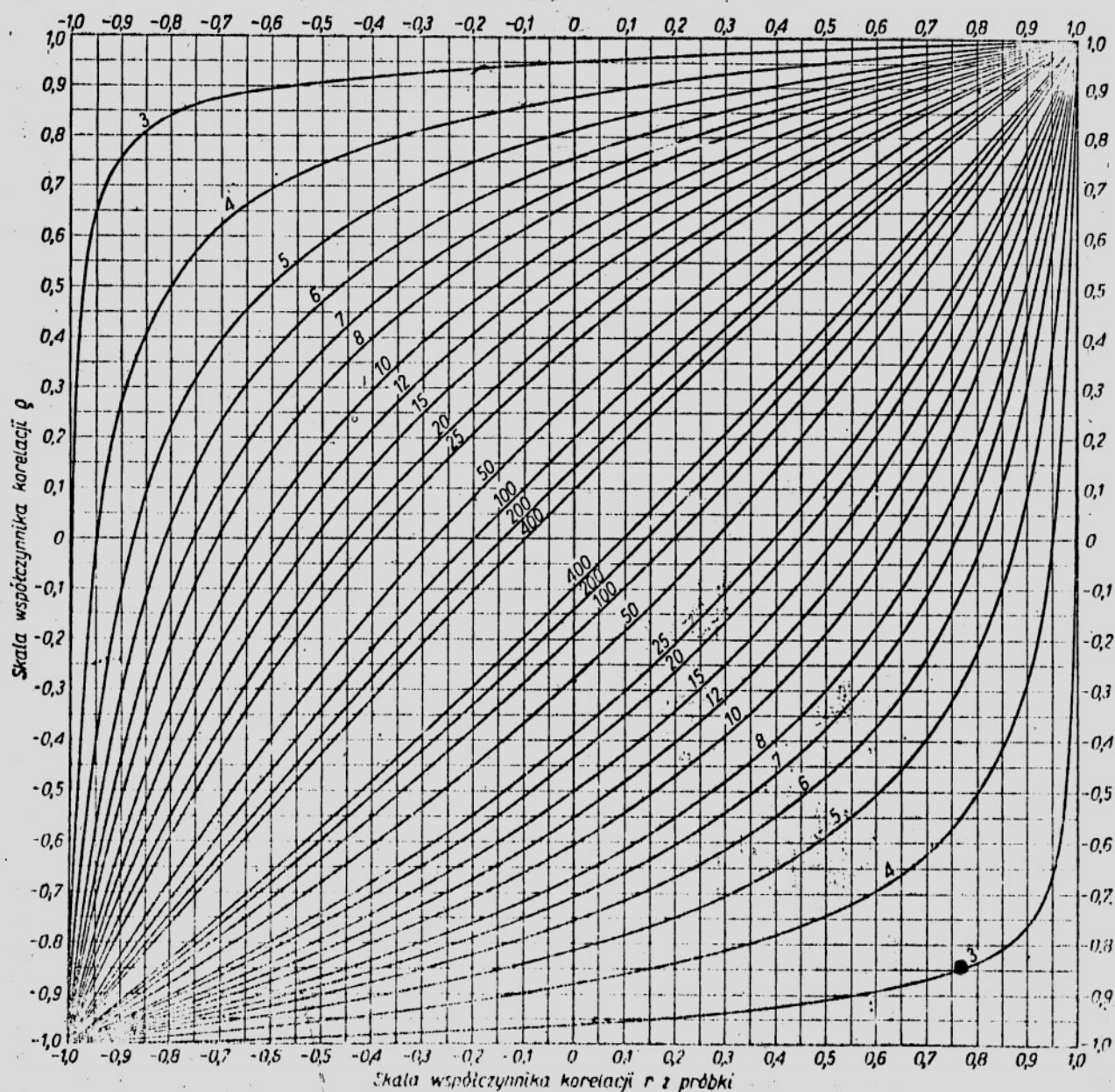
W tabl. III.22 daje się zauważyć, że zbiorowość wyników obejmująca trzymiesięczny okres zakładu w zasadzie już jest wystarczającą do analizy związków między wskaźnikami gdyż wartości współczynników korelacji wyznaczone z takiej próby zaczynają być ustabilizowane. Fakt ten ilościowo można stwierdzić badając przedziały ufności oszacowanych współczynników korelacji przy pomocy monogramu zamieszczonego na rys III.18.

Ciekawie przedstawiają się związki opisane przy pomocy zależności "wielokrotnych". Oszacowanie bowiem współczynników korelacji cząstkowej dostarcza dalszych informacji, aczkolwiek ich interpretacja z różnych przyczyn może być utrudniona / 80 /. W poz. 8 tabl. III. 21 zestawiono korelacje cząstkowe między czterema badanymi wskaźnikami wyliczone na podstawie współczynników korelacji w poz. 7. tablicy. Wysokie współczynniki korelacji $r_{\alpha v, \beta \varepsilon}$ i $r_{\alpha \varepsilon, \beta v}$ nie potwierdzające się w innych przypadkach można wyjaśnić zgodnie z cytowaną pracą Volka taką a nie inną "przypadkową" konfiguracją współczynników korelacji całkowitej.

Wartości współczynników korelacji cząstkowej dla wytypowanego poprzednio okresu pracy zakładu z tablicy III.23 są już łatwiejsze do interpretacji, gdyż zgodnie z zasadami jakich można oczekiwać z ogólnych reguł przeróbczych i w zasadzie należy je uznać za powtarzalne porównując z pozostałymi korelacjami w zamieszczonych tablicach.

W tabl.III.24 zestawiono wartości współczynników korelacji cząstkowej wyznaczone z prób, będących zbiorowością

Rys.III.18. Przedziały ufności dla współczynnika korelacji ,
poziom ufności 0.95 .



średnich arytmetycznych wskaźników procesu, badanych z więcej niż pojedynczych wyników zmianowych. Dzięki takiej operacji zbadano próbę o bardzo dużej objętości, zatem oszacowane współczynniki korelacji powinny być bardzo zbliżone do rzeczywistych. W miarę wzrostu długości badanego okresu korelacje pomiędzy wskaźnikami wynikowymi tzn. zmiennymi wyjściowymi procesu (tj. β , v , ε), a zawartością metalu w nadawie stają się coraz słabsze i z wyjątkiem korelacji z uzyskiem są najczęściej nieistotne. Korelacje natomiast pomiędzy zawartością metalu w koncentracie, a zawartością w odpadach oraz uzyskiem stają się coraz silniejsze i są prawie zawsze istotne.

Spostrzeżenia te potwierdza również zestawienie w tabl. III.23, gdzie po b. wysokiej korelacji uzysku z zawartością metalu w odpadach korelacja pomiędzy zawartością metalu w koncentracie, a zawartością w odpadach jest najsilniejsza. W tablicy III.24 obserwuje się jednak w przeciwieństwie do poprzednio omawianej tablicy stosunkowo silne i istotne skorelowanie zawartości metalu w nadawie z zawartością metalu w odpadach. Fakt ten można jednak wyjaśnić tym, że silne skorelowanie uzysku z zawartością metalu w odpadach stymuluje dużą wartość oszacowanego współczynnika korelacji cząstkowej między jakością nadawy, a zawartością metalu w odpadach, przy ustalonym wpływie uzysku i jakości koncentratu.

Podsumowując zawarte w tablicach III.21 - III.24 osza-

szacowania współczynników korelacji całkowitej i częściowej należy stwierdzić, że dokładniejsze analizy przebiegu procesu należałoby oprzeć na badaniu korelacji (zależności) tylko pomiędzy zawartością metalu w odpadach a zawartością metalu w koncentracie i jakością nadawy. Jeśli by przyjąć analogiczną zależność uzysku to otrzymane wówczas modele regresyjne typu $\varepsilon = f(\beta, \alpha)$ na ogół okazują się nie istotne, gdyż zakres zmienności uzysku jest bardzo mały (rozdz. 2.2.3. oraz praca / 87 /). Zjawisko to najlepiej ilustruje tabl.III.25, w której zestawiono podstawowe parametry statystyczne wybranej (jak w tabl. III.23) zbiorowości podstawowych wskaźników pracy zakładu. Czwarte wiersze kolejnych pozycji tej tablicy zawierają wartości oszacowanych współczynników zmienności w procentach. Współczynniki te (V_x) dla uzysku metalu w koncentracie są bardzo małe i najmniejsze ze wszystkich badanych wskaźników.

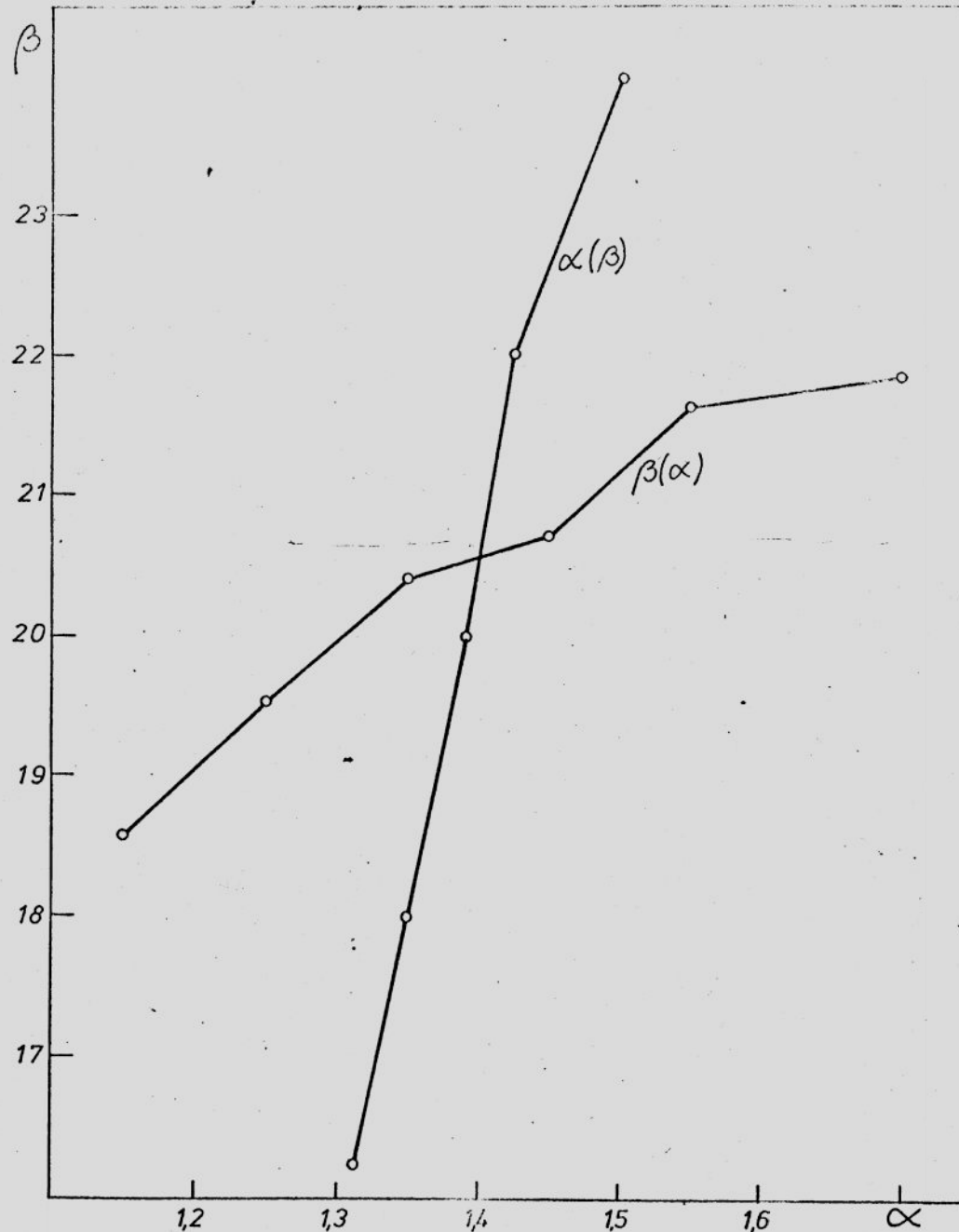
Przedstawiona analiza korelacyjna uwidacznia jak ostrożne i wyważone muszą być tego typu badania. Oparcie się np. tylko na szacowanych korelacjach całkowitych czy tylko częściowych, na podstawie krótkiego okresu pracy zakładu nie może stanowić podstawy do wyciągania prawidłowych wniosków.

(interpretacje
Graficzną) korelacji pomiędzy badanymi podstawowymi wskaźnikami procesu ilustrują rys. III.19 - 24. Wykresy przedstawiające korelację pomiędzy jakością nadawy i zawar

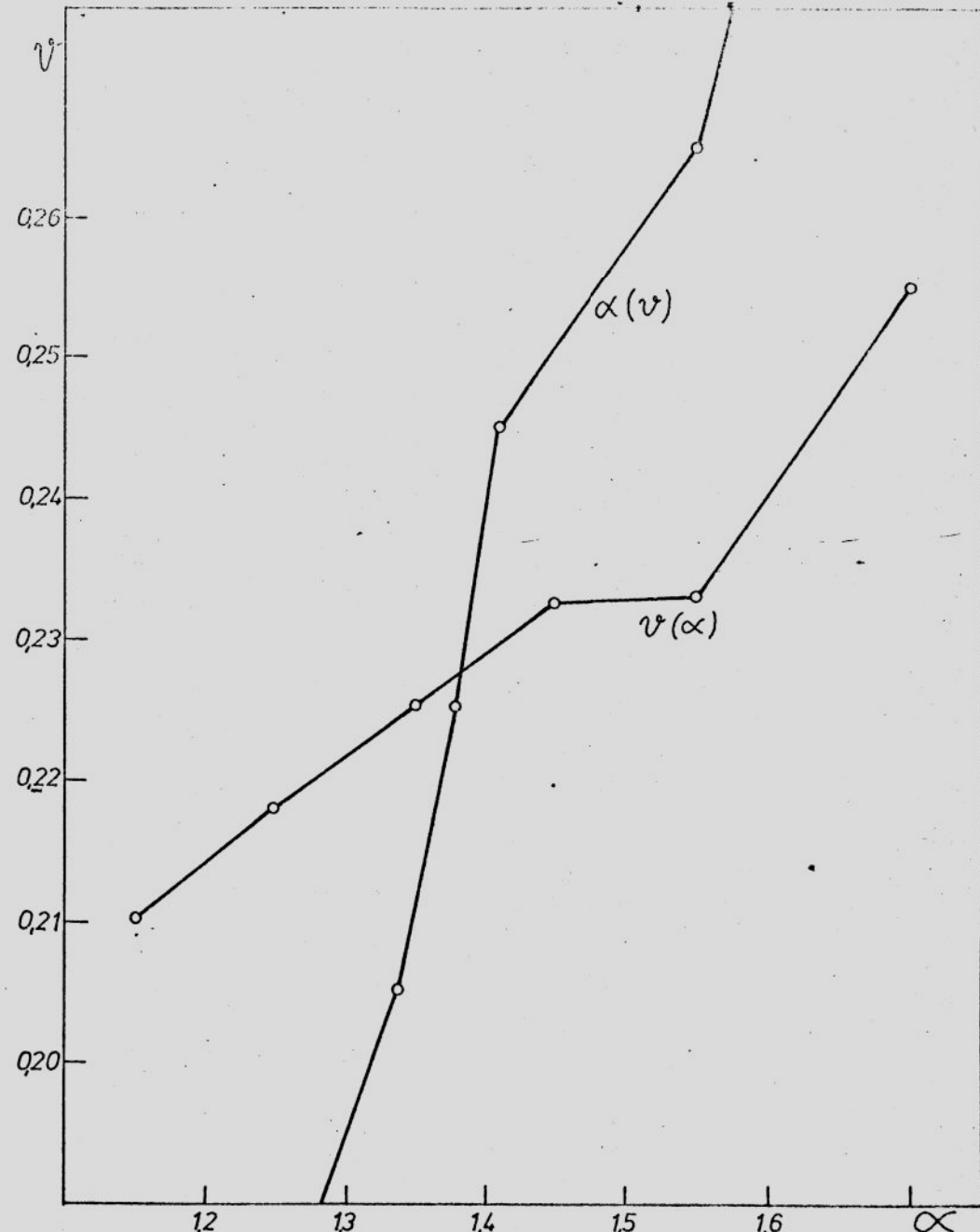
tością metalu w koncentracie oraz odpadach otrzymano na podstawie sporządzonych dwuwymiarowych tablic korelacyjnych. Zależności z uzyskiem i wychodem koncentratu sporządzono na podstawie jedynie średnich arytmetycznych w przedziałach klasowych, na które podzielono zbiorowość wskaźników odpowiednio wg wskaźnika α , β i γ . Empiryczne linie regresji na rys. III.19, 20 i 22 są obrazem korelacji całkowitych pomiędzy wskaźnikami α , γ i β

Wykresy na rysunkach III.19 do 24 sporządzono dla zbiorowości wskaźników obejmującej okres pracy zakładu czteromiesięczny od kwietnia do lipca 1970. Wskaźniki z tej zbiorowości podzielono na szeregi rozdzielcze przyjmując następujące szerokości przedziałów klasowych :

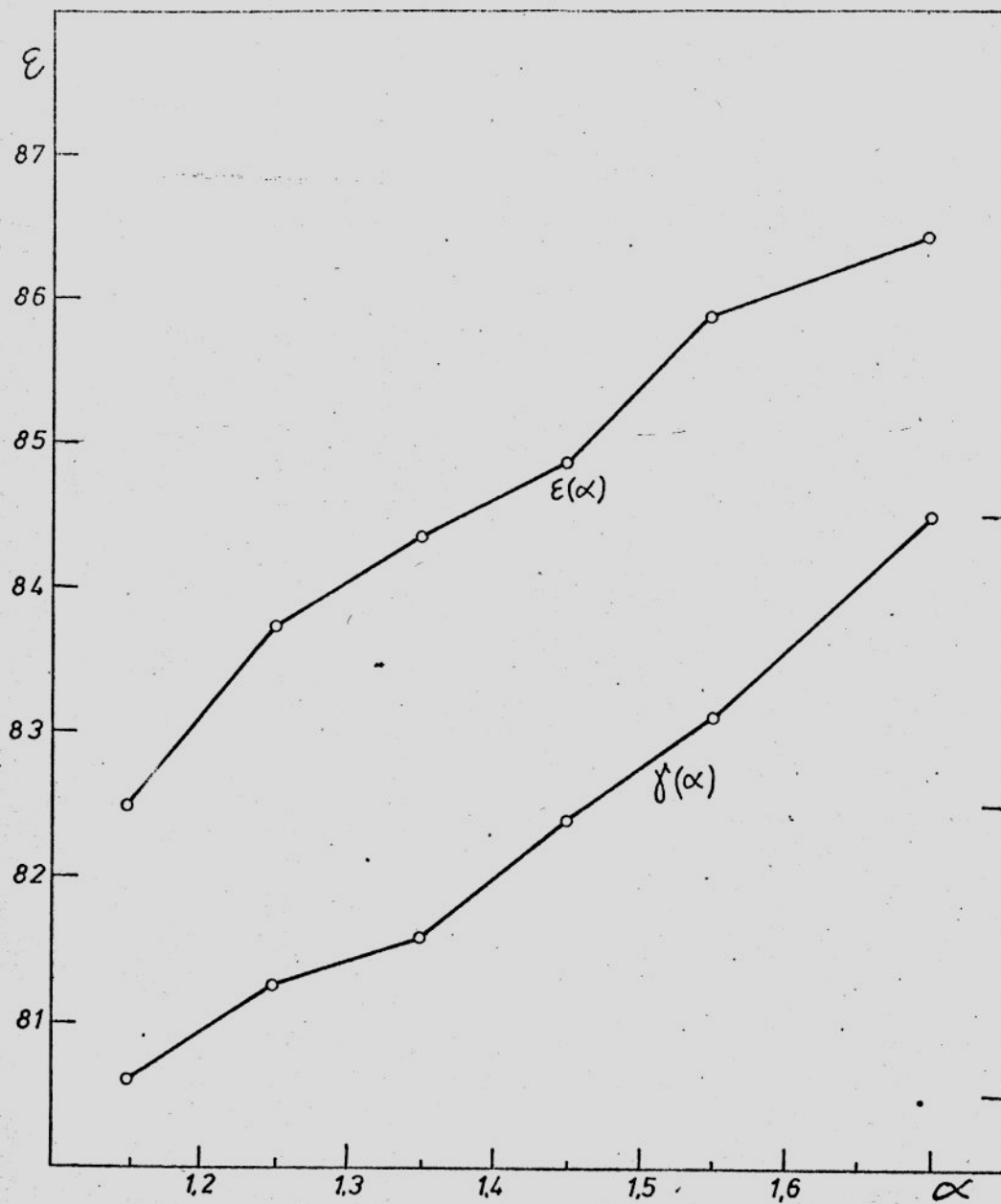
- dla zawartości metalu w nadawie przyjęto $\Delta\alpha = 0.1 \%$,
- dla zawartości metalu w koncentracie przyjęto
 $\Delta\beta = 2 \%$
- dla zawartości metalu w odpadach przyjęto
 $\Delta\gamma = 0.02 \%$.



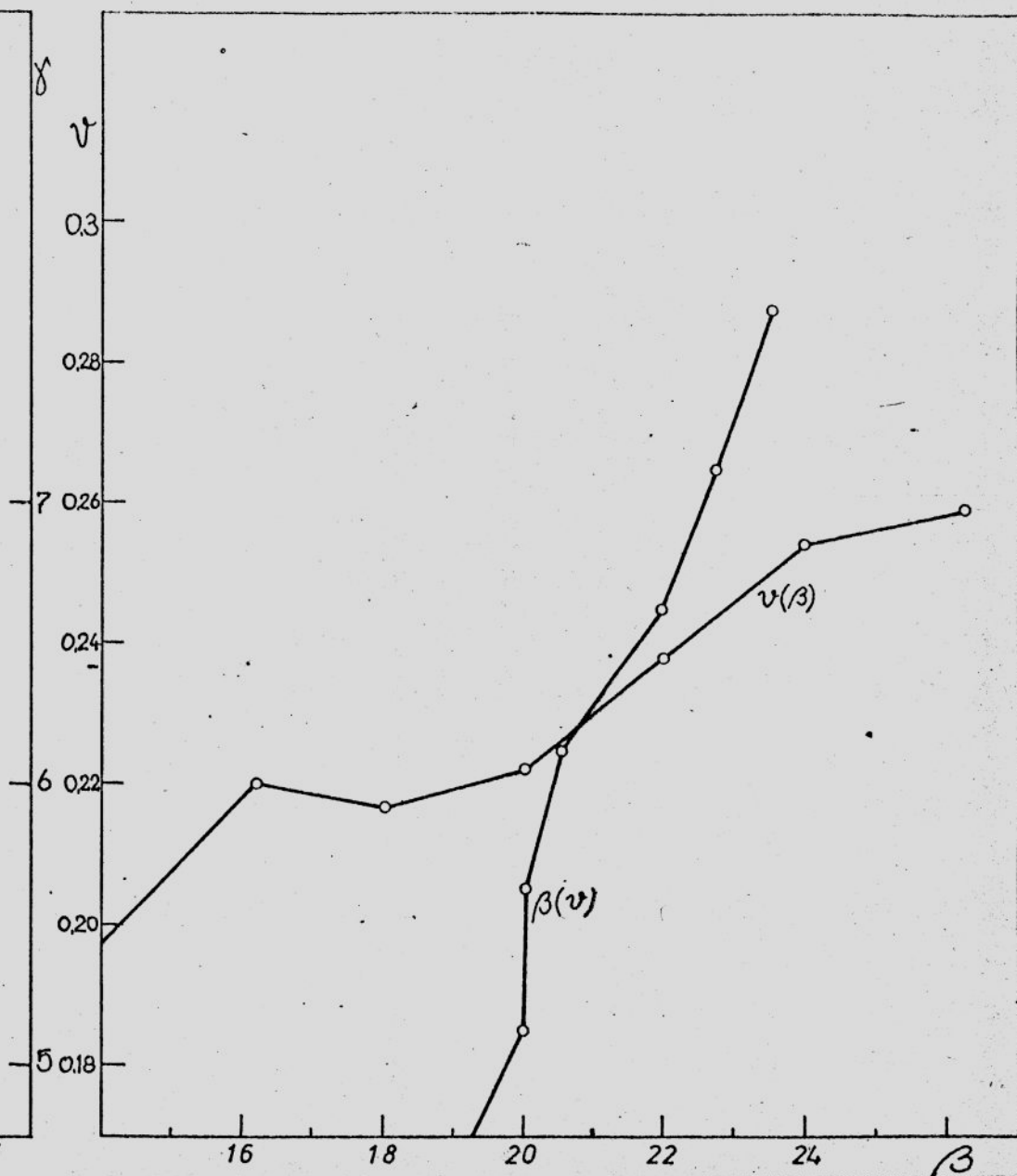
Rys.III.19 Empiryczne linie regresji dla zależności jakości nadawy od zawartości metalu w koncentracie.



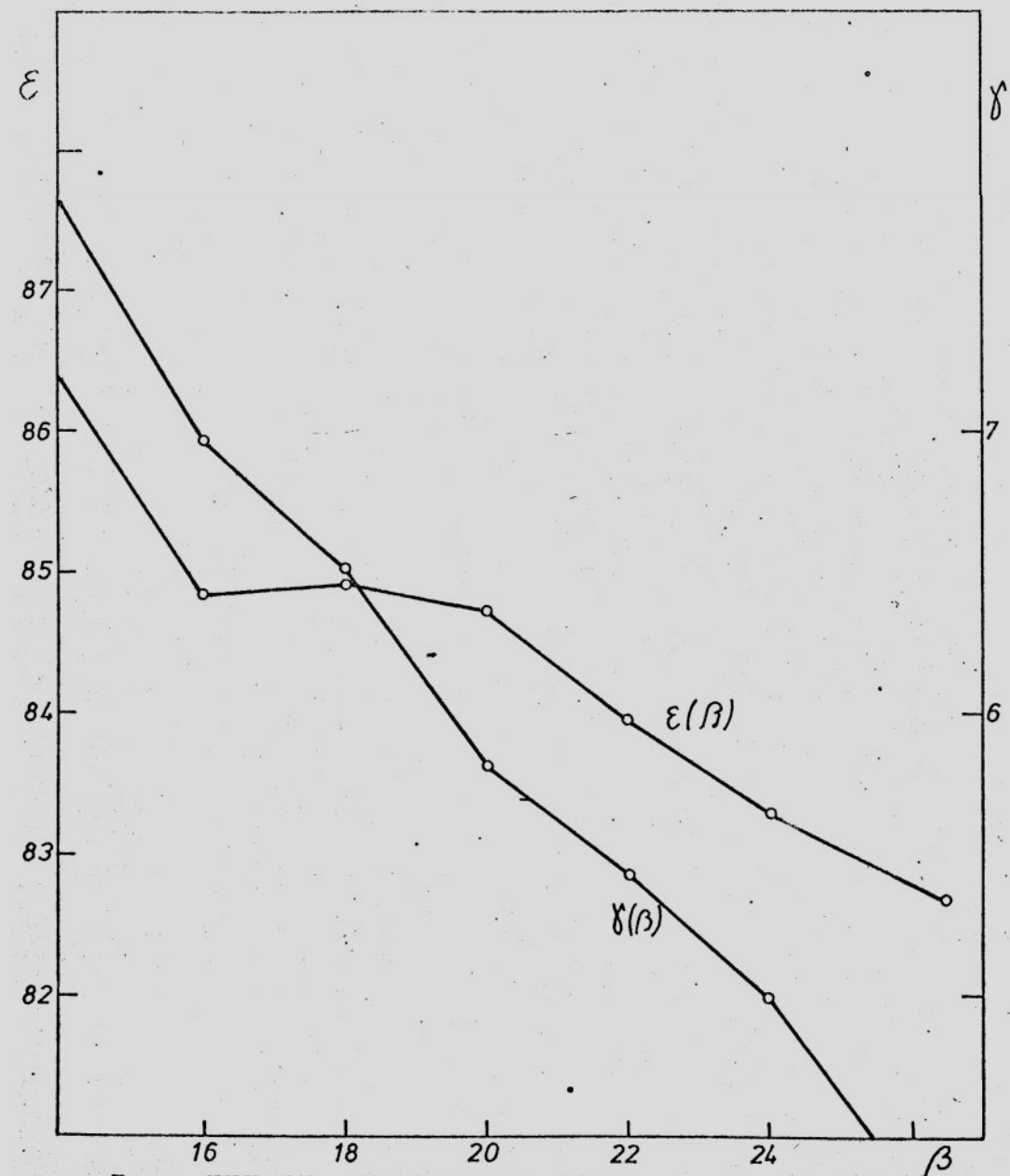
Rys.III.20 Empiryczne linie regresji dla zależności jakości nadawy od zawartości metalu w odpadach



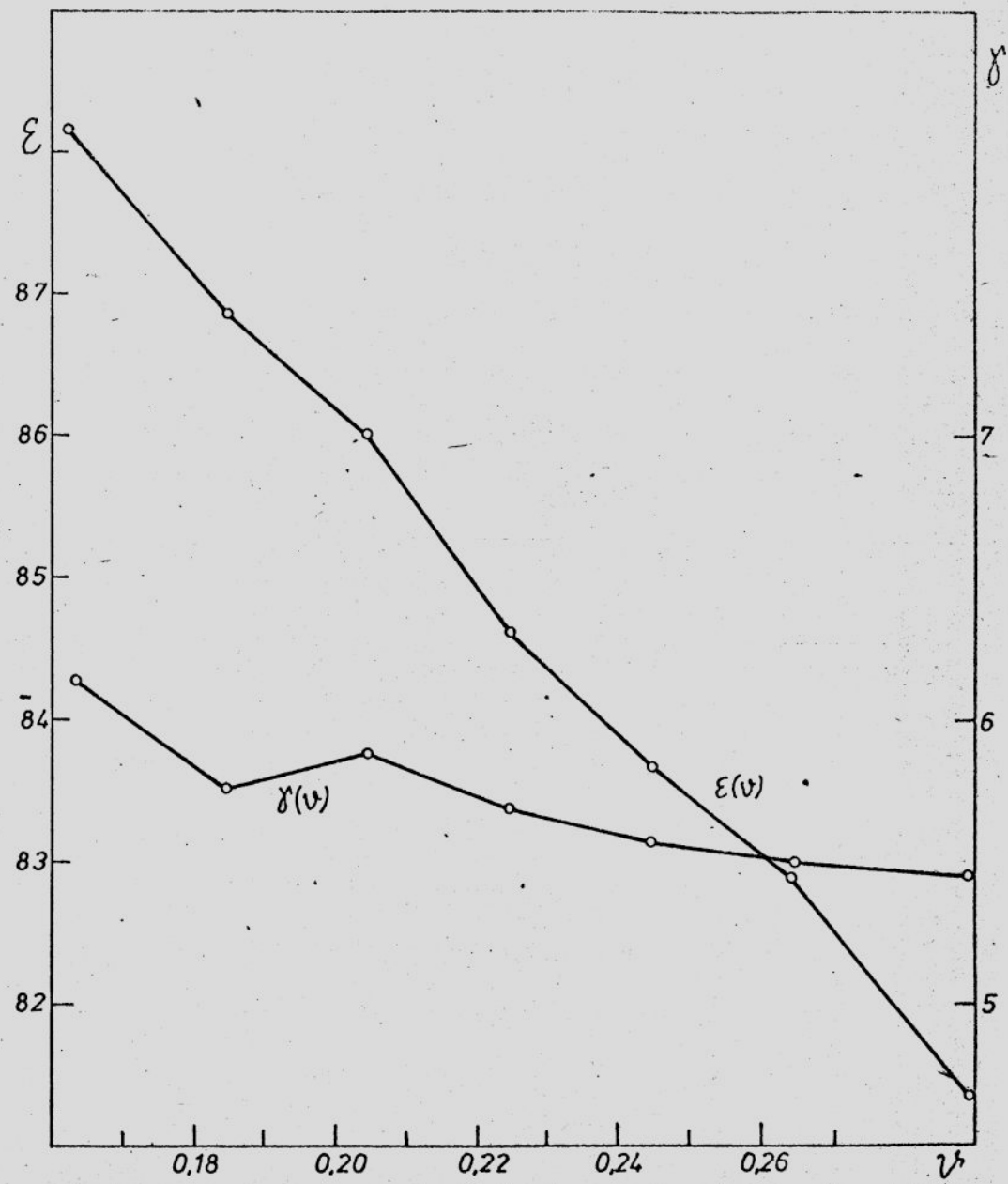
Rys. III.21 Empiryczne linie regresji dla zależności
Będ. użysku i wychodu koncentratu od α



Rys. III.22 Empiryczne linie regresji dla zależności
względnej dobowej koncentracji o zawartości



Rys. III.23 Empiryczne linie regresji dla zależności uzysku i wychodu koncentratu od jakości koncentratu.



Rys. III.24 Empiryczne linie regresji dla zależności uzysku i wychodu koncentratu od zawartości metalu w odpadach.

3.5. Wyznaczenie równań regresji dla wybranych korelacji.

Wskaźnik oceny.

Na podstawie przedstawionej w poprzednim rozdziale analizy korelacji oraz empirycznych linii regresji, jak również wobec braku podstaw do odrzucenia hipotezy normalności rozkładów podstawowych wskaźników procesu flotacji zdecydowano się dokonać oceny procesu za pomocą zależności regresyjnej w postaci podobnej do wzoru (21) z rozdz. 2.2. 3.

$$V = a_1 + a_2 \alpha + a_3 \beta$$

Zależność taka między trzema podstawowymi "mierzalnymi" wskaźnikami wykorzystano dalej jako wyjściową do analizy wpływu również wskaźników obliczanych - uzysku metalu w koncentracie oraz wychodu koncentratu. Analizy tej dokonano sposobem graficzno - analitycznym podstawiając do wyznaczonych równań wybrane wartości α_0 - zawartości metalu w nadawie i β_0 - zawartości metalu w koncentracie, mając na uwadze rzeczywisty zakres wahań tych wskaźników w praktyce. Otrzymane wartości obliczone v_0 - zawartości metalu w odpadach oraz wybrane wartości v_0, α_0 i β_0 wstawiono do wzorów na uzysk i wychód, wynikających z bilansu metalu w procesie wzbogacania :

$$\varepsilon = \gamma \frac{\beta}{\alpha}$$

$$\gamma = \frac{\alpha - v}{\beta - v} 100$$

Ponieważ w pracy tej najczęściej stosuje się na wykresach układ współrzędnych Della, dodatkowo obliczano dla wybranych wartości wskaźników wagę koncentratu odpowiadającą 100 jednostkom wagowym metalu w nadawie.

Podstawą powyższych przeliczeń graficznych wyznaczonych równań regresji na inne układy współrzędnych jest stwierdzona już (rozdz 3.4) silna korelacja pomiędzy $\mathcal{V}$ i $\mathcal{E}$ oraz pomiędzy β i γ .

Pobraną próbę statystyczną (okres I - patrz rozdział 3.2) poddano pełnej analizie statystycznej z wyznaczeniem równań regresji metodą najmniejszych kwadratów. Badania korelacji pomiędzy podstawowymi wskaźnikami przedstawione w rozdz. 3.4, wśród których znalazły się dane dotyczące badanej w tym rozdziale próby statystycznej, traktowały każdy element próby jako jednakowo "ważący". Przedstawione w tym rozdziale wyniki obliczeń statystycznych otrzymano z uwzględnieniem "wag" (przerobów) przyporządkowanych każdemu elementowi próby. W związku z tym całą analizę korelacji powtórzono, a otrzymane równania regresji porównano z równaniami regresji otrzymanymi bez uwzględnienia przerobów zmianowych rudy.

W tablicy III.26 zestawiono oszacowane z badanej próby podstawowe parametry statystyczne analogicznie jak w tablicy III.25 ale już po uwzględnieniu ilości przerobionej rudy. Różnice w oszacowanych wartościach parametrów w obu tablicach są najczęściej statystycznie nieistotne chociaż

w niektórych przypadkach (np współczynniki zmienności ψ i α) zarysowują się wyraźnie różnice. Oszacowane współczynniki korelacji całkowitej (tabl. III.27) również niewiele się zmieniły jeśli wziąć pod uwagę ich przedziały ufności (rys. III.18). Pomimo tego w kilku przypadkach współczynniki korelacji "ważone" stały się istotne, w innych stały się nieistotne. Największe różnice między tymi dwoma sposobami interpretacji daje się zauważyć w wyznaczonych równaniach regresji. W tablicy III.28 oraz na rysunkach III.25 - 28 przedstawiono wyznaczone równania bez uwzględniania przerobów rudy. W tablicy III.29 oraz na rys. III.29 - 32 przedstawiono natomiast podobne równania oszacowane jako "ważone". Różnice między obydwoimi przypadkami we współczynnikach równań są wyraźne. Dokładniej daje się to zaobserwować w tablicy III.30, gdzie przedstawiono analizę statystyczną tych równań.

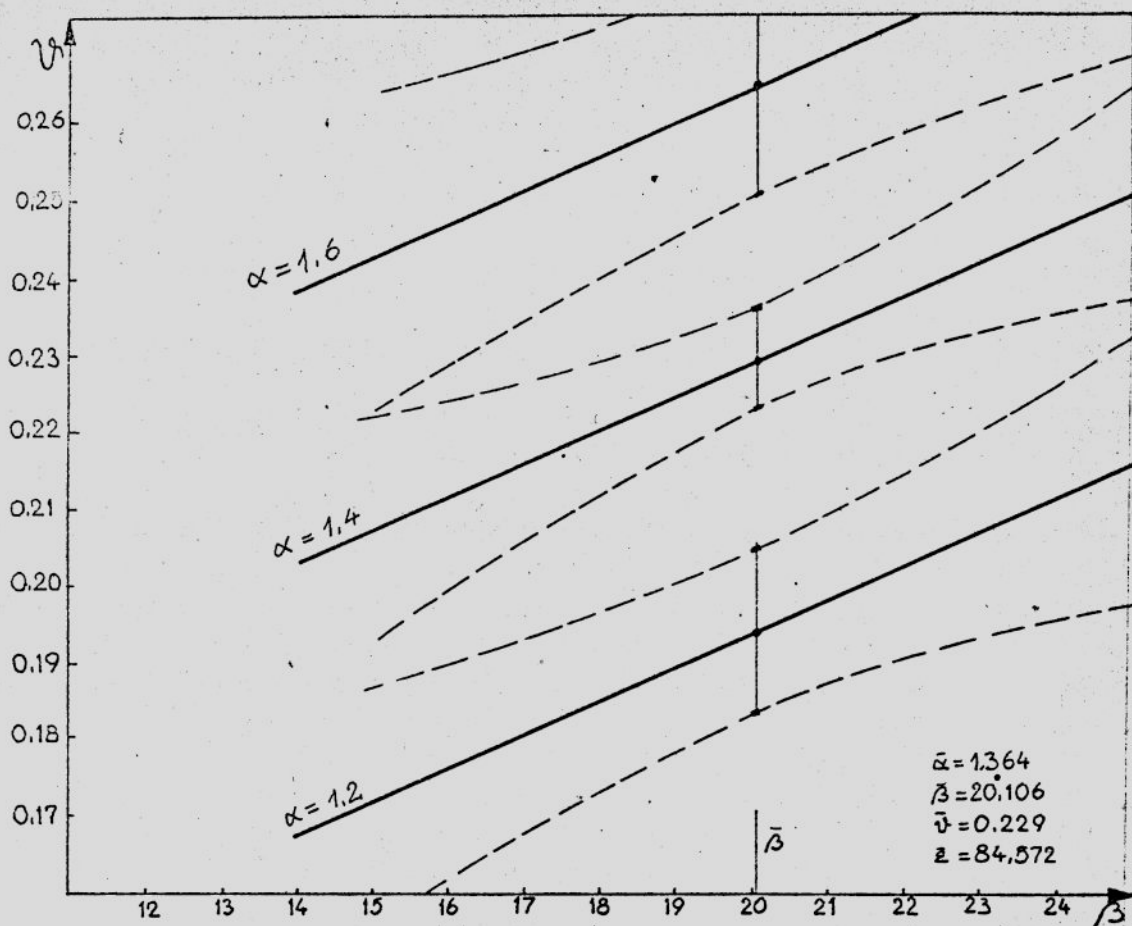
Istotność współczynników regresji zbadano testem t , / 21 /. Wyznaczona wartość

$$t_{\text{emp}} = \frac{a_1}{S_{a_1}}$$

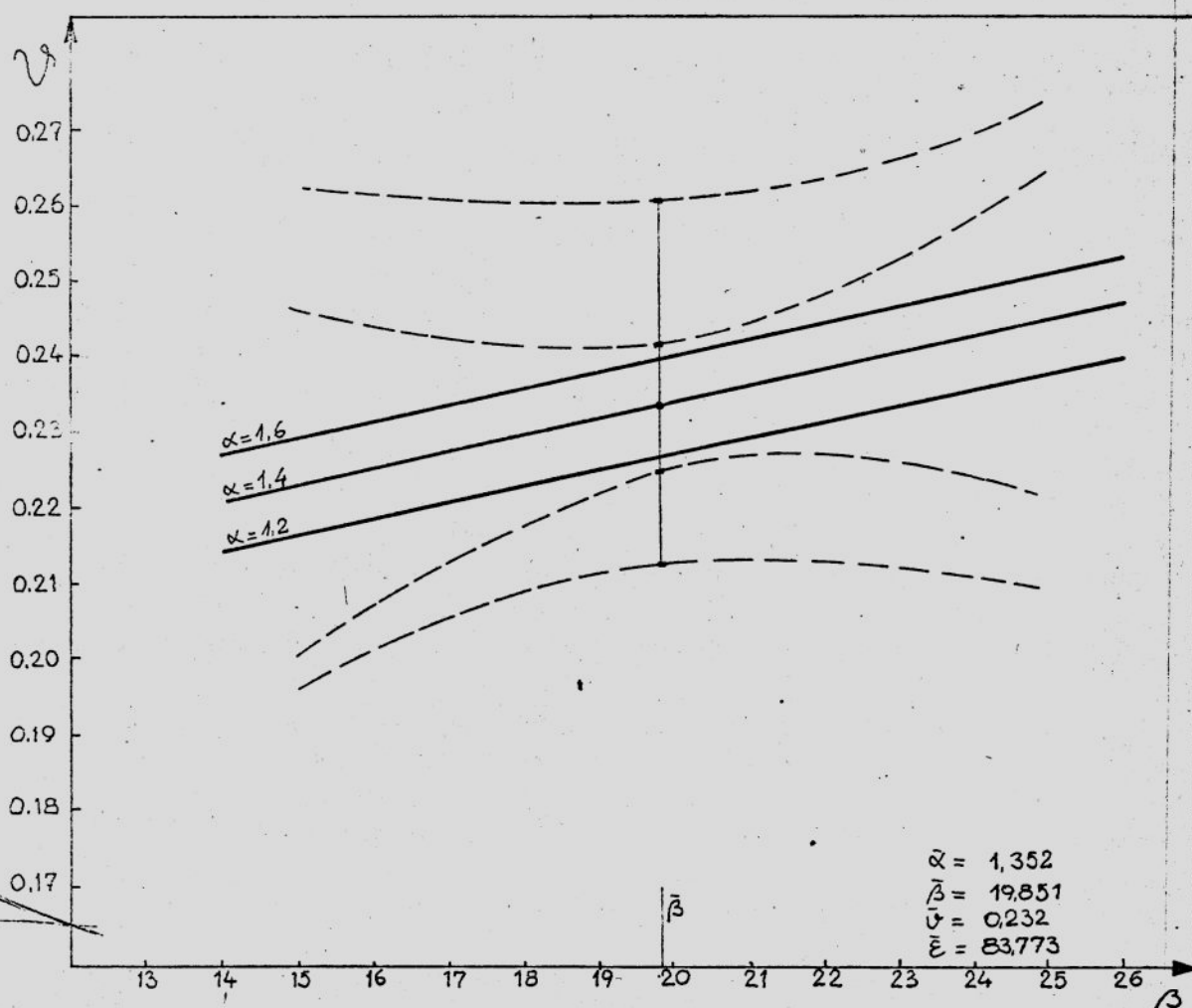
gdzie : a_1 - współczynnik regresji

S_{a_1} - odchylenie standardowe współczynnika regresji

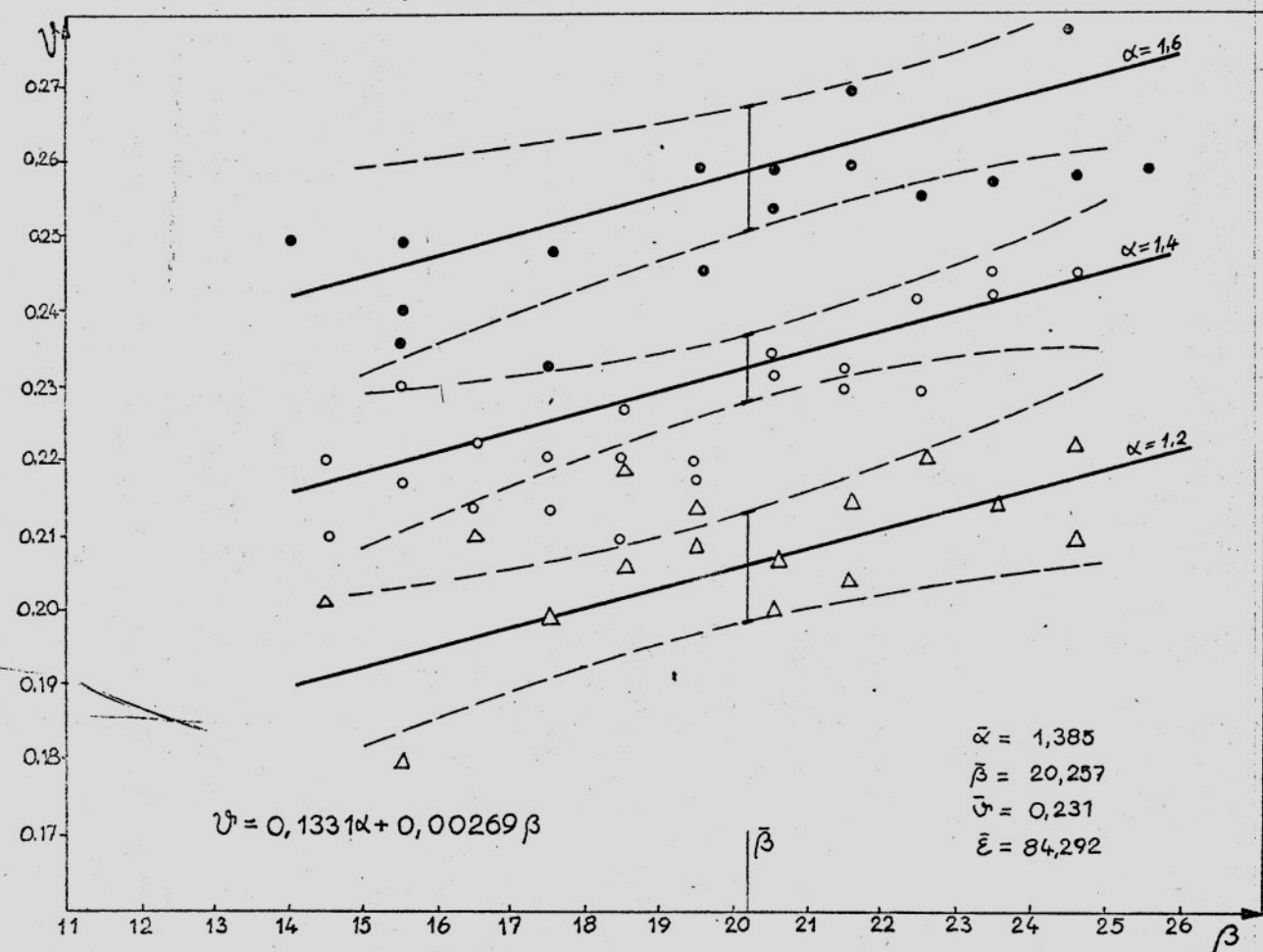
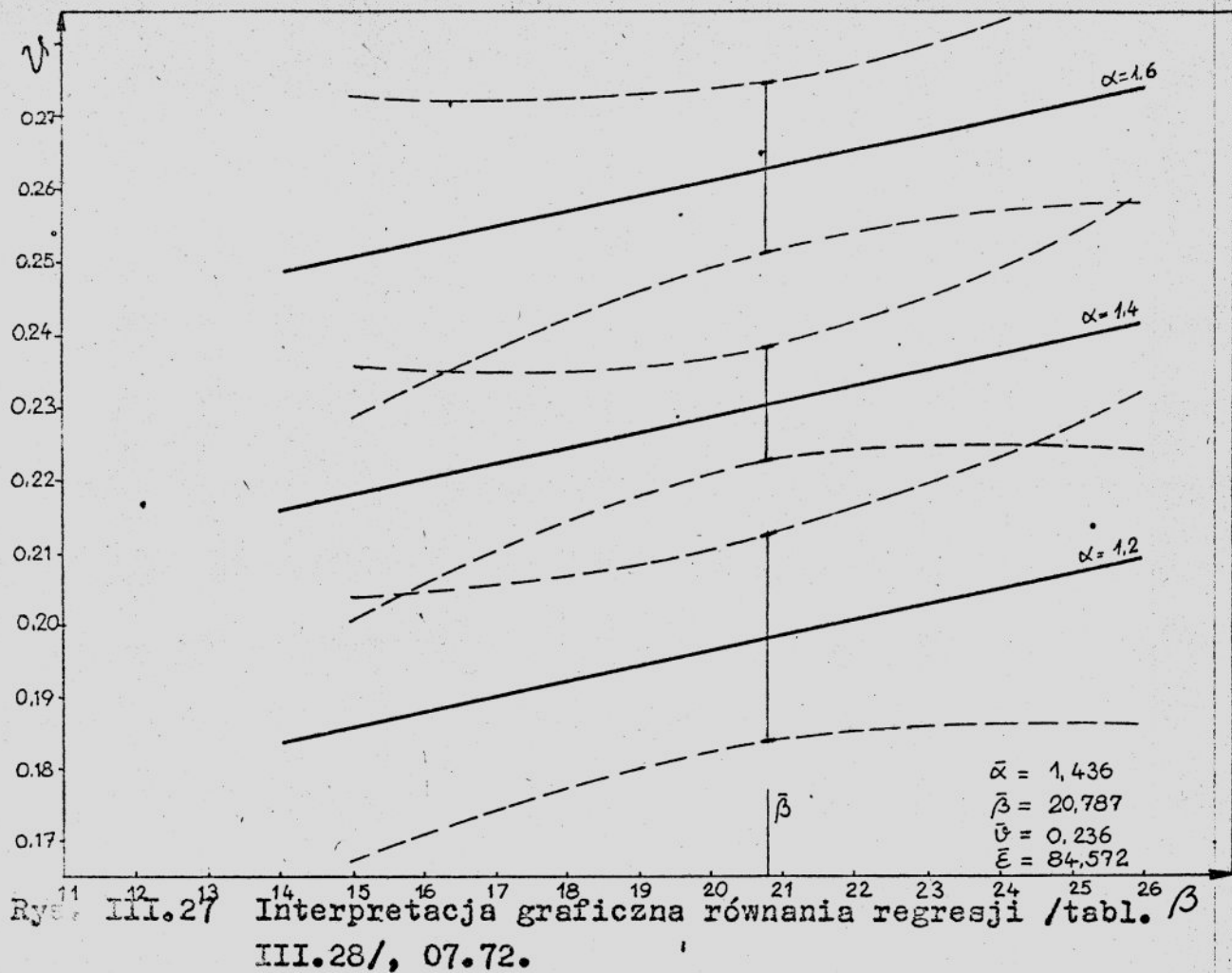
jest we wszystkich przypadkach oszacowanej regresji "ważonej" większa od tablicowej

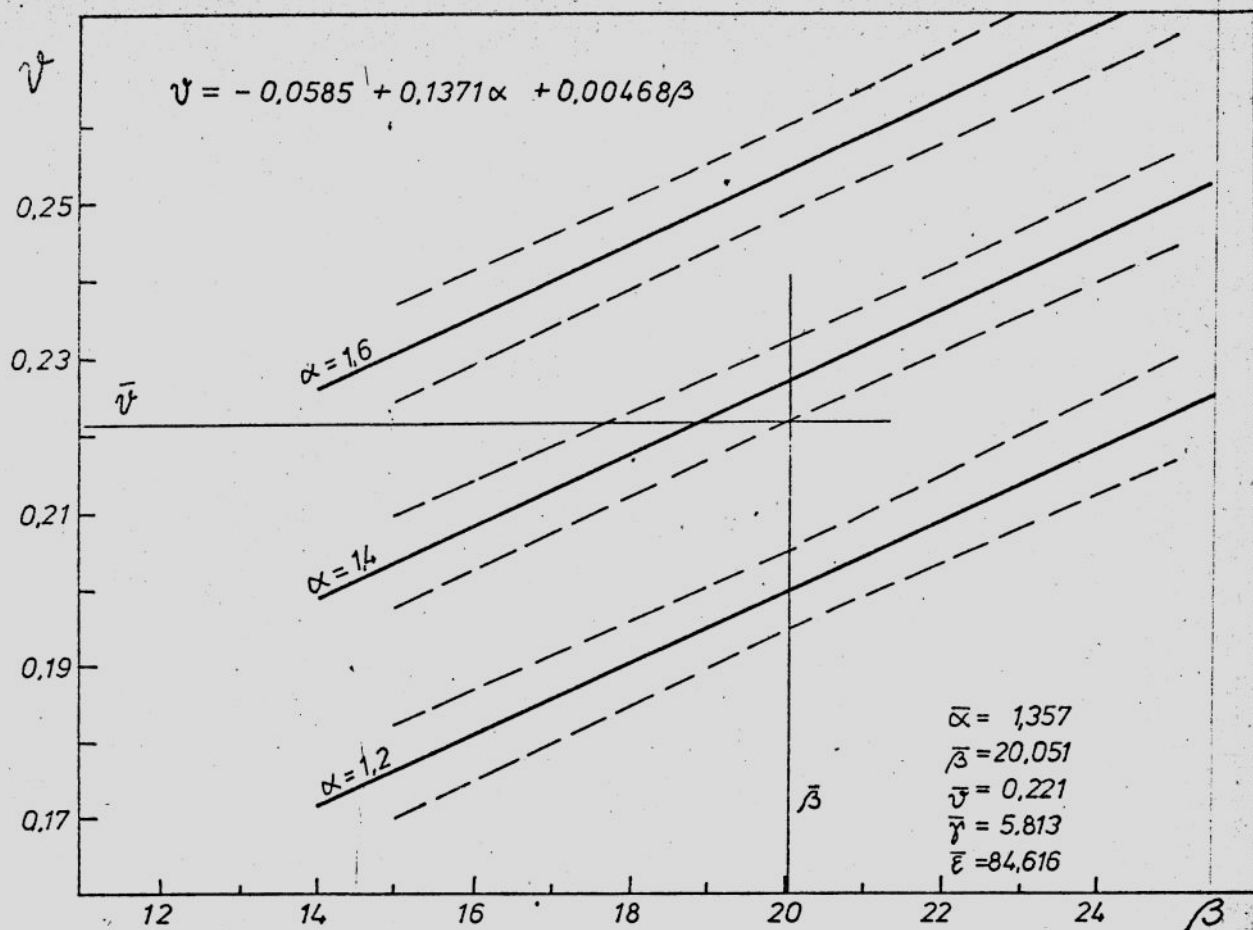


Rys. III.25 Interpretacja graficzna równania regresji /tabl. III.28/, 05.72.

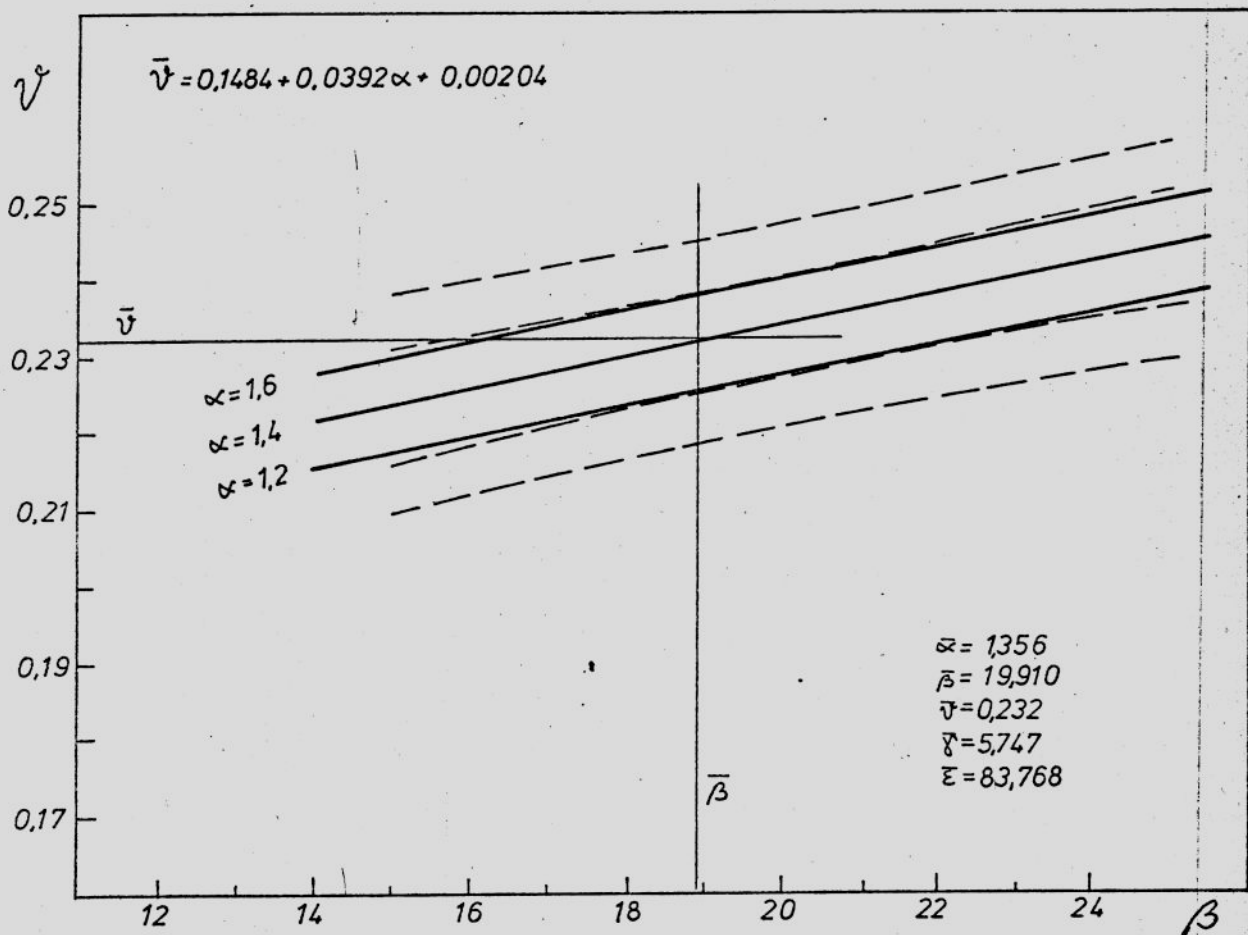


Rys. III.26 Interpretacja graficzna równania regresji /tabl. III.28/, 06.72

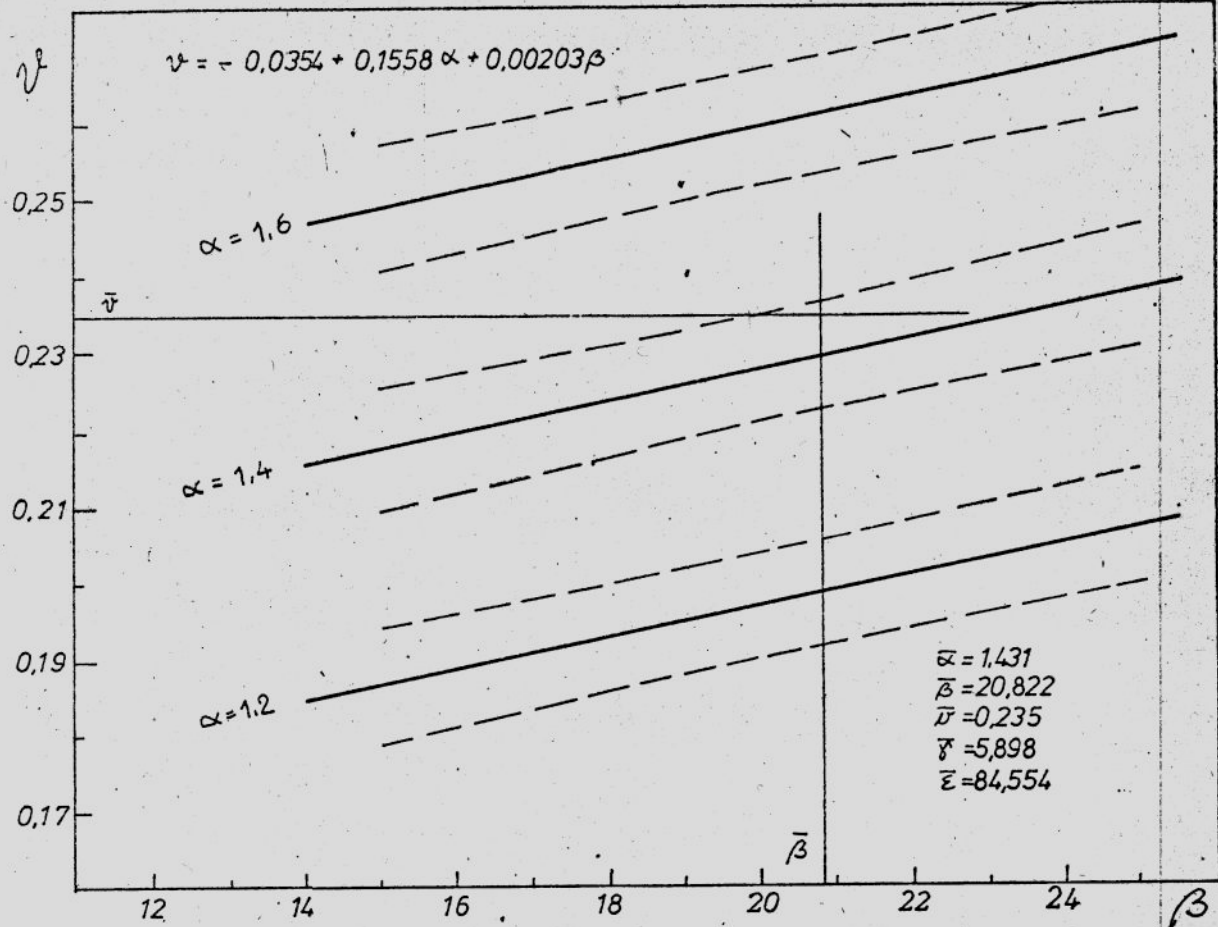




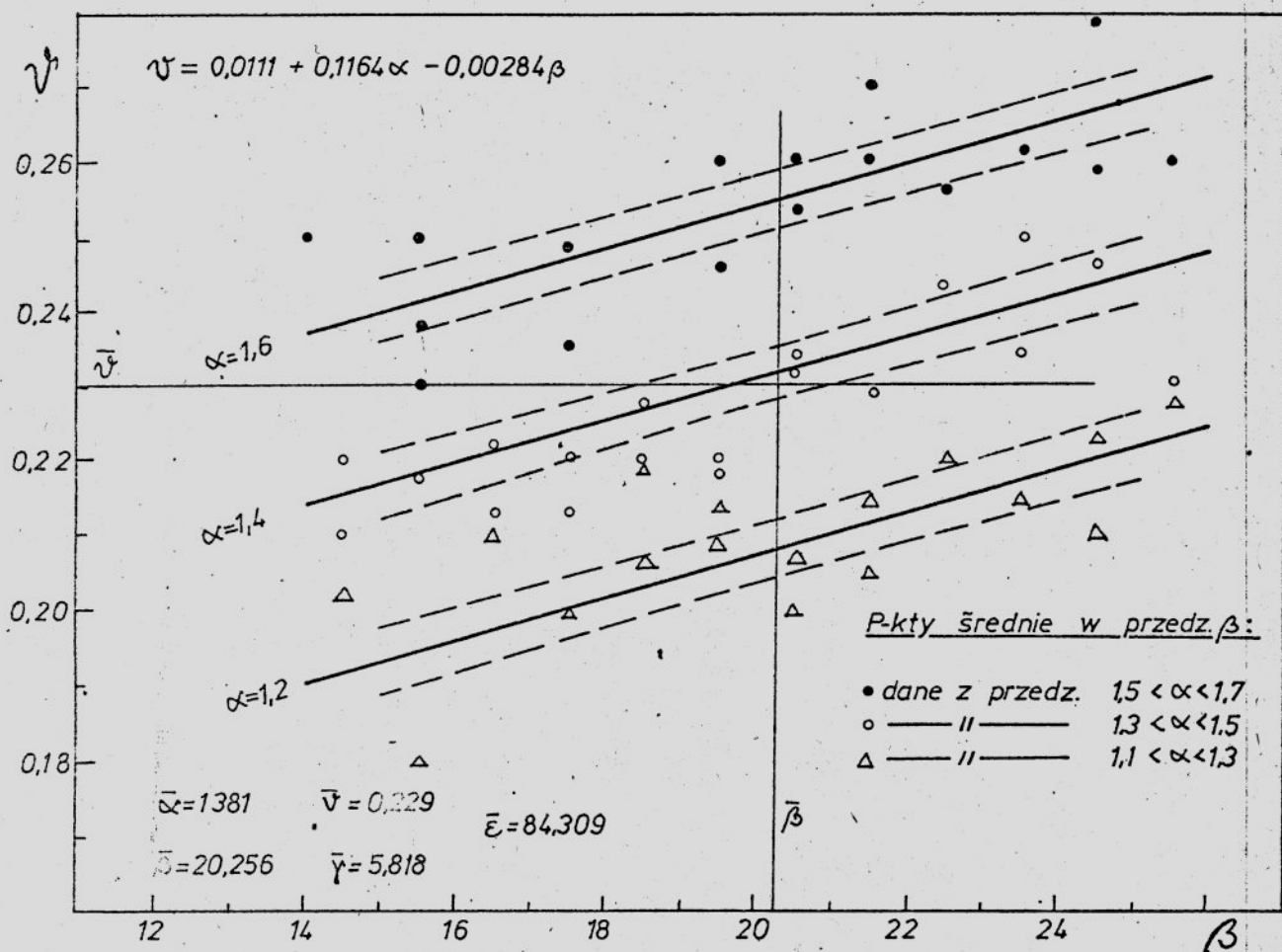
Rys.III.29 Interpretacja graficzna równania regresji ("ważone")
05.72



Rys.III.30 Interpretacja graficzna równania regresji
/ "ważone"), 06.72



Rys.III.31 Interpretacja graficzna równania regresji ("ważone"), 07.72



Rys.III.32 Interpretacja graficzna równania regresji ("ważone"), 3 miesiące.

$$t_{0.05,80} = 1.980 \text{ i od } t_{0.05,200} = 1.960.$$

Zatem współczynniki są istotne.

Istotność równań regresji zbadano testem F i stwierdzono, że są one wysoce istotne. Obliczona bowiem wartość testu

$$F_{\text{emp}} \gg F_{0.05,2,80} = 3.11$$

oraz

$$F_{\text{emp}} \gg F_{0.05,2,200} = 3.04$$

Istotność tą można również potwierdzić przez zbadanie istotności współczynników korelacji wielokrotnej, które umieszczono obok każdego równania w tabl. III,28 i 29. Według tablic zamieszczonych np w / 21 / korelacja wielokrotna jest istotną, jeśli dla 80 stopni swobody i poziomu istotności 0.05 przekracza wartość krytyczną $R_{kr} = 0.304$, i dla 200 stopni swobody przekracza $R_{kr} = 0.196$.

Rys.III.32 przedstawia interpretację graficzną "ważonej" regresji dla okresu trzymiesięcznego. Linie regresji naniesiono na wykresie dla trzech poziomów zawartości metalu w nadawie. Na wykresie zaznaczono również punkty empiryczne otrzymane w wyniku pogrupowania całej zbiorowości (z trzech miesięcy) na przedziały klasowe względem zawartości metalu w nadawie α , następnie wewnątrz każdego przedziału dane pogrupowano na przedziały klasowe względem zawartości metalu w koncentracie β . Punkty empiryczne są zgodne z li

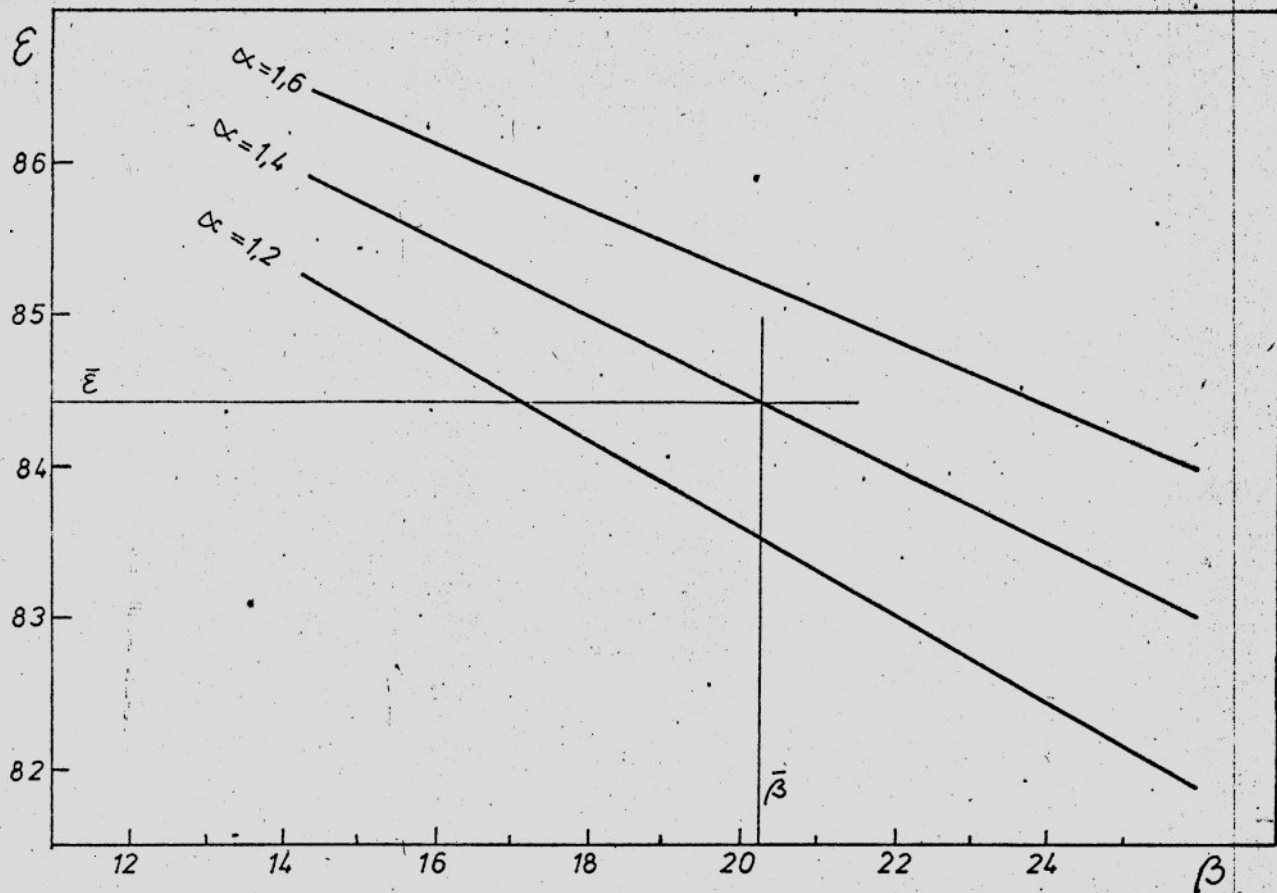
niami regresji opisanymi równaniem :

$$\psi = 0.0111 + 0.1164 \alpha + 0.00285 \beta \quad (50)$$

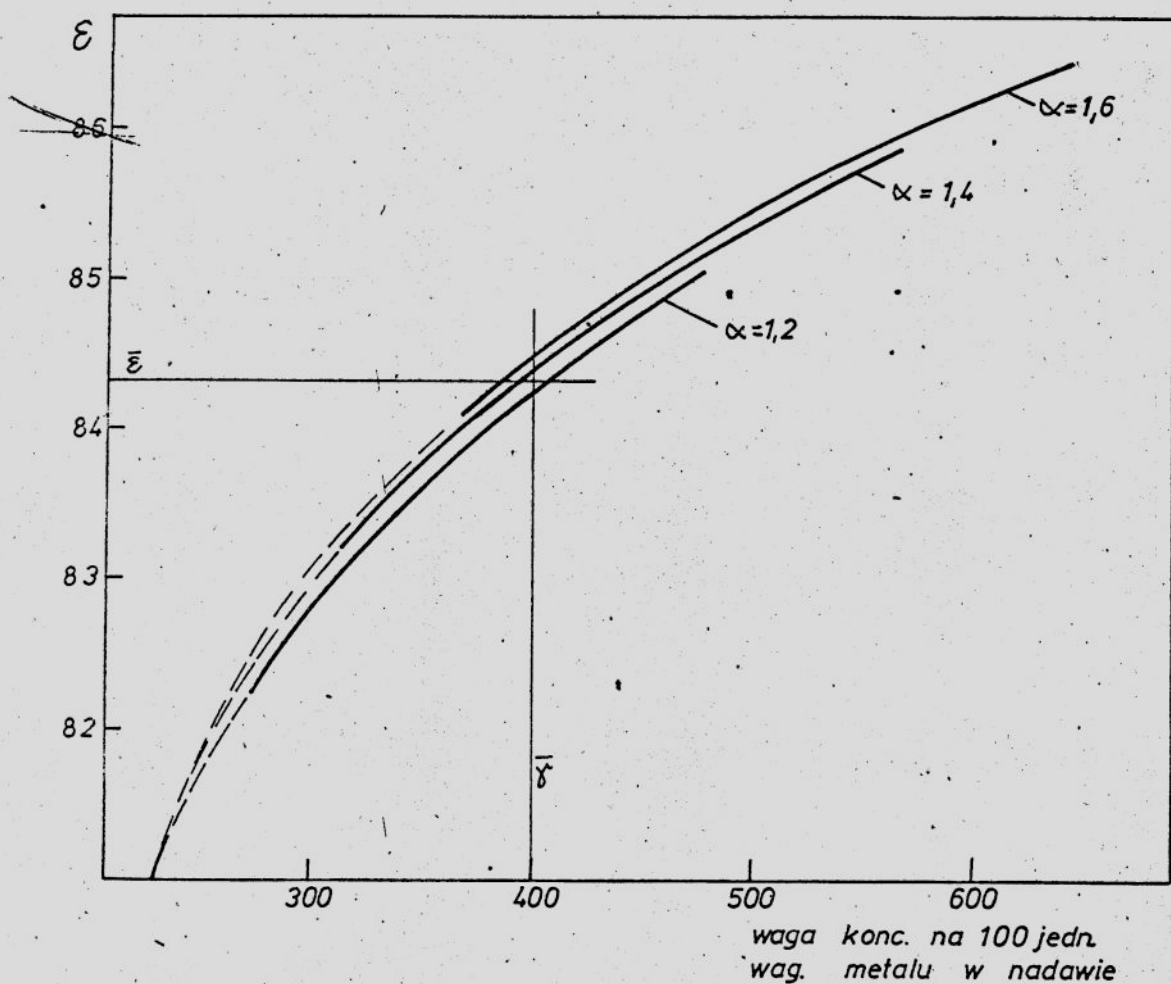
Dalsze rozważania dotyczą już tylko tej zależności, którą oszacowano dla próby obejmującej dane z trzech miesięcy pracy zakładu - zgodnie z wynikami rozważań w rozdz. 3.4.

Rys. III.33 przedstawia omawianą zależność w układzie współrzędnych : zawartość metalu w koncentracie β , uzysk metalu w koncentracie ε .

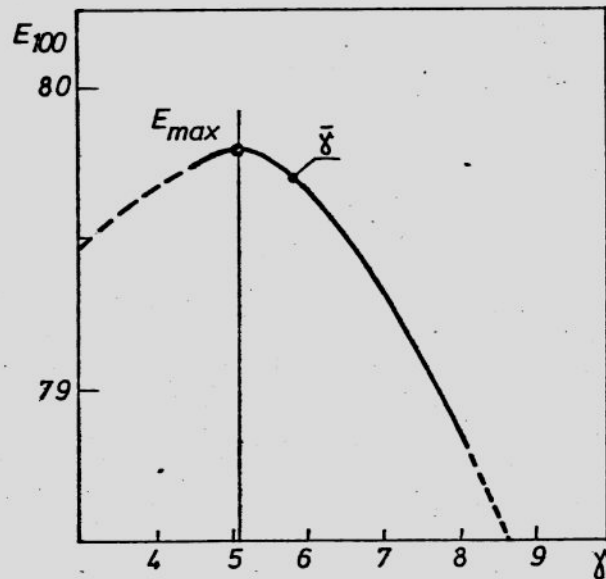
Interpretacją graficzną równania w układzie współrzędnych Della przedstawiono na rys, III.34. Daje się tu zauważyć duże podobieństwo obliczonej krzywej do odcinka krzywej wzbogacalności. Potwierdza się to na rysunkach III.35 i 36, na których powyższe równanie przedstawiono w układach współrzędnych ze skutecznością wzbogacania jako osią rzędnych. Operacji przeniesienia do tych układów współrzędnych dokonano analogicznie jak w przypadku laboratoryjnych charakterystyk wzbogacalności (rozdz. 3.1.). Dane do tych rysunków zestawiono w tablicy III.31. Krzywe na rysunkach III.35 i 36 oraz tab. III.31 dotyczą założonej zawartości metalu w nadawie $\alpha = 1.4 \%$, zatem bardzo zbliżonej do oszacowanej średniej zawartości dla badanej próby. Prawie cała wyznaczona krzywa znajduje się w przedziale na prawo od osobliwego punktu, jakim jest maksymalna wartość skuteczności wzbogacania. Linia przerywaną zaznaczono dane pochodzące spoza obserwowanego zakresu zmienności.



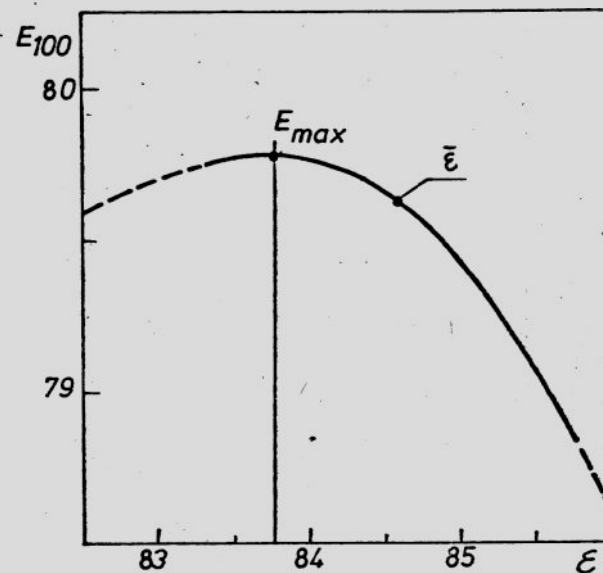
Rys.III.33 Interpretacja graficzna równania regresji (50) w układzie współrzędnych zawartości metalu w koncentracie - uzysk metalu w koncentracie.



Rys.III.34 Interpretacja graficzna równania regresji (50) w układzie współrzędnych Della.



Rys. III.35 Krzywa skuteczności technologicznej dla linii regresji $\alpha=1.4$ z rys. III.32. Wyznaczanie optymalnego technologicznie wychodu koncentratu.



Rys. III.36 Krzywa skuteczności technologicznej jak na rys. III.35. Wyznaczenie optymalnego uzysku.

Dane te otrzymano przez podstawienie do zależności (50) wartości wychodzących poza zakres, dla którego zależność tą wyznaczono. Postępowanie takie sugerują nasuwające się analogie z krzywymi wzbogacalności (rozdz. 3.1), dla których odcinek prostoliniowy był znacznie szerszy niż obserwowany tu zakres zmienności β i γ .

Jeśli równanie (50) opisuje odcinek krzywej wzbogacalności to z rys. III.35 i 36 oraz tabl. III.31 wynika, że proces przemysłowy znajduje się w obszarze flotacji "kontrolnej" (Nixon - Moir), a więc na "bezpiecznym" dla technologii odcinku krzywej wzbogacalności.

Jeśli zatem równanie regresji w postaci :

$$\gamma = a_1 + a_2 \alpha + a_3 \beta$$

dobrze opisuje odcinek krzywej wzbogacalności, można zaproponować zależność tę jako wskaźnik oceniający proces.

W następnym rozdziale zostanie wykazane, iż nie ma podstaw do odrzucenia powyższej konkluzji.

4. Badanie wpływu zmian w technologii na wyniki wzbogacania.

4.1. Zmiany w technologii

W zakładach przeróbczych L G O M technologia wzbogacania podlega ciągłemu udoskonalaniu. Ogólnie ma to na celu podniesienie uzysku metalu w koncentratkach i obniżenie strat metalu w odpadach oraz podniesienie rentowności i przyspieszenie amortyzacji.

Udoskonalenia te polegają przede wszystkim na korektach schematów technologicznych, wprowadzaniu nowych i doskonalszych urządzeń, stosowaniu tańszych i selektywnie działających odczynników flotacyjnych itp.

Po wprowadzeniu każdej modyfikacji w technologii nasuwa się pytanie : jak i w jakim stopniu polepszyły się wyniki procesu oraz czy można wysunąć jakieś wnioski dotyczące dalszej poprawy wskaźników. Za pomocą liniowej zależności regresyjnej wiążącej podstawowe wskaźniki procesu, zaproponowanej w poprzednim rozdziale jako wskaźnik oceniający proces zostanie dokonana analiza trzech przypadków technologii. Przypadek pierwszy, jako sytuacja wyjściowa dotyczy technologii przeanalizowanej statystycznie w rozdziale 3.5. (okres I). Przypadek drugi i trzeci (okres II i III) to kolejne modyfikacje w technologii tego samego zakładu (I ciągu technologicznego). Badane okresy prac

zakładu , czyli zbiorowość wyników zmianowych jako oddzielne próby statystyczne wybrano w sposób omówiony w rozdz. 3.2. Okresy pracy zakładu były między sobą dość odległe tak, że technologia po wprowadzeniu zmian była w miarę ustabilizowana.

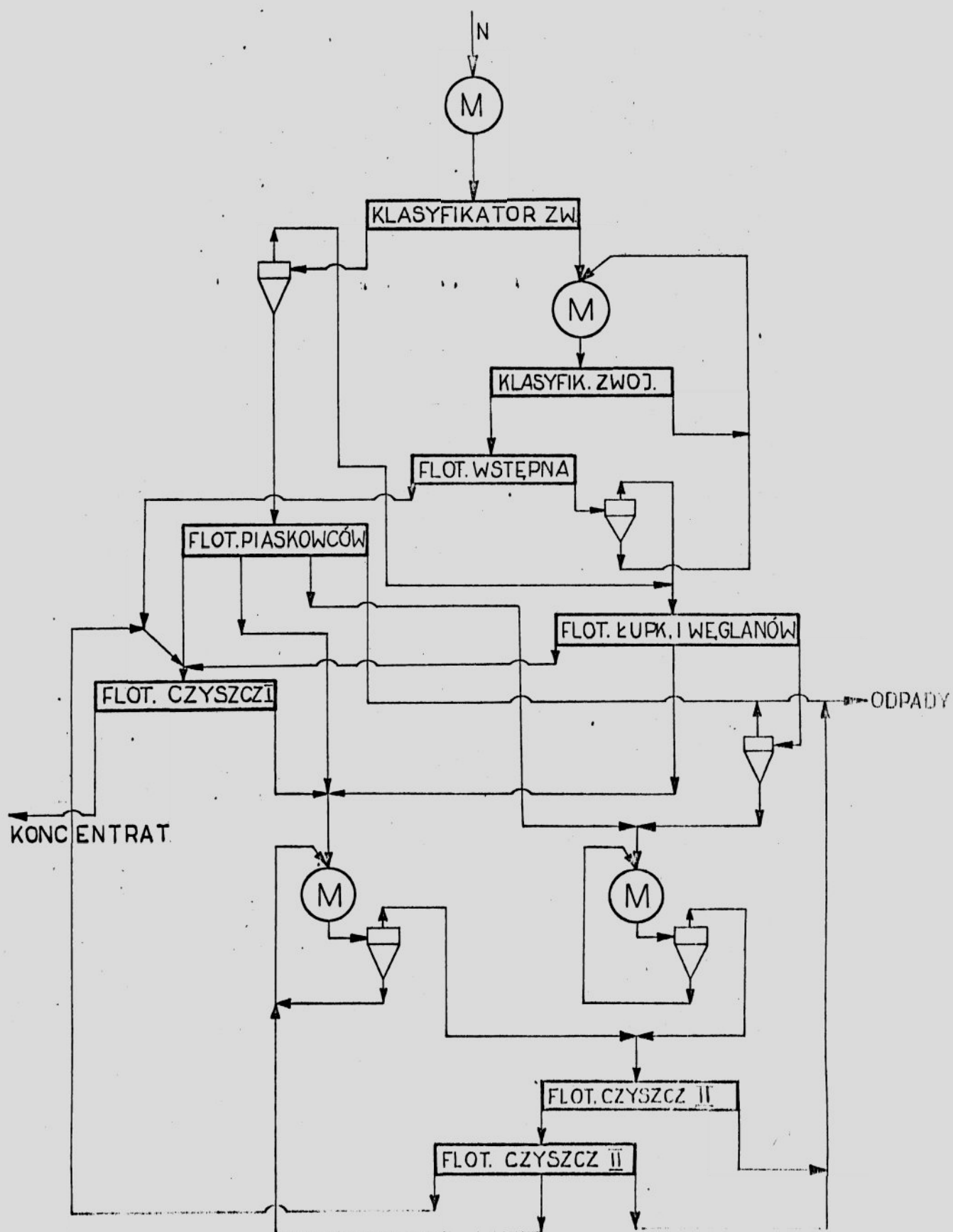
Technologię w badanych okresach można scharakteryzować w sposób następujący :

Okres I : technologia przebiegała zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. III.11, jako odczynnik pianotwórczy stosowano odczynnik AC (mieszanina alkoholi ciężkich).

Okres II: technologia przebiegała według takiego samego schematu jak w okresie I ale zmieniono odczynnik pianotwórczy. Był nim odczynnik AD + TM (mieszanina alkoholu dwuacetonowego z tlenkiem mezytylu).

Okres III: odczynnik pianotwórczy stosowano ten sam jak w okresie II (AD + TM), zmieniono natomiast schemat technologiczny głównie przez wprowadzenie flotacji wstępnej w obiegu mielenia. Schemat procesu po tej korekcie przedstawiono na rys. IV.1.

Zmiana w technologii polegająca na wprowadzeniu innego odczynnika pianotwórczego (AD + TM) wynikała z faktu, że odczynnik ten okazał się jednym z najlepszych i najkorzy-



Ryn.IV.1 Schemat jakościowy I ciągu technologicznego Z W R "Lublin" po zmianie schematu (III okon).

stniejszym dla rud miedzi w L G O M. Stwierdzono to na podstawie porównawczych badań dziesiątków rodzajów odczynników.

Idea zmiany w technologii polegającej na wprowadzeniu flotacji wstępnej w obieg mielenia wynika z tąd, że w układzie młyn kulowy - klasyfikator zwojowy stwierdzono dość znaczną ilość cyrkulujących uwolnionych ziarn siarczków miedzi. Ziarna te, mimo że były mniejsze od wielkości ziarna podziałowego nie przechodziły do przelewu klasyfikatora i hydrocyklonu, a ze względu na duży ciężar powracały do młyna i były niepotrzebnie przemielane. Skierowanie przelewu klasyfikatora do małej maszyny flotacyjnej, w której koncentrat skierowano bezpośrednio do flotacji czyszczącej a odpady klasyfikowano w hydrocyklonie, wyeliminowały z układu mielenia i klasyfikacji ziarna siarczków już uwolnionych. Wylew z hydrocyklonu zawrócono do młyna, natomiast przelew skierowano do flotacji głównej (Rys. IV.1).

4.2. Analiza statystyczna prób technologicznych.

Wybrane próby czyli trzy zbiorowości czynników zmianowych (każda z trzech miesięcy pracy zakładu) poddano analizie, której wyniki zestawiono w tablicach. Tablice IV.1 do 3 zawierają oszacowane podstawowe parametry statystyczne dla kolejnych prób (okresów). Dla ułatwienia porównań^z próbą wyjściową (okres I) w tablicach umieszczono również niektóre wyniki obliczeń przedstawione w rozdz.3.5. Przy porównaniu kolejnych prób dają się zauważyć istotne różnice w parametrach statystycznych odpowiednio do zmian w technologii. Wyjątkiem są tu jedynie parametry statystyczne wskaźnika - zawartości metalu w nadawie, które wskazują, że ruda kierowana do zakładu w badanych okresach była w przybliżeniu jednakowa. Potwierdziły to również obserwacje czynione bezpośrednio w zakładzie.

Srednia zawartość metalu w koncentracie w kolejnych próbach jest coraz niższa ; parametry zmienności tego wskaźnika nieznacznie się tylko zmieniają.

Srednia zawartość metalu w odpadach również jest coraz niższa, ale odchylenia standardowe wyraźnie maleją przy wzrastających współczynnikach zmienności. W związku z tym uzysk metalu w koncentracie jako silnie skorelowany z zawartością metalu w odpadach, podnosi się w kolejnych okresach również ze zmniejszaniem zawartości współczynników zmienności. Współczynniki korelacji całkowitej oszacowane

dla poszczególnych prób potwierdzają wnioski z poprzednich rozdziałów.

Równania regresji wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów wraz z ich analizą zestawiono w tablicy IV.4. Równania te dla kolejnych prób przybierały następujące postacie:

$$\text{Okres I : } \mathcal{Y} = 0.0111 + 0.1164\alpha + 0.00285\beta, \quad (50)$$

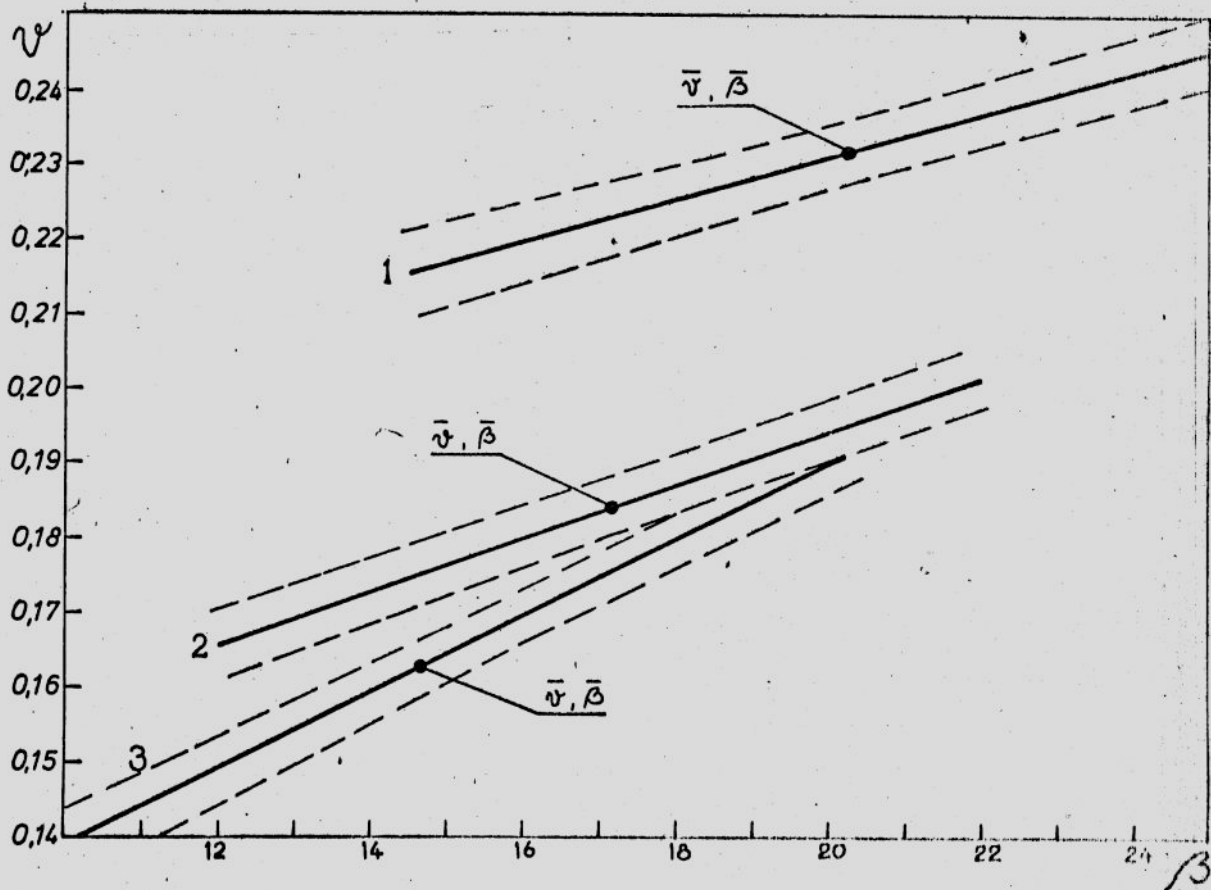
$$\text{Okres II : } \mathcal{Y} = 0.0242 + 0.0704\alpha + 0.00358\beta, \quad (51)$$

$$\text{Okres III: } \mathcal{Y} = 0.0431 + 0.0314\alpha + 0.00516\beta. \quad (52)$$

Równania te posiadają wszystkie współczynniki regresji istotne oraz same są również istotne. Zbadano to testem t oraz testem F . Oszacowania korelacji wielokrotnej jako miary zależności między $\mathcal{Y}$ i całkowitym efektem pozostałych zmiennych działających łącznie - są istotne.

Współczynniki w równaniach (50), (51) i (52) zmieniają się regularnie wraz ze zmianami w technologii. O ile współczynniki a_1 i a_3 w kolejnych przypadkach zwiększają swą wartość to współczynniki a_2 zmniejszają się. Jest to zgodne z kierunkiem zmian wartości omówionych już współczynników zmienności. Określone 95 % - towe przedziały ufności dla kolejnych równań ulegają pewnemu zawężeniu.

Interpretację graficzną wyznaczonych równań przedstawiono na rys. IV.2. Wykresy te sporządzono dla założonej stałej wartości metalu w nadawie $\alpha = 1.4 \%$. Przy każdej linii regresji zaznaczono oszacowane 95 % - towe przedziały ufności oraz punkty opisujące wartość średnią badanych



IV.2 Interpretacja graficzna równań regresji
z tabl. IV.4 dla $\alpha=1.4$ - 3 okresy.

wskaźników.

Wszystkie podane wyniki obliczeń otrzymano z uwzględnieniem przerobów rudy jako "wag" przypisanych każdej zmiennej.

Z przedstawionej analizy statystycznej trzech prób technologicznych wynika, że kolejne zmiany w technologii powodowały zmniejszenie się wpływu zawartości metalu w nadanie na wyniki procesu przy równoczesnym zwiększeniu się wpływu zawartości metalu w koncentracie.

4.3. Interpretacja wyników procesu przemysłowego ;

porównanie z laboratoryjnymi charakterystykami

wzbogacalności.

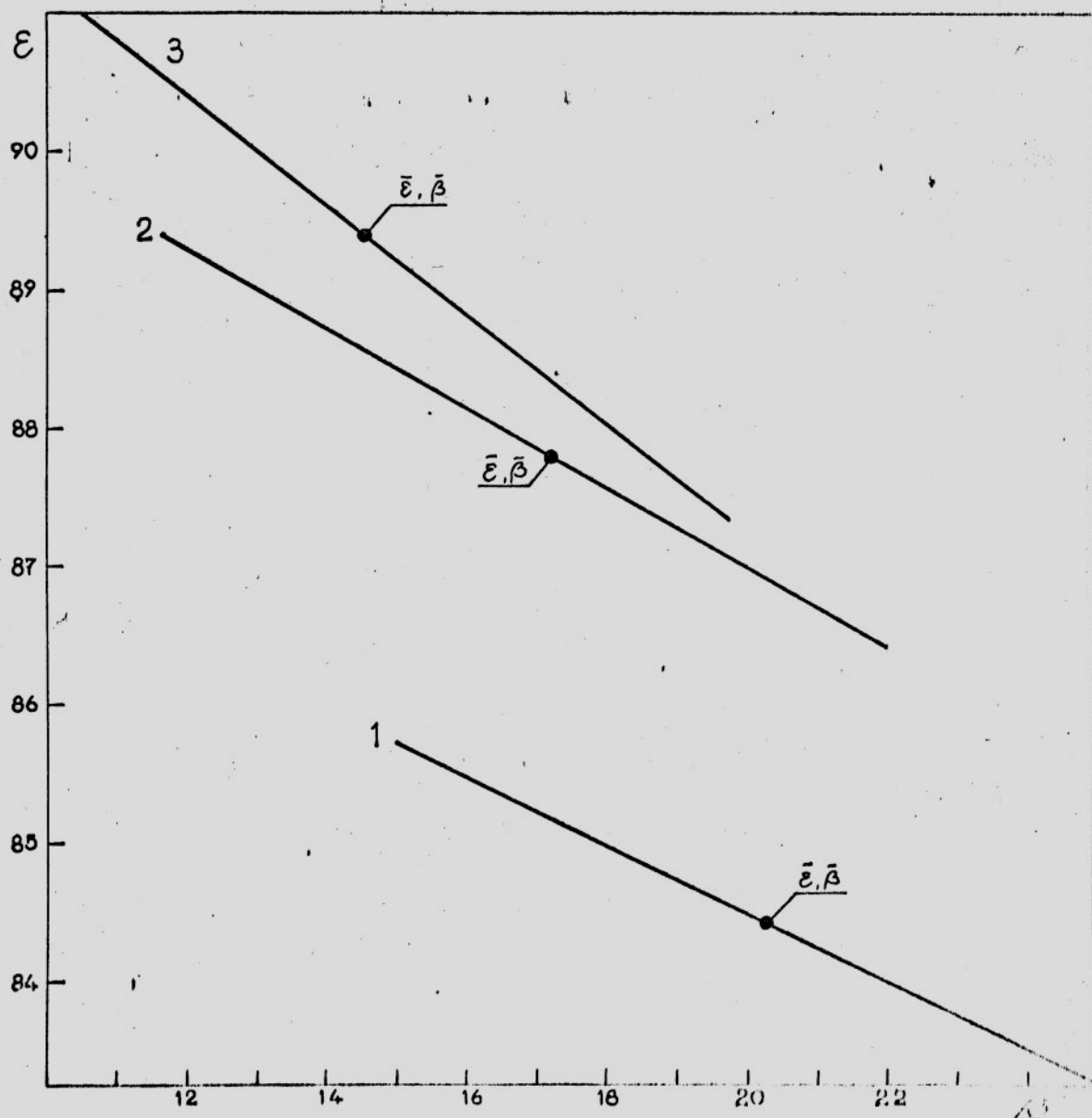
Dokonana analiza statystyczna wyników trzech kolejnych prób technologicznych charakteryzujących się różną technologią wykazała, że zmiany w technologii wywołują regularne zmiany w parametrach statystycznych oszacowanych dla takich zbiorowości. Zwiększający się, w kolejnych okresach kąt nachylenia prostych regresji (rys.IV.2), wskazuje na to, że technologiczny proces wzbogacania przebiega początkowo w sposób zawsze jednakowy niezależnie od warunków procesu. Przy końcu swego przebiegu charakterystyka wzbogacania zaczyna odzierciedlać konkretne warunki. Szczególnie wyraźnie daje się to zauważyć przy porównaniu badanych okresów II i III, gdzie stwierdza się zachodzenie na siebie oszacowanych linii regresji wraz z ich przedziałami ufności - w kierunku zwiększającej się zawartości metalu w koncentracie. Potwierdzają to te same linie regresji przeniesione do innych układów współrzędnych np. do układu współrzędnych Della (rys. IV.6). Po nieznacznym przedłużeniu linii regresji na rys. IV.2 i przeniesieniu ich do układu współrzędnych Della otrzymujemy krzywe bardzo podobne w swym kształcie do krzywych wzbogacalności. Krzywe te silnie zakrzywiają się w kierunku

zmniejszającego się wychodu zdążając do jednej wspólnej krzywej.

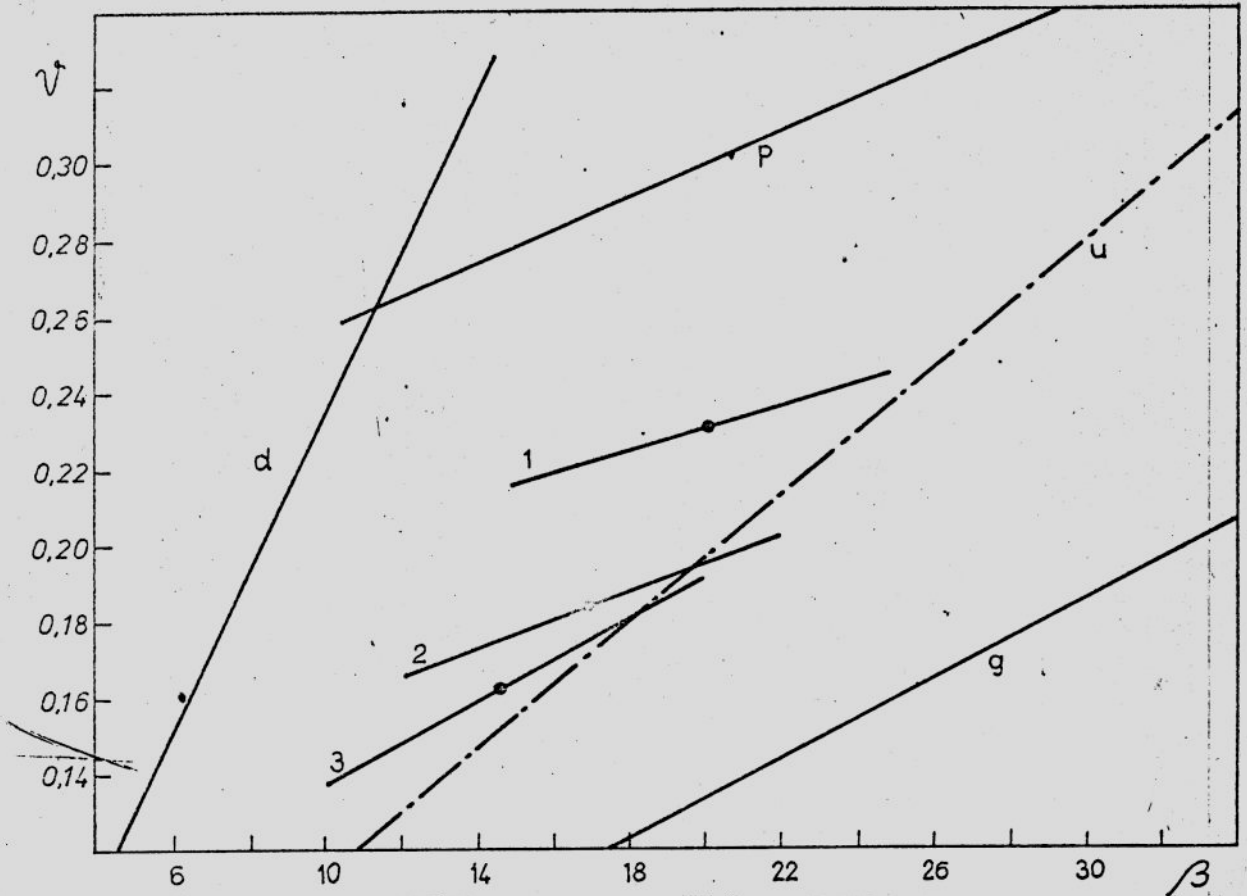
Również w układzie współrzędnych zawartość metalu w koncentracie β , uzysk metalu w koncentracie ε można zauważyć podobne tendencje (rys. IV.3).

Na rysunkach IV.4 i IV.5 dokonano porównań linii regresji opisanych równaniami (50), (51) i (52) z krzywymi wzbogacalności dla rudy lubińskiej omawianymi w rozdz. 3.1. Na rysunkach III. 6 i III.7 przedstawiającymi skrajne krzywe wzbogacalności lubińskiej rudy miedzi naniesiono linie regresji z rys. IV. 2 i IV.3.

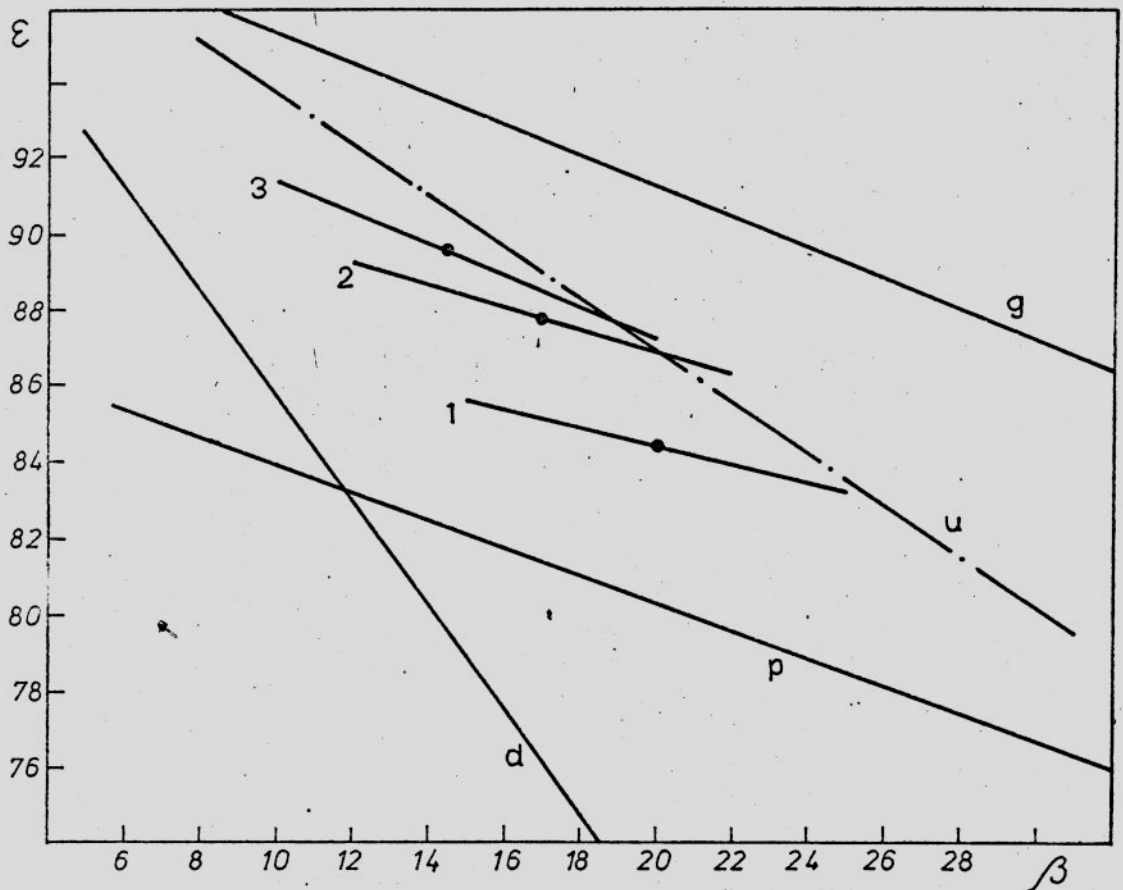
Przebieg linii charakteryzujących proces przemysłowy w stosunku do skrajnych krzywych wzbogacalności wskazuje na pewne reguły. Wyznaczone statystycznie dla wyników przemysłowych proste znajdują się mniej więcej w środku obszaru ograniczonego skrajnymi krzywymi wzbogacalności, wyznaczonymi w warunkach laboratoryjnych. Linia 1, opisująca pierwszy z badanych okresów pracy zakładu jest prawie równoległa do linii "p" przedstawiającej krzywą wzbogacalności dla procesu mało selektywnego. Okres pierwszy charakteryzował się między innymi stosowaniem odczynnika pianotórczego AC. Jak bowiem stwierdzono w pracy / 34 / dla odczynników pianotwórczych o długim łańcuchu obserwuje się małą selektywność. Odczynniki takie (AC do nich należy) po krótkim czasie flotacji zaczynają się zachowywać jak konkurencyjny względem ksantogenianu zbieracz, jednak małą sele-



IV.3 Interpretacja graficzna równań regresji
z tabl. IV.4 w układzie współrzędnych
 $\beta - \epsilon$, $\alpha = 1.4\%$ - 3 okresy.



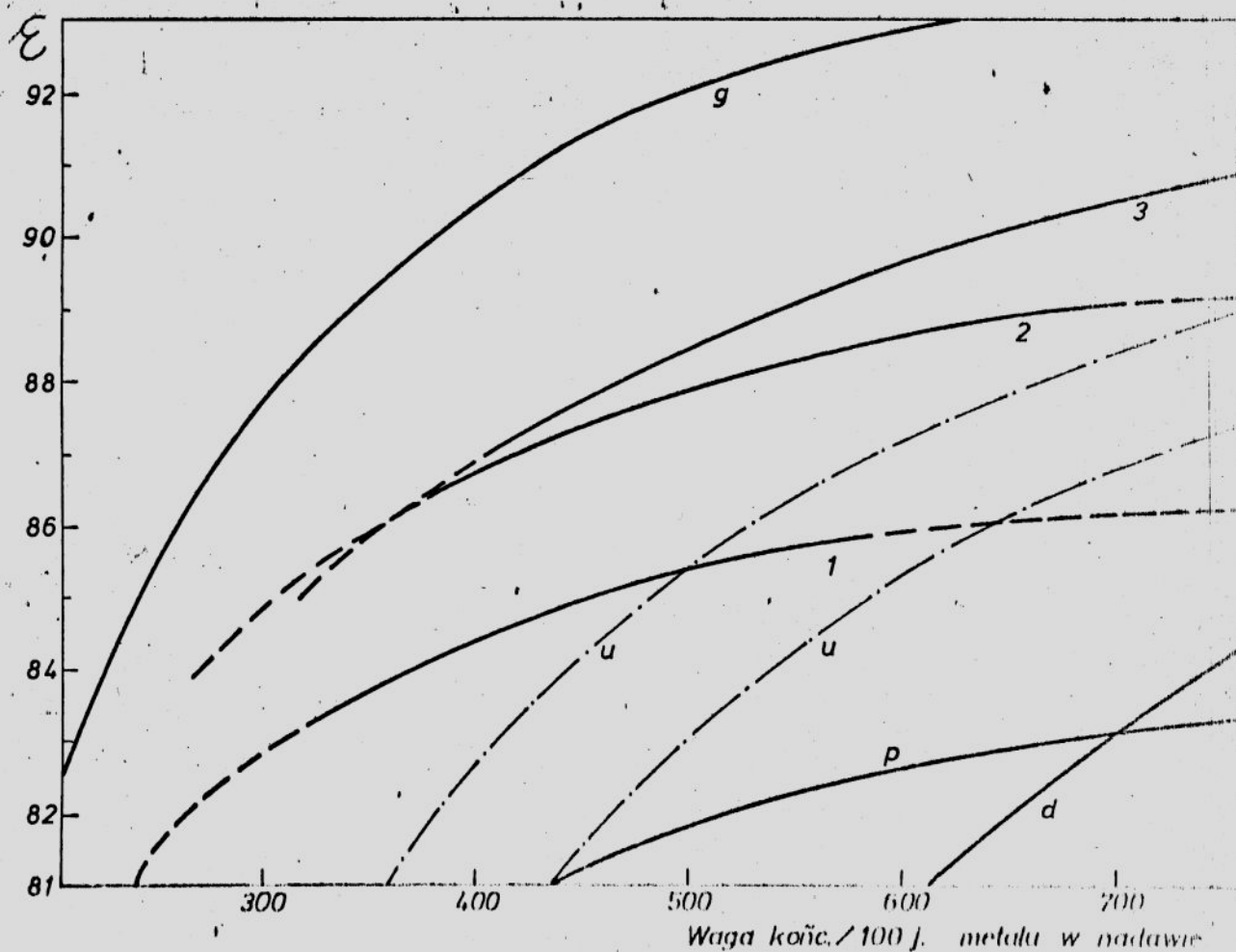
Rys. IV.4 Porównanie skrajnych krzywych wzbogacalności z rys III.7 z otrzymanymi liniami regresji dla wyników przemysłowych 1,2,3 -linie z rys. IV.2.



Rys. IV.5 Porównanie skrajnych krzywych wzbogacalności z rys. III.6 z liniami regresji dla wyników przemysłowych w układzie jakość koncentratu - uzysk metalu w koncentr. Linie 1,2 i 3 są liniami z rys. IV.3.

ktywny (wyniki badań przedstawione na rys III.3 rozdz.3.1).

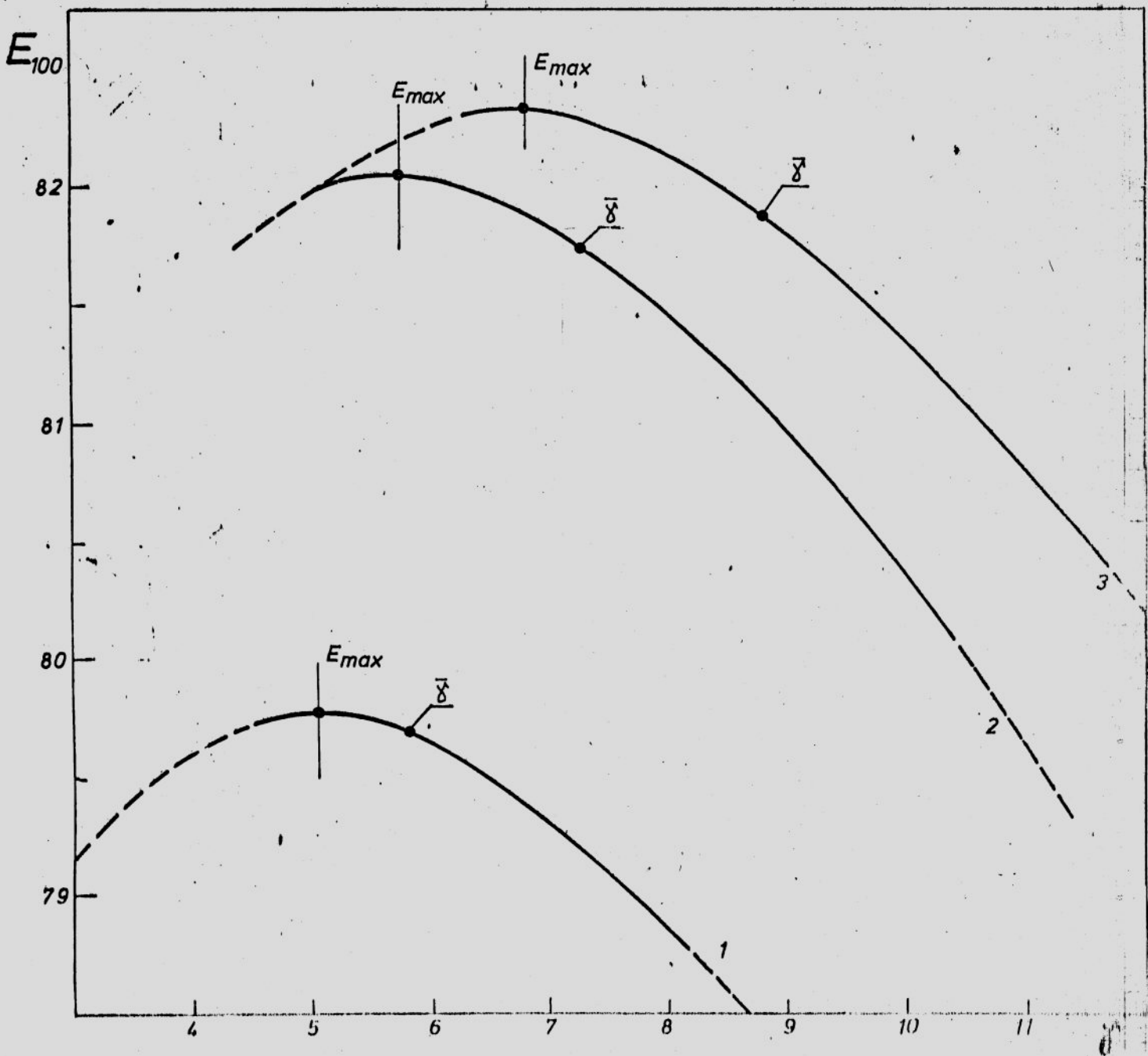
Linia 2 na rys IV.4 i IV.5 nieznacznie się odchyła w swym kierunku od krzywej "p" ale znacznie przesuwa się w kierunku wyższego uzysku. Wskazuje to na znaczne podwyższenie selektywności procesu (wprowadzenie odczynnika AD+ TM) przy mniej więcej podobnym jak w przypadku linii 1 stopniu uwolnienia (nachylenie). Linia "u" jest pośrednią krzywą uwalniania między krzywymi wzbogacalności "g" i "d". Do tej krzywej bardzo zbliża się swym kierunkiem przebiegu prosta 3 odnosząca się do zbadanego III okresu pracy zakładu. W stosunku do okresu II podwyższyła się selektywność procesu co można stwierdzić porównując obie linie przy stałym uzysku. Silne zwiększenie nachylenia linii 3^N w stosunku do dwóch poprzednich i zbliżenie się jej do kierunku krzywych uwalniania "u" świadczyć może o zbliżeniu się charakterystyki procesu technologicznego do optymalnej (dla danego stopnia uwolnienia) krzywej wzbogacalności. Zgodnie z tym, co powiedziano w rozdz. 4.1 zmiany w charakterystyce procesu nie powinny wynikać z "poprawy" procesu uwalniania, a z faktu wyeliminowania z procesu flotacji utrudniających wzbogacenie bardzo drobnych przemielonych ziarn siarczków miedzi. Przedstawione na rys IV.6 charakterystyki laboratoryjne i technologiczne układzie współrzędnych Della wskazują, że w miarę doskonalenia technologii zależności między podstawowymi wskaźnikami procesu przemysłowego zbliżają się swym przebiegiem do najlepszej krzywej wzbogacalności. Krzywa 3^N (okres III) zbliża się do krzywych uwal-



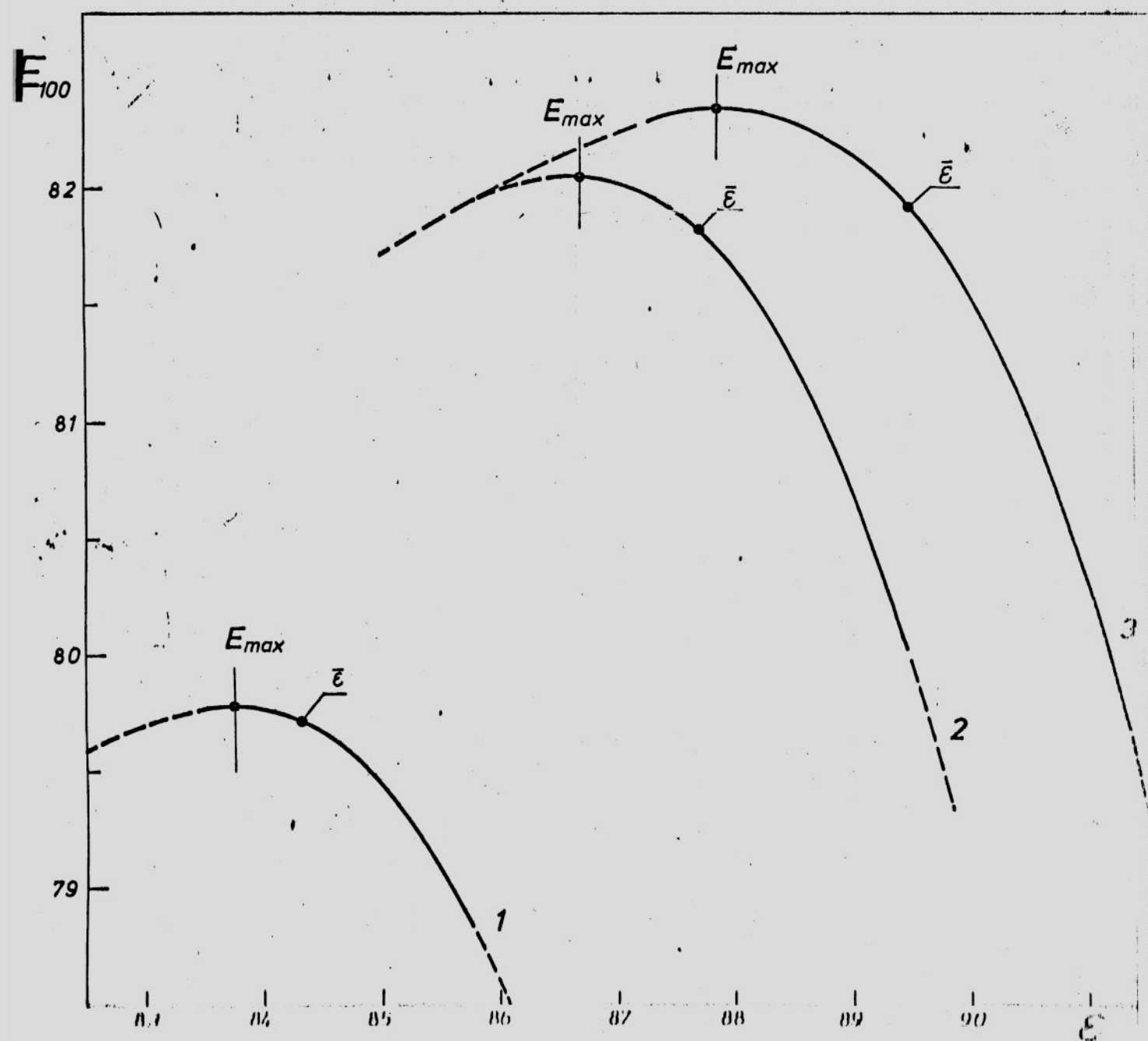
Rys. IV.6 Równania regresji (50, 51 i 52) z tabl. IV.4
w układzie współrzędnych Dolla wraz z krzywymi
"g", "d" i "p" z rys. III.2 i III.3.

niania dla czystej rudy piaskowcowej. Wartości średnie badanych wskaźników dla kolejnych okresów pracy zakładu leżą natomiast niemal dokładnie na jednej z krzywych uwalniania (najlepiej obrazuje to rys.IV.4).

W tablicach IV.5 i IV.6 przedstawiono przeliczenie wybranych punktów linii opisanych równaniami (51) i (52) na wskaźnik skuteczności wzbogacania. Zależność tego wskaźnika od obliczonego wychodu i uzysku przedstawiono na rys. IV.7 i IV.8. Jak można zauważyć punkty osobliwe (E_{max}) znajdują się zawsze wewnątrz zakresu zmienności wskaźników procesu ale na jego skraju. W miarę udoskonalania technologii skuteczność wzbogacania wyraźnie wzrasta. Charakterystyki skuteczności wzbogacania całe przesuwają się na prawo niemal równolegle. Można to stwierdzić przy porównaniu wartości wskaźników procesu przy stałej skuteczności wzbogacania. Wskaźniki średnie dla okresów II i III jednak nie znacznie zmieniają wartość swej skuteczności wzbogacania. Wynikło to stąd, że w okresie III w zakładzie dokonano celowego obniżenia jakości koncentratu kosztem zwiększenia wychodu w celu znacznego podwyższenia uzysku. Z rys IV.8 widać, że spowodowało to "oddalenie" się wartości średniej uzysku od punktu w którym skuteczność wzbogacania ma wartość maksymalną. Można przypuszczać, że porównanie współrzędnych punktów E_{max} będzie pewną obiektywną miarą efektów wprowadzonych zmian w technologii niezależnie od uzyskanych wartości średnich wskaźników procesu.



Rys. IV.7 Krzywe skuteczności technologicznej dla linii regresji jak na rys. IV.2. Wyznaczenie optymalnego technologicznego wychodu koncentratu.



Rys. IV.8 Krzywe skuteczności technologicznej dla linii regresji jak na rys. IV.2. Wyznaczenie optymalnego technologicznie użycia metali w koncentracji.

Podsumowując, należy stwierdzić, że wszystkie dane uzyskane z liniowej zależności regresyjnej wiążącej podstawowe wskaźniki procesu flotacji przemysłowej, wskazują, że zależności te opisują najważniejszy odcinek charakterystyki wzbogacalności. Charakterystyka ta wyraźnie odzwierciedla warunki i przebieg procesu.

Informacje jakie można uzyskać z takiej zależności pozwalają, w sposób obiektywny ocenić przebieg technologicznego procesu wzbogacania. Można zatem zależność tą uznać za użyteczny i obiektywny wskaźnik oceny procesu.

5. Omówienie wyników

Przedstawione rozważania i przykłady obliczeniowe pozwalają na pewne uogólnienia natury metodologicznej i merytorycznej.

Analizę procesu wzbogacania rud miedzi z rejonu Lubina rozpoczęto od prześledzenia obiektywnych praw rządzących procesem wzbogacania. Posłużono się w tym celu opracowanym obrazem wzbogacalności tej rudy (rys III.1 i III.2). Obraz ten syntetyzuje wszechstronne badania zachowania się rud miedzi z rejonu Lubina w procesie wzbogacania. Stwierdzono możliwość istnienia trzech skrajnych przypadków przebiegu krzywych wzbogacalności. Zauważono, że krzywe te przedstawione w układzie współrzędnych zawartości metalu w koncentracji β (odcięte), zawartość metalu w odpadach ϑ (rzędne) w zakresach realnych dla procesów przemysłowych są bardzo zbliżone do linii prostych (rys III.5 i III.7). Podobną prawidłowość stwierdzono w układzie współrzędnych zawartość metalu w koncentracji, uzysk metalu w koncentracji.

Przebieg przemysłowego procesu wzbogacania rud miedzi badano przy pomocy analizy statystycznej wyników zmianowych procesu pochodzących z Zakładu Wzbogacania Rud Z.G Lubin (I ciąg technologiczny).

Wstępne opracowanie wybranego materiału statystycznego potwierdziło znany fakt, że zastosowanie metod analizy statystycznej do badania przemysłowych procesów wzbogacania

wymaga indywidualnego podejścia do danych w oparciu o znajomość fizyki procesów przeróbczych. Stosowanie czysto formalistycznej metodyki obliczeń może prowadzić do fałszywych wniosków.

Stwierdzono zgodność rozkładów prawdopodobieństwa podstawowych wskaźników technologicznych (traktowanych jako zmienne losowe) z rozkładami normalnymi. Upoważnia to do stosowania metod statystycznych wymagających takich rozkładów. Metody te zakładają liniowy charakter związków pomiędzy badanymi cechami.

Analiza korelacyjna różnych prób statystycznych stanowiących kombinacje (okresowe i ilościowe) zbiorowości wyników zmianowych wykazała, że dane te mogą zawierać wiele informacji o procesie i można je wykorzystać do oceny jego przebiegu.

Zauważono, że najkorzystniejszą objętością próby dla przeprowadzonych badań jest zbiorowość wyników zmianowych z trzech miesięcy pracy zakładu. Nie wyklucza się przy tym celowości badań statystycznych mniejszych i większych prób.

Wykazano, że liniowa zależność regresyjna wiążąca bezpośrednio "mierzalne" wskaźniki procesu tzn: zawartość metalu w koncentracie, zawartość metalu w nadawie i zawartość metalu^{lw} w odpadach będzie najlepszym równaniem aproksymującym związki pomiędzy podstawowymi wskaźnikami przemysłowego wzbogacania rud miedzi.

Równanie to ma następującą postać :

$$y = a_1 + a_2 \alpha + a_3 \beta$$

i wyznacza się metodą najmniejszych kwadratów. Przy wyznaczaniu parametrów tego równania celowym jest uwzględnienie wielkości przerobów rudy, które są przypisane każdemu wynikowi zmianowemu.

Równanie takie może być skutecznym narzędziem oceny przebiegu procesu. Jak pokazano na przykładach, jego parametry statystyczne zawierają istotne informacje o pracy zakładu wzbogacania. W związku z tym zaproponowano wykorzystać omawianą zależność ilościową jako wskaźnik oceny procesu.

Wskaźnik ten posiada pewien sens fizyczny. Wykazano bowiem, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że proponowana zależność regresyjna opisuje odcinek krzywej wzbogacalności odpowiadającej konkretnym warunkom technologii.

Dla ilustracji tego stwierdzenia dokonano porównania interpretacji graficznej równań regresji uzyskanych dla wyników zmianowych pochodzących z ZWR "Lubin", z krzywymi wzbogacalności rudy miedzi z rejonu Lubina. Porównanie to uwiaryściło dużą zgodność przebiegu procesu przemysłowego z laboratoryjnymi charakterystykami wzbogacalności (rys. IV. 4).

Ułatwieniem jest tu omówiony uprzednio fakt, że skrajne krzywe wzbogacalności dla rudy lubińskiej w układzie współrzędnych β, ν , dla porównywalnych z wynikami przemysłowymi zakresów zmienności β są liniami prostymi.

Przy pomocy proponowanego wskaźnika przeanalizowano

trzy różne przypadki technologii. Analizę tą można potraktować jako ocenę oddziaływania na proces dwóch czynników : zmiany jakości odczynnika oraz zmiany w układzie (schemacie) wzbogacania. Pierwszy przypadek technologii należy uważać za punkt odniesienia.

Ze względu na ważne aspekty praktyczne tego zagadnienia celowym wydaje się dokładniejsze omówienie skutków oddziaływania tych czynników na technologiczne wyniki procesu. Skutki te proponowany wskaźnik ujmuje ilościowo i przy jego pomocy można dokonać oceny, która umożliwi realizację przedsięwzięć zmierzających do dalszych udoskonaleń procesu.

Wprowadzenie nowego odczynnika pianotwórczego (AD + TM) wywołało znaczne podwyższenie uzysku skutkiem poważnego obniżenia zawartości metalu w odpadach. Zakres zmienności zawartości metalu w koncentracie nie zmienił się i w znacznym obszarze pokrywa się z zakresem zmienności w poprzedniej technologii - kiedy stosowano odczynnik AC. Jednak oszacowana wartość średnia β zmniejszyła się istotnie. Dla proponowanego wskaźnika oceny fakt ten nie stanowi przeszkody do porównań i można wykazać, że dla przyjętej w obu przypadkach stałej zawartości metalu w koncentracie (np. 20 %) w nowej technologii możliwe jest podwyższenie uzysku o około 2.5 %. Wartość tą można wyliczyć ze wskaźników ilościowo oszacowanych dla obu technologii a zatem z równań:

$$\varphi_1 = 0.0111 + 0.1164\alpha + 0.00285\beta \quad (\text{AC})$$

$$\varphi_2 = 0.0242 + 0.0704\alpha + 0.00358\beta \quad (\text{AD+ TM})$$

Podstawiając za β i α odpowiednie założone β_0 i α_0 otrzymamy $\mathcal{V}_{0_1}$ i $\mathcal{V}_{0_2}$, z których łatwo można obliczyć uzyski $\mathcal{E}_{0_1}$ i $\mathcal{E}_{0_2}$.

W konkluzji stwierdzamy, że istotne zmiany we współczynnikach regresji i kierunkach tych zmian są dowodem potwierdzającym znaczną poprawę wyników, którą uzyskano przez wprowadzenie odczynnika AD + TM.

Drugi badany czynnik to zmiana w schemacie procesu. Czynnik ten spowodował dalsze polepszenie technologii. W zakresach zmienności β , porównywalnych z obu poprzednimi przypadkami nastąpiło dalsze podwyższenie uzysku. Proponowany wskaźnik oceny przyjmuje następującą postać :

$$\mathcal{V}_3 = 0.0431 + 0.0314\alpha + 0.00516\beta$$

Porównanie oszacowanej wartości $\mathcal{V}_3$ i $\mathcal{V}_2$ (a tylko takiego porównania wskaźnika $\mathcal{V}_3$ wolno dokonać, ze względu na rzeczywisty zakres zmienności wskaźników oraz na odczynnik AD + TM) wskazuje na fakt, że wprowadzona zmiana w schemacie technologicznym spowodowała znacznie większą "czułość" wyników procesu na zmiany zawartości metalu w koncentracie. Równocześnie uległ zmniejszeniu wpływ zawartości metalu w nadawie. Współczynnik nachylenia przy β , w stosunku do poprzedniej technologii wzrósł znacznie silniej niż to obserwowano przy porównaniu dwóch pierwszych technologii.

Podobne zmiany we współczynnikach regresji przy analogicznych zależnościach ilościowych zauważył Dell badając

wpływ stopnia uwolnienia siarczków miedzi na wzbogacalność rud miedzi / 16 / .

Również w omawianym trzecim przypadku technologii zmiany we współczynnikach należy tłumaczyć stopniem uwolnienia. Dokonane zmiany wschemacie miały na celu wyprowadzenie z układu mielenia i klasyfikacji cyrkulujących uwolnionych i zbędnie przemielanych ziarn siarczków miedzi. A więc przyczyną korzystniejszej wartości wskaźnika oceniającego proces jest nie lepsze uwalnianie a wyeliminowanie zbędnego przemielenia. Wiadomo, że przemielanie ziarn minerału użytecznego jak i składników płonnych wpływa na flotację bardzo niekorzystnie / 31 / .

Porównanie wskaźnika oceniającego proces podobnie jak w analizie pierwszego czynnika przy stałej założonej zawartości metalu w koncentracie (np $\beta = 16 \%$) wskazuje, że czynnik ten wywołuje wzrost uzysku o ok. 1 %. Ze spadkiem zawartości metalu w koncentracie uzysk wzrasta znacznie silniej po wprowadzeniu flotacji wstępnej w obieg mielenia niż przed tą korektą schematu. Porównanie wskaźników oceny dla drugiego i trzeciego przypadku technologii przy założonym stałym uzysku (lub założonej zawartości metalu w odpadach) (np $\Sigma = 89 \%$) wskazuje, że wraz z omawianą zmianą w schemacie technologicznym można się spodziewać wzrostu zawartości metalu w koncentracie rzędu 2 % .

Wracając do porównań wyników przemysłowych z laboratoryjnymi charakterystykami wzbogacalności stwierdza się,

że obserwowany przebieg charakterystyki liniowej w trzecim badanym przypadku technologii wskazuje na zbliżanie się jej do "ekstremalnej" górnej granicy wzbogacalności.

Analizę wpływu badanych czynników przeprowadzić można również za pomocą graficznej interpretacji omówionych równań (rys IV.2. i IV.3), jak również wykorzystując graficzne przekształcenia tych interpretacji (rys IV.6 do IV.8). Wykresy te jednoznacznie uwiadamiają, że wprowadzone kolejno zmiany w technologii przyczyniły się do istotnej poprawy wyników procesu.

Równocześnie z materiału zamieszczzonego w pracy wynika, że przedstawiona metoda analizowania wpływu poszczególnych czynników na proces technologiczny w zakładzie wzbogacania rud miedzi może zostać uogólniona i powinna znaleźć zastosowanie do badania wpływu innych czynników. Stworzy to podstawy do budowy modelu matematycznego procesu wzbogacania rud miedzi.

6. W n i o s k i

1.

Podstawowe wskaźniki technologiczne charakteryzujące przemysłowy proces wzbogacania (zawartość metalu w nadawie, koncentracie i odpadach, uzysk i wychód koncentratu) traktowane jako zmienne losowe, mają w zakresie wartości następujących podczas eksperymentu biernego - rozkłady zbliżone do normalnych. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie, do badania procesu metod korelacji i regresji, zakładających liniowość związków.

Wyniki zmianowe zestawione w duże próby statystyczne zawierają istotne informacje o przebiegu procesu.

2.

Zależność między podstawowymi wskaźnikami procesu wzbogacania rud miedzi (zawartość metalu w nadawie, w koncentracie i odpadach) można przedstawić w postaci korelacji liniowej. Dla zawartości metalu w koncentracie w zbliżającej się do maksymalnej teoretycznej zawartości w czystym minerale ($\beta \rightarrow \beta_t$) zależności te przestają być liniowe.

3.

Liniową zależność regresyjną wiążącą podstawowe wskaźniki technologiczne przemysłowego procesu wzbogacania rud miedzi, wyznaczoną na podstawie wyników zmianowych można uznać za wskaźnik oceniający proces.

4.

Proponowany wskaźnik oceny procesu wzbogacania posiada sens fizyczny. Wykazano, że wskaźnik ten jako liniowe równanie regresji odpowiada odcinkowi krzywej wzbogacalności odzwierciedlającej konkretne warunki technologii.

5.

Posługując się znalezionymi zależnościami (wskaźnikiem oceny procesu), możliwe jest przy konkretnej technologii kierowanie procesem. Wykazano to na podstawie przebadania wpływu na proces dwóch czynników: zmiany jakości odczynnika flotacyjnego i zmiany w schemacie technologicznym wzbogacania.

6.

Przedstawiona analiza wpływu na proces dwóch czynników na przykładzie oceny trzech różnych technologii w warunkach Z W R Lubin potwierdza wyższą selektywność odczynnika pianotwórczego AD + TM w stosunku do odczynnika AC, oraz celowość wprowadzenia flotacji wstępnej w obiegu mielenia dla rudy zawierającej różne odmiany litologiczne.

7.

Wykazana przydatność proponowanego wskaźnika oceny procesu pozwala przypuszczać, że zbadanie przy jego pomocy wpływu innych głównych parametrów procesu

wzbogacania stworzy podstawy do budowy modelu matematycznego tego procesu. Wymagać to będzie dalszych badań.

8.

Praktyczna sprawozdawczość technologiczna zakładu wzbogacenia rud miedzi oparta o średnie wskaźniki obliczane dla okresu sprawozdawczego, powinna być uzupełniana okresowymi analizami statystycznymi. Analizy takie już na tym etapie umożliwiają przewidywanie skutków ewentualnych zmian w technologii, wprowadzonych w celu usprawnienia procesu lub dostosowania go do zmian nadawy lub żądanych zmian jakości produktów.

7. L i t e r a t u r a

- / 1 / Abezgauz G.C. i inni: Rachunek probabilistyczny, poradnik Wyd. MON Wa-wa 1973.

- / 2 / Adamiczka J., Bortel R., Grzebieluch Z. : Próby określenia wzbogacalności rud miedzi z rejonu Lubina.
Prace Inst.Hutn. 1962, nr 14

- / 3 / Adamiczka J. i inni: opracowanie teoretycznych i technicznych podstaw procesów wzbogacania rud miedzi z nowych złóż z uwzględnieniem kompleksowego wykorzystania wszystkich składników.
Sprawozdania I M N nr 713/59 - 62/ cz. I - V

- / 4 / Andrews W.H. : Linear assessment of flotation results. Proceed. IV -th Intern. Miner.Processing Congress 1960, ed. Inst. Min.Metall.London 1960, s. 1031

- / 5 / Barskij L.A., Rubinstein J.B. : Kibernetičeskiye metody v obogaščenii poleznych iskopaemych. izd. Nedra, Moskva 1970

- /6// Barskij L.A. i inni: Vybor optimalnych parametrov elementov flotacionnogo razdelitelnogo kaskada
Izv. V U Z Gorn. žurn. 1973, nr 3 s. 158

- / 7 / Beneš M.: Statistisches Verfahren zur Bestimmung des erforderlichen Mindestgehaltes einer wertkomponente im Erz. Freiburger Forschungshefte, A, 120, 1959 nr 4
- / 8 / Bortel R. i inni : Obecny stan i perspektywy rozwoju technologii wzbogacania rud miedzi Zagłębia Lubińsko - Głogowskiego. III Krajowy Zjazd Górnicstwa Rud, Lubin 1971 cz.1. s. 333
- / 9 / Bortel R. i inni : Technologia wzbogacania rud miedzi z nowego zagłębia miedziowego. IV Krajowy Zjazd Górniczy, Referaty sekcji V - Metody wzbogacania kopalin w Polsce, wyd. S I T G K-ce 1956
- / 10 / Czarkowski H. : Badania funkcjonalności wskaźników wzbogacania Rudy i Met. Nieżel. R.6, 1961, nr 5, s.230
- / 11/ Czarkowski H. : Wpływ jakości koncentratu na wartość produkcji Rudy i Met. Nieżel. r.8, 1963, nr 9 s. 337
- / 12 / Czarkowski H. : Wytwarzanie koncentratów wysokiej jakości. Rudy i Met. Nieżel. R. 10, 1965, nr 8, s. 438
- / 13 / Czarkowski H. : Zależność uzysku od zawartości metalu w nadawie. Rudy i Met. Nieżel. R. 4, 1959, nr 4, s. 102.

- / 14 / Czarkowski H. : Przeróbka rud. Wyd.Górn. -Hutn.,
K-ce 2 1958
- / 15 / Czermiński J. i inni : Metody statystyczne w do-
świadczalnictwie Chemicznym P W N,Wa-wa 1974
- / 16/ Dell C.C : An expression for the degree of libe-
ration of an ore. Trans.Inst.Mining Metall, (sec.C)
vol. 78, 1969, s. C 152
- / 17 / Dell C.C. : The analysis of flotation test data.
Quaterly of the Colorado School of Mines, vol. 56,
1961, nr 3, s. 115
- / 18 / Dobrowolski L., Olender K. : Badanie przydatności
nowych pianotwórczych odczynników flotacyjnych,
Cz.I - Próby z alkoholem dwuacetonowym. Sprawo-
zдание nr 9/TW/67 Zakł. Dośw. K G H M,Lubin 1967
- / 19 / Derenfeld A.C. : Five variable flotation tests
using factorial design. Mining Engineering, 1951,
Dec, s.1073
- / 20 / Epelman M. L.,Filimonov V.N. : Vlijanie uoderżania
metallov v rude na izvlečenje v gotovyje koncentra-
ty. Fiz. - techn. Probl.Rozrabotki Polezn. Iskop,
1975, nr 1, s. 69

- / 21 / Elandt R. : Statystyka matematyczna. P W N, Wa-wa 1964.
- / 22 / Fisman M.A. , Sobolev D.S. : Praktyka obogascenia rud cvetnych i redkich metallov, T. I. izd. Gosgortechizdat, Moskva, 1971.
- / 23 / Freund J.F. : Podstawy nowoczesnej statystyki. P W N, Wa-wa 1971.
- / 24 / Greni J. : Modele i zadania statystyki matematycznej P W N, Wa-wa, 1970.
- / 25 / Hall W.B. : The mathematical form of separation curves based on two known ore parameters and a single liberation coefficient. Trans. Inst. Mining. Metall. (sec. C), vol.80, 1971, s. C 213.
- / 26 / Helwig Z. : Elementy rachunku prawdopodobienstwa i statystyki matematycznej, PWN, Wa-wa, 1970.
- / 27 / Himmelblau D.M.: Process analysis by statistical methods. ed. by J. Wiley and sons Inc. N.Y. 1970.
- / 28 / Jowett A. : A mathematical form of minerals separation curves. Trans. Inst. Mining Metall. (sec.C), vol. 78, 1969, s. c 185.
- / 29 / Kolmogorov A.N. : O logarifmicheski normalnom zakone raspredelenia razmierov častice pri drobleni. Dokl. AN SSSR, T. 31, 1941, nr 2.

- / 30 / Kozin V.Z., Trop A.E : O wzaimoswiazii soderzania metalla v koncentrate i chvostach, Cvet. Metally, 1964, nr 2, s. 6.
- /31 / Laskowski J. : Współczesne metody wzbogacania rud. Pierwiastki rzadkie i metalurgia chemiczna, cz. I, Pr. Nauk. Inst. Chemii Nieorg i Met. Pierw.Rzadkich, Politechn.Wrocł., Seria : Studia i Materiały, 1971, nr 3, s. 265.
- / 32 / Laskowski J., Lupa Z. : Krzywe wzbogacalności Della. Pr.Nauk. Inst.Górn.Politechn.Wrocł. , seria: Studia i Materiały, 1970, nr 3, s. 229.
- / 33 / Lekki J.Bruski J.: Zalety i ograniczenia statystycznych metod planowania doświadczeń flotacyjnych. Pr. Inst. Przeróbki Kopalin Politechn. Śląskiej, Gliwice 1970.
- / 34 / Lekki J. Laskowski J. : Piany w układach flotacyjnych i klasyfikacja odczynników pianotwórczych. Fizykochem.Probl.Przeróbki Kopalin, 1974, nr 8,s.73.
- / 35 / Lekki J., Laskowski J. : Wpływ chlorku sodu w wodach kopalnianych na flotację rud miedzi. Fizykochem. Probl.Przeróbki Kopalin,1971, nr 5, s. 115.
(oraz Lekki J. - informacja prywatna - materiały niepublikowane).
- / 36 / Lekki J. i inni : Opracowanie technologii flotacji z nowym reżimem odczynnikowym dla otrzymania kon-

centratów miedziowych optymalnych dla pieca zawieszynowego i hydrometalurgii. Raport nr 37/74, Inst. Chemii Nieorg. i Metal. Pierw. Rzadkich.

- / 37 / Madej W., Żmudziński K., Grzebieluch Z. : Badania nad uproszczeniem schematu wzbogacania mieszanych rud miedzi piaskowcowo - łupkowo - wapiennych. III Krajowy Zjazd Górnictwa Rudy, cz. 1, Lubin 1971 s. 319.
- / 38 / Mańczak K. : Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. W N T, Wa-wa, 1971.
- / 39 / Marjuta A.N, Bun'ko V.A. : Eksperymentalnoje opredelenie statičeskich charakteristik ob"ektov upravlenia obogatitelnych fabrik. izd. Nedra, Moskva, 1969.
- / 40 / Marsonova L.V. : Statističeskij analiz technologičeskich pokazatelej obogascenia svincovo - cinkovej rudy. Cvetn, Metally, 1971, nr. 3, s.81.
- / 41 / Mitrofanov S.I. : Issledovanie na obogatimost poleznych iskopaemych. izd. Gosgortechizdat, Moskva 1962.
- / 42 / Mitrofonov S.I. : Selektivnaja flotacija. izd. Nedra Moskva 1967.
- / 43 / Nawrocki J. : Skuteczność przesiewania i grawitacyjnego wzbogacania. Skrypty Uczeln. nr 516, Politechn. Śląska, Gliwice 1975.

- / 44 / Nesterov G.S. i inni : Upravlenie technologičeski-
mi procesami na na obogatitelnych fabrikach. izd.
Nedra, Moskva 1966.
- / 45 / Nixon J.C., Moir D.N. : The assessment of flotation
results. Trans. Inst.Mining Metall. vol.66, 1957,,
June, s. 453.
- / 46 / Nowakowska B., Mączka W. : Próby podwyższenia jako-
ści koncentratów otrzymywanych podczas wzbogacania
rud z rejonu Lubine. Sprawozdanie nr 1/TW/68, Zakł.
Dośw. K G H M, Lubin, 1968.
- / 47 / Oktawiec T.M., Izdebska T. : Zastosowanie testu prze-
działów ufności w ocenie wyników badań. Rudy i Met.
Nieżel., R. 13, 1968, nr 7, s. 369.
- / 48 / Oktawiec T.M., Staszkievicz I. : Ocena typu rozkła-
du prawdopodobieństwa wskaźników technologicznych
przemysłowego procesu flotacji. Biuletyn Inst.Met.
Nieżel. 1971, nr 1, s. 5.
- / 49 / Olender K. Nowakowska B. : Badania zachowania się
niektórych metali towarzyszących w procesach przerób-
ki mechanicznej rud miedzi. Cz. II, Sprawozdanie nr
17/TW/69, Zakł.Dośw. KGHM, Lubin 1969.
- / 50 / Pawłowski Z. : Wstęp do statystyki matematycznej.
P W N, Wa-wa 1965.

- / 51 / Plaksin I.N., Barskij L.A., Rubinstein J.B. : Sovremennye napravlenija statističeskogo analiza flotacionnogo processa. Fiz.techn.probl. rozrabotki polezn. iskop. 1968, nr 2, 3.61
- / 52 / Plaksin I.N. i inni : K voprosam ob učete ošibki flotacionnyh eksperimentov pri issledovanii rud na obogatimost. Zawodskaja Laboratoria t.33, 1967, nr 1, s. 64.
- / 53 / Poltarina T.F. : Vlijanie kacestva rudy na flotaciju. Cvetn. Metally, 1968, nr 6, s. 6.
- / 54 / Pr. zbior. pod red. Konstantynowicza E. : Monografia Przemysłu Miedziowego w Polsce. T. 1. Wyd.Geologiczne, Wa-wa 1971.
- / 55 / Prochorov J.V. : K voprosu o lognormalnom raspredeleńii v geochimičeskich zadacach. Teoria verojatnośtej i jej primenenie. T. 10, wyp. 1, 1965.
- / 56 / Pudło W. : O pewnej metodzie aproksymowania krzywych wzbogacalności. Zesz. Problem. Górnictwa, PAN, T.10, 1971, nr 2, s.83.
- / 57 / Pudło W. : Optymalny podział wzbogaconego materiału na koncentrat, produkt pośredni i odpady. Rudy i Met. Nieżel. R.2, 1957, nr 3, s. 1.

- / 58 / Pudło W. : Zależność między średnią zawartością metalu w odpadach, a średnią zawartością metalu w koncentracie. Rudy i Met.Niezel., R.2, 1957, nr 1, s. 1.
- / 59 / Raffinot P. : Statistical analysis of some variables in bath flotation testing leading to the design of an improved laboratory cell. *Proceed. IV-th Intern.Mineral Processing Congress 1960*, ed. Inst. Mining Metall. London 1960, s. 1015.
- / 60 / Rynans B. : Badanie przydatności nowych odczynników flotacyjnych. cz. II - Badania przydatności 2-merkato-benzotiazolu i dwufenyloguanidyny. Sprawozdanie nr 5/TW/68, Zakł.Dośw. K G H M, Lubin, 1969.
- / 61 / Schulz N. : Separation efficiency. *Trans. Soc. Mining Engrs. AIME*, Vol. 247, 1970, March, s. 81.
- / 62 / Sikora A. : Badanie przydatności nowych odczynników flotacyjnych. Cz.III - Badanie przydatności mieszanki alkoholu dwuacetonowego z tlenkiem neozytylu. Sprawozdanie nr 16/TW/69, Zakł.Dośw. K H H M, Lubin 1969.
- / 63 / Seyer P., Duval R. Brute de Rémur M. : Applications des methodes de la statistique mathematic a` des problemes seposant dans la concentration des minerais. *Revue de l'Industrie Mineral*, 1960, nr 4.

- / 64 / Sirazutdinov A.M. : Osnovnye pokazateli promyšlenn
nych kondicii na rudy cvetnych metallov. izd.Nauka,
Alma - Ata, 1973.
- / 65 / Skalmierski B., Tylikowski A. : Procesy stochasty-
czne w dynamice. P W N, Wa-wa 1972.
- / 66 / Smirnow N.W., Dunin - Barkowski I.W.: Kurs rachunku
prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej.
P W N, Wa-wa , 1969.
- / 67 / Sommer O. : Anwendung mathematisch - statistischer Metho-
den Zur Berteilung von Aufbereitungsmaschinen und -
vorgangen.
- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1. Teil - Aufbereitungs - Technik, | 1966, nr 11, s.669 |
| 2. Teil - " - | 1967, nr 3, s.130 |
| 3. Teil - " - | 1968, nr 1, s. 24 |
| 4. Teil - " - | 1968, nr 6, s.295 |
| 5. Teil - " - | 1969, nr 11, s.662 |
| 6. Teil - " - | 1969, nr 12, s.723. |
- / 68 / Stefański M. : Uzysk metalu w procesach górniczo - me-
talurgicznych jako funkcja podstawowych parametrów
wzbogacania. Rudy i Met. Nieżel. R.7 1962, nr 12
s.551.
- / 69 / Stefański M. : Zysk z procesów górniczo - metalurgi-
cznych jako funkcja podstawowych parametrów wzbogaca-
nia. Rudy i Met. Nieżel. R.7 1962, nr 7, s 321.

- / 70 / Stępiński W. : Ekonomiczna ocena procesów wzbogacania węgla i rud. Śląsk, K-ce, 1973.
- / 71 / Stępiński W. : Ekonomia procesów wzbogacania rud i węgla. W G H, K-ce, 1961.
- / 72 / Stępiński W. : Krzywe średnich wartości dwustadialnej flotacji rudy ubogiej. Rudy i Metale Nieżel. R.10, 1965, nr 3, s. 117.
- / 73 / Stępiński W. : Wzbogacanie grawitacyjne. P W N, Wa-wa, 1965!
- / 74 / Sztaba K. : Problemy budowy schematu kontroli w procesach technologicznych przeróbki. Automatyzacja i Kontrola Proc. Przeróbki, Komitet Górnictwa P A N, , ref. na sympozjum, K-ce, 1971, s. 43.
- / 75 / Szulc S. : Metody statystyczne. P W E, Wa-wa, 1967.
- / 76 / Šubov L.P.: Příkladnye matematičeskie metody v obogascenii poleznych iskopaemych. izd. Nedra, Moskva, 1972.
- / 77 / Taggart A. : Handbook of mineral dresing. ed.by J. Wiley and sons Inc., N.Y., 1965.
- / 78 / Tichonov O.N. : Vvedenie v dinamiku massperenosa processov obogatitelnoj technologii, izd. Nedra, Leningrad, 1973.

- / 79 / Tolke A. : Anreickkurven im W-m diagramm und Ausbringens zahlenkurven fur Verfahren ohne ideale Merkmalsklassen. Bergakademie, 1970, nr 12, s.732.
- / 80 / Volk W. : Statystyka stosowana dla inżynierów. Wyd. NT, Wa-wa, 1973.
- / 81 / Veselaja G.N. : O primenenii mnogomernogo regressionnogo analiza pri issledovanii technologiceskich processov. Zavod. Laboratoria, t.32, 1966, s. 327.
- / 82 / Wilson E.B. : Wstęp do badań naukowych. P W N, Wa-wa, 1968.
- / 83 / Wójtowicz J. : Kierunki doskonalenia procesów wzbogacania rud miedzi L G O M - u z uwzględnieniem specyfiki tych rud. Fiz.- Chem.Probl. Przeróbki Kopalin, Wrocław, 1974, z.8, s. 107.
- / 84 / Wójtowicz J. i inni : Zagadnienie obiegu produktów przejściowych w procesie flotacji rud miedzi. Fiz.Chem. Probl.Przeróbki Kopalin, Gliwice, 1973, z. 7, s. 177.
- / 85 / Zieliński R. : Tablice statystyczne. P W N, Wa-wa 1972.
- / 86 / Zaksybaev N.K. i inni : O vlijanii soederžanija metallov v rube na pokazateli flotacionnogo obogashčenia. Cvetn. Metally, 1969, nr 8.

/ 87 / Żmudziński K., Łuszczkiewicz A. : Określenie zależności uzysku od zawartości miedzi w koncentracie dla Z P R "Polkowice".

Sprawozdanie nr 12/TP/73, Zakł. Dośw. Cuprum,
Lubin, 1973.



Tabl. III. 1

Współrzędne krzywej wzbogacalności "czystej" piaskowcowej rudy miedzi z Lubina

Lp	γ	ε	$\frac{\gamma}{\alpha}100$	β	ν	R_{100}	β_m	R_m	E_{100}	E_m
1	1.20	40.0	82.76	48.33	0.88	0.629	100.00	0.000	39.37	40.00
2	1.80	60.0	124.14	48.33	0.59	0.944	100.00	0.000	59.06	60.00
3	2.10	70.0	144.83	48.33	0.44	1.101	100.00	0.000	68.90	70.00
4	2.70	80.0	186.21	42.96	0.30	1.560	88.889	0.309	78.44	79.69
5	2.90	82.0	200.00	41.00	0.28	1.736	84.828	0.454	80.26	81.55
6	3.25	84.0	224.14	37.48	0.24	2.062	77.539	0.753	81.94	83.25
7	3.76	86.0	259.31	33.17	0.21	2.550	68.617	1.216	83.45	84.78
8	4.47	88.0	308.28	28.55	0.18	3.241	59.061	1.887	84.76	86.11
9	5.49	90.0	378.62	23.77	0.15	4.247	49.179	2.876	85.75	87.12
10	6.20	91.0	427.59	21.28	0.14	4.952	44.032	3.577	86.05	87.42
11	7.01	92.0	483.45	19.03	0.13	5.760	39.372	4.381	86.25	87.62
12	8.19	93.0	564.83	16.46	0.11	6.942	34.066	5.567	86.06	87.43
13	10.00	94.0	689.66	13.63	0.10	8.764	28.200	7.402	85.24	86.57
14	11.27	94.5	777.24	12.16	0.09	10.045	25.155	8.696	84.46	85.80
15	12.65	95.0	872.41	10.88	0.08	11.438	22.529	10.103	83.56	84.90

Tabl. III.2.

Współrzędne krzywej wzbogacalności "d", hipotetycznej dolnej granicy, wzbogacalności rudy lubińskiej (wariant I)

Lp	δ	E	$\frac{\delta}{\alpha}100$	β	γ	R_{100}	β_m	R_m	E_{100}	E_m
1	0,60	20,0	41,38	48,33	1,17	0,314	100,0	0,00	19,69	20,00
2	1,20	40,0	82,76	48,33	0,88	0,629	100,0	0,00	39,37	40,00
3	2,01	50,0	137,93	36,25	0,73	1,294	74,627	0,515	48,71	49,49
4	4,052	66,5	279,31	23,80	0,51	3,132	49,242	2,119	63,37	64,38
5	4,83	70,0	331,03	21,14	0,45	3,841	43,738	2,784	66,16	67,22
6	6,01	75,0	413,79	18,12	0,38	4,985	37,490	3,866	77,02	71,13
7	8,30	80,0	572,41	13,98	0,33	7,245	28,924	6,082	72,76	73,92
8	9,49	82,0	655,17	12,52	0,29	8,433	25,904	7,257	73,57	74,74
9	10,83	84,0	744,82	11,28	0,26	9,723	23,338	8,536	74,28	75,46
10	12,54	86,0	862,07	9,97	0,23	11,419	20,628	10,228	74,58	75,77
11	15,01	88,0	1034,48	8,51	0,20	13,925	17,607	12,741	74,06	75,26
12	18,60	90,0	1282,76	7,02	0,18	17,549	14,524	16,390	72,45	73,61
13	20,30	91,0	1400,00	6,50	0,16	19,260	13,448	18,113	71,74	72,89
14	24,50	92,0	1689,66	5,44	0,15	23,508	11,255	22,415	68,49	69,58

$$\alpha = 1,45$$

$$\alpha_m = 3,00$$

T a b l i c a III - 2a . Współrzędne krzywej wzbogacalności " p " ,
hypotetycznej dolnej granicy wzbogacalności rudy lubińskiej /wariant II/

L.p.	δ	ε	$\frac{\delta}{\alpha} 100$	β	γ	R_{100}	β_m	R_m	E_{100}	E_m
1.	1,80	60,0	124,14	48,33	1,17	0,944	100,00	0,000	59,06	60,00
2.	2,10	70,0	144,83	48,33	0,88	1,101	100,00	0,000	68,90	70,00
3.	2,55	72,0	17586	40,94	0,42	1,528	84,71	0,402	70,47	71,60
4.	3,61	76,0	248,97	30,52	0,36	2,545	63,16	1,371	73,45	74,63
5.	4,34	78,0	299,31	26,06	0,33	3,256	53,92	2,062	74,74	75,94
6.	5,42	80,0	373,79	21,40	0,31	4,323	44,28	3,113	7568	76,89
7.	6,28	81,0	433,10	18,70	0,29	5,181	38,69	3,969	75,82	77,03
8.	7,57	82,0	522,07	15,71	0,28	6,475	32,50	5,268	75,52	76,73
9.	9,48	83,0	653,79	12,70	0,27	8,398	26,27	7,206	74,60	75,79
10.	13,23	84,0	912,41	9,21	0,26	12,188	19,05	11,041	71,81	72,96

$\alpha = 1.45$

$\alpha_m = 3.00$

Tabl III.3

Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej: zawartość metalu
w nadawie, α Okres : maj 1972

Lp	$\Delta \alpha_i$	n_i	$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi(z_i)$	p_i	n_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1.	1.20	4	-1.64	0.0505	0.0505	4.444	0.044
2.	1.20 - 1.30	22	-0.60	0.2743	0.2238	19.69	0.269
3.	1.30 - 1.40	37	0.45	0.6736	0.3993	35.14	0.098
4.	1.40 - 1.50	22	1.50	0.9332	0.2596	22.84	0.031
5.	1.50 - 1.60	2	2.55	0.9946	0.0614	5.40	2.142
6.	1.60	1		1.0000	0.0054	0.47	0.104
7.	Σ'	88			1.0000	88	2.69

$$\begin{aligned}
 n &= 88 \\
 \bar{x} &= 1.3569 \\
 s &= 0.0955
 \end{aligned}$$

$$p \left\{ \chi^2_{(3; 0.4)} \geq \chi^2 = 2.29 \right\} \approx 0.45$$

$$\chi^2_{(3; 0.4)} = 2.946$$

Tabl III.4

Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej: zawartości metalu w nadawie, α .

Okres: razem maj, czerwiec, lipiec 1972

Lp	$\Delta \alpha_i$	n_i	$z_i = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi(z_i)$	p_i	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1.	< 1.20	16	-1.46	0.0721	0.0721	19.25	0.548
2.	1.20 - 1.30	53	-0.65	0.2578	0.1857	49.58	0.235
3.	1.30 - 1.40	88	0.15	0.5596	0.3018	80.58	0.683
4.	1.40 - 1.50	74	0.96	0.3325	0.2719	72.60	0.027
5.	1.50 - 1.60	21	1.77	0.9608	0.1293	34.52	5.296
6.	> 1.60	15	∞	1.0000	0.0392	10.47	1.961
7.	Σ	267			1.0000	267	8.750

$$n = 267$$

$$\bar{x} = 1.3808$$

$$s = 0.1240$$

$$P\{\chi^2_{(3, 0.025)} > \chi^2 = 8.75\} \approx 0.025$$

$$\chi^2_{(3, 0.05)} = 7.815$$

Tabl. III.5

Obliczanie wartości χ^2 dla danych jak w tabl. III.2.
przy innych granicach przedziałów klasowych.

Lp	Δx_i	n_i	$z_i = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\Phi(z_i)$	p_i	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1.	< 1.15	9	-1.86	0.0314	0.0314	8.38	0.045
2.	1.15 - 1.20	7	-1.45	0.0735	0.0421	11.24	1.599
3.	1.20 - 1.25	23	-1.05	0.1469	0.0734	19.60	0.590
4.	1.25 - 1.30	30	-0.65	0.2578	0.1109	29.61	0.005
5.	1.30 - 1.35	40	-0.24	0.4052	0.1474	39.36	0.010
6.	1.35 - 1.40	48	0.15	0.5596	0.1541	41.22	1.112
7.	1.40 - 1.45	49	0.56	0.7123	0.1527	40.77	1.659
8.	1.45 - 1.50	25	0.96	0.8315	0.1132	31.83	1.462
9.	1.50 - 1.55	12	1.36	0.9131	0.0816	21.79	4.392
10.	1.55 - 1.60	9	1.77	0.9608	0.0477	12.73	1.094
11.	1.60 - 1.65	9	2.17	0.9850	0.0242	6.46	0.994
12.	> 1.65	6	∞	1.0000	0.0150	4.00	0.250
13.	Σ	267			1.0000	267.0	13.21

$$\begin{aligned} n &= 267 \\ \bar{x} &= 1.3808 \\ s &= 0.1240 \end{aligned}$$

$$p \left\{ \chi^2_{(9,01)} > \chi^2 = 13.21 \right\} \approx 0.15$$

$$\chi^2_{(9;0,1)} = 14.684$$

T a b l i c a III . 6 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej :
zawartość metalu w koncentracie , β . Okres m a j 1972 r.

L.p.	$\Delta\beta_i$	n_i	$z_i = \frac{\bar{x} - x_i}{s}$	$\phi / z_i /$	P_i	n_i'	$\frac{/ n_i - n_i' /^2}{n_i'}$
1.	< 15	1	- 2.03	0.0212	0.0212	1.96	0.400
2.	15 + 17	10	- 1.23	0.1093	0.0881	7.75	0.652
3.	17 + 19	17	- 0.42	0.3373	0.2280	20.06	0.467
4.	19 + 21	30	0.38	0.6480	0.3107	27.34	0.258
5.	21 + 23	16	1.18	0.8810	0.2330	20.50	0.988
6.	23 + 25	11	1.99	0.9767	0.0957	8.42	0.790
7.	> 25	3	∞	1.0000	0.0233	2.05	0.439
8.	Σ	88			1.0000	88	3.99

$$n = 88$$

$$\bar{\beta} = 20.0514$$

$$s = 2.4882$$

$$p \left\{ \chi^2_{/4, 0.4/} > \chi^2 = 3.99 \right\} = 0.4$$

$$\chi^2_{/4, 0.4/} = 4.045$$

T a b l i c a III. 7 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej :

zawartość metalu w koncentracie , β . Okres : razem, maj, czerwiec, lipiec 1972

L.p.	$\Delta \beta_i$	n_i	$z_i = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / z_i /$	P_i	n'_i	$\frac{ n_i - n'_i }{n_i}$
1.	< 15	4	- 2.13	0.0166	0.0166	4.43	0.042
2.	15 + 17	21	- 1.32	0.0934	0.0768	20.51	0.012
3.	17 + 19	58	- 0.51	0.3050	0.2116	56.50	0.039
4.	19 + 21	83	0.30	0.6179	0.3129	83.54	0.003
5.	21 + 23	64	1.11	0.8665	0.2486	66.37	0.085
6.	23 + 25	29	1.92	0.9726	0.1061	28.33	0.016
7.	> 25	8	∞	1.0000	0.0274	7.32	0.063
8.	Σ	267			1.0000	267	0.260

$$n = 267$$

$$\bar{\beta} = 20.2566$$

$$s = 2.4678$$

$$P \{ \chi^2_{/4, 0.99/} > \chi^2 = 0.26 \} \approx 0.99$$

$$\chi^2_{/4, 0.99/} = 0.297$$

T a b l i c a III. 8 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej ;
 zawartość metalu w odpadach , ϑ . Okres : m a j 1972 r.

L.p.	$\Delta \vartheta_i$	n_i	$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / Z /$	P_i	n'_i	$\frac{ n_i - n'_i ^2}{n'_i}$
1.	$< 0,17$	6	- 1.41	0.0793	0.0793	6.98	0.137
2.	$0.18+0.19$	12	- 0.88	0.1894	0.1101	9.69	0.551
3.	$0.20+0.21$	24	- 0.36	0.3594	0.1700	14.96	4.462
4.	$0.22 +0.23$	18	0.17	0.5675	0.2081	18.31	0.005
5.	$0.24+0.25$	14	0.69	0.7549	0.1874	16.49	0.376
6.	$0.26+0.27$	8	1.22	0.8888	0.1339	11.78	1.213
7.	> 0.27	6	∞	1.0000	0.1112	9.78	1.460
8.	Σ'	88			1.0000	88.0	$\chi^2 = 8.20$

$$n = 88$$

$$\bar{\vartheta} = 0.2236$$

$$s = 0.0381$$

$$P \{ \chi^2_{/4/} > \chi^2 = 8.20 \} \approx 0.08$$

$$\chi^2_{/4, 0.05/} = 9.488$$

T a b l i c a III. 9 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej :
 zawartość metalu w odpadach , ϑ . Okres c z e r w i e c 1972

L.p.	$\Delta \vartheta_i$	n_i	$Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / Z /$	P_i	n'_i	$\frac{n_i - n'_i}{n'_i}^2$
1.	< 0.17	3	- 1.81	0.0351	0.0351	3.05	0.00
2.	0.18+0.19	8	- 1.23	0.1093	0.0742	6.46	0.37
3.	0.20+0.21	14	- 0.65	0.2578	0.1485	12.92	0.09
4.	0.22+0.23	27	- 0.07	0.4721	0.2143	18.64	3.75
5.	0.24+0.25	17	0.51	0.6950	0.2229	19.39	0.30
6.	0.26-0.27	10	1.09	0.8621	0.1671	14.54	1.42
7.	> 0.27	8	∞	1.0000	0.1378	11.99	1.33
8.	Σ	87			1.0000	87.0	7.26

$$n = 87$$

$$\bar{\vartheta} = 0.2323$$

$$\bar{s} = 0.0345$$

$$\chi^2_{/4,01/} = 7.779$$

$$p \left\{ \chi^2_{/4/} > \chi^2 = 7.26 \right\} \approx 0.17$$

T a b l i c a III . 10 . Obliczenie wartości χ^2 dla danych jak
w tabl. III . 7 . przy innych granicach przedziałów klasowych .

L.p.	Δv_i	n_i	$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$g / z /$	p_1	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n_i}$
1.	< 0.17	3	- 1.81	0.0351	0.0351	3.05	0.003
2.	0.17 - 0.18	4	- 1.52	0.0643	0.0291	2.54	0.839
3.	0.18 - 0.19	4	- 1.23	0.1093	0.0450	3.92	0.002
4.	0.19 - 0.20	7	- 0.94	0.1736	0.0643	5.59	0.353
5.	0.20 - 0.21	7	- 0.65	0.2578	0.0842	7.32	0.014
6.	0.21 - 0.22	12	- 0.35	0.3632	0.1054	9.17	0.873
7.	0.22 - 0.23	15	- 0.07	0.4721	0.1089	9.47	3.224
8.	0.23 - 0.24	9	0.22	0.5871	0.1150	10.00	0.100
9.	0.24 - 0.25	8	0.51	0.6950	0.1079	9.39	0.205
10.	0.25 - 0.26	8	0.80	0.7881	0.0931	8.10	0.001
11.	0.26 - 0.27	2	1.09	0.8621	0.0740	6.44	3.053
12.	0.27 - 0.28	2	1.38	0.9162	0.0541	4.71	1.555
13.	0.28 - 0.29	2	1.67	0.9525	0.0363	3.16	0.424
14.	> 0.29	4	∞	1.0000	0.0475	4.13	0.017
15.	Σ	87			1.0000	87.0	10.67

$$n = 87 \quad s = 0.0345$$

$$\bar{x} = 0.2323$$

$$P \left\{ \chi^2_{/11/} > \chi^2 = 10.67 \right\} \approx 0.45$$

$$\chi^2_{/11, 0.4/} = 11.530$$

T a b l i c a III. 11 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej ;

zawartość metalu w odpadach , v . Okres razem, maj, czerwiec, lipiec 1972

L.p.	Δv_1	n_1	$Z_1 = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / Z_1 /$	p_1	n'_1	$\frac{ n_1 - n'_1 }{n_1}^2$
1.	< 0.17	12	- 1.59	0.0559	0.0559	14.92	0.571
2.	0.18-0.19	35	- 1.05	0.1469	0.0910	24.30	4.714
3.	0.20-0.21	52	- 0.52	0.3015	0.1546	41.28	2.210
4.	0.22-0.23	61	- 0.01	0.5040	0.2025	54.07	0.891
5.	0.24-0.25	49	0.54	0.7054	0.2014	53.77	0.424
6.	0.26-0.27	26	1.07	0.8577	0.1523	40.66	5.239
7.	> 0.27	32	∞	1.0000	0.1423	37.99	0.9457
8.	Σ	267			1.0000	267	15.04

$$n = 267$$

$$\bar{v} = 0.2295$$

$$s = 0.0377$$

$$p \left\{ \chi^2_{/4, 0.005} > \chi^2 = 15.04 \right\} = 0.001$$

$$\chi^2_{/4, 0.05} = 9.48$$

T a b l i c a III. 12. Obliczenie wartości χ^2 dla danych jak
w tabelicy III. 9 - przy innych granicach przedziałów klasowych

L.p.	Δv_1	n_1	$z_1 = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / Z_1 /$	P_1	n'_1	$\frac{/(n_1 - n'_1)^2/}{n_1}$
1.	< 0.17	12	- 1.59	0.0559	0.0559	14.92	0.571
2.	0.17 - 0.18	12	- 1.31	0.0951	0.0392	10.47	0.225
3.	0.18 - 0.19	23	- 1.05	0.1469	0.0518	13.83	5.079
4.	0.19 - 0.20	25	- 0.78	0.2177	0.0708	18.90	1.966
5.	0.20 - 0.21	27	- 0.52	0.3015	0.0838	22.37	0.956
6.	0.21 - 0.22	30	- 0.25	0.4013	0.0998	26.65	0.422
7.	0.22 - 0.23	31	0.01	0.5040	0.1027	27.42	0.467
8.	0.23 - 0.24	30	0.28	0.6103	0.1063	28.38	0.092
9.	0.24 - 0.25	19	0.54	0.7054	0.0951	25.39	1.608
10.	0.25 - 0.26	19	0.81	0.7910	0.0856	22.86	0.650
11.	0.26 - 0.27	7	1.07	0.8577	0.0667	17.31	6.560
12.	0.27 - 0.28	11	1.34	0.9099	0.0522	13.94	0.619
13.	0.28 - 0.29	3	1.60	0.9452	0.0353	9.43	0.215
14.	> 0.29	13	∞	1.0000	0.0548	14.63	0.182
15	Σ	267			1.0000	267.0	19.50

$$n = 267$$

$$\bar{x} = 0.2295$$

$$s = 0.0377$$

$$P \left\{ \chi^2_{/11;0.05/} > \chi^2 = 19.50 \right\} \approx 0.05$$

$$\chi^2_{/11;0.05/} = 19.670$$

T a b l i c a III . 13 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej ;

uzysk metalu w koncentracji , ε . Okres m a j 1972 r.

L.p.	$\Delta \varepsilon_i$	n_i	$z_i = \frac{x - \bar{x}}{s}$	$\phi / z_i /$	P_i	n'_i	$\frac{\sqrt{n_i - n'_i}}{n_i}^2$
1.	< 80	2	- 2.23	0.0129	0.0129	1.14	0.652
2.	80 - 81	3	- 1.75	0.0401	0.0272	2.39	0.155
3.	81 - 82	9	- 1.26	0.1038	0.0637	5.61	2.051
4.	82 - 83	5	- 0.78	0.2177	0.1139	10.02	2.506
5.	83 - 84	13	- 0.30	0.3821	0.1644	14.47	0.149
6.	84 - 85	14	0.19	0.5753	0.1932	17.00	0.529
7.	85 - 86	18	0.67	0.7486	0.1733	15.25	0.495
8.	86 - 87	16	1.15	0.8749	0.1263	11.11	2.145
9.	87 - 88	4	1.63	0.9484	0.0735	6.46	0.939
10.	> 88	4	∞	1.0000	0.0516	4.54	0.064
11.	Σ	88			1.000	88.0	9.68

$$n = 88$$

$$\bar{\varepsilon} = 84.6158$$

$$s = 2.0709$$

$$P \left\{ \chi^2_{7.02} / > \chi^2 = 9.68 \right\} \approx 0.20$$

$$\chi^2_{7,0.2} / = 9.803$$

T a b l i c a III. 14. Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej ;

 uzysk metalu w koncentracie , ε . okres czerwiec 1972 r.

L.p.	ε_i	n_i	$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$	$\phi / z_i /$	P_i	n_i'	$\frac{n_i - n_i'}{n_i} / 2$
1.	< 80	6	- 1.46	0.0721	0.0721	6.27	0.012
2.	80 - 81	6	- 1.07	0.1423	0.0702	6.11	0.002
3.	81 - 82	8	- 0.68	0.2483	0.1060	9.22	0.162
4.	82 - 83	12	- 0.30	0.3821	0.1338	11.64	0.011
5.	83 - 84	12	0.09	0.5359	0.1538	13.38	0.142
6.	84 - 85	14	0.48	0.6844	0.1435	12.92	0.090
7.	85 - 86	16	0.86	0.8051	0.1207	10.50	2.875
8.	86 - 87	4	1.25	0.8943	0.0892	7.76	1.822
9.	87 - 88	5	1.63	0.9484	0.0541	4.71	0.018
10.	> 88	4	∞	1.0000	0.0516	4.49	0.053
11.	<	87			1.0000	87.0	5.187

$$n = 87$$

$$\bar{x} = 83.7684$$

$$s = 2.5847$$

$$P \left\{ \chi^2_{/7;0.6/} > \chi^2 = 5.19 \right\} \approx 0.65$$

$$\chi^2_{/7;0.6/} = 5.493$$

T a b l i c a III. 15. Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej :
uzysk metalu w koncentracie , ε . Okres maj 1973

L.p.	$\Delta \varepsilon_i$	n_i	$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$	$\phi / Z_i /$	P_i	n'_i	$\frac{(n'_i - n_i)^2}{n_i}$
1.	< 87	7	- 1.41	0.0793	0.0793	7.13	0.002
2.	87 - 88	12	- 0.89	0.1867	0.1074	9.67	0.562
3.	88 - 89	10	- 0.38	0.3520	0.1553	14.87	1.596
4.	89 - 90	17	0.14	0.5557	0.2037	18.33	0.096
5.	90 - 91	23	0.65	0.7422	0.1852	16.67	2.404
6.	91 - 92	12	1.17	0.3790	0.1368	12.31	0.008
7.	92 - 93	6	1.68	0.9535	0.0745	6.71	0.073
8.	> 93	3	∞	1.0000	0.0465	4.19	0.333
9.	Σ	90			1.0000	90	5.07

$$n = 90$$

$$\bar{\varepsilon} = 89.7326$$

$$s = 1.9389$$

$$P \left\{ \chi^2_{5;0.4} / > \chi^2 = 5.07 \right\} \approx 0.4$$

$$\chi^2_{5;0.4} / = 5.132$$

T a b l i c a III . 16 . Obliczenie wartości χ^2 dla zmiennej ; uzysk
 metalu w koncentracji , ε . Okres : razem maj, czerwiec, lipiec 1972 r

L.p.	$\Delta \varepsilon_i$	n_i	$z_i = \frac{x - \bar{x}_1}{s}$	$\phi / z_i /$	P_i	n'_i	$\frac{n_i - n'_i}{n_i}^2$
1.	< 80	12	- 1.82	0.0344	0.0344	9.18	0.862
2.	80 - 81	14	- 1.40	0.0808	0.0464	12.39	0.209
3.	81 - 82	18	- 0.97	0.1660	0.0852	22.75	0.989
4.	82 - 83	29	- 0.55	0.2912	0.1252	33.43	0.585
5.	83 - 84	41	- 0.13	0.4483	0.1571	41.94	0.021
6.	84 - 85	41	0.29	0.6141	0.1658	44.27	0.241
7.	85 - 86	51	0.71	0.7611	0.1470	39.25	3.517
8.	86 - 87	28	1.14	0.8728	0.1117	29.82	0.111
9.	87 - 88	18	1.56	0.9406	0.0678	18.10	0.000
10.	> 88	15	∞	1.0000	0.0594	15.36	0.046
11.	Σ	267			1.0000	267	6.58

$$n = 267$$

$$\bar{\varepsilon} = 84.3086$$

$$s = 2.3698$$

$$P \left\{ \chi^2_{/7;0.4/} > \chi^2 = 6.58 \right\} \approx 0.45$$

$$\chi^2_{/7;0.4/} = 7.283$$

T a b l i c a III. 17 . Sprawdzenie

normalności rozkładów dla zmiennej :

zawartość metalu w nadawie , α .

Okres	miesiąc	Wartość wylicz. χ^2	Ilość stopni swobo- dy.	Wartość tablicz. χ^2_T	$P\left\{\chi^2 > \chi^2_T\right\}$
I. /1972/	maj	2.6876	3	2.946	0,45
	czerwiec	4.6599	3	4.642	0,20
	lipiec	4.1667	3	4.642	0,25
	Razem 3 mies.	13.21	9	14.684	0,15
II. /1973/	styczeń	4.0723	3	4.642	0,25
	luty	5.8931	3	6.251	0,15
	marzec	2.8747	3	2.946	0,40
	Razem 3 mies.	7.91	4	7.779	0,10
III. /1973/	maj	3.7102	3	3.665	0,30
	czerwiec	2.3765	3	2.366	0,50
	lipiec	4.1514	3	4.642	0,25
	Razem 3 mies.	12.250	9	12.242	0,20

T a b l i c a I I I . 18 . Sprawdzenie

normalności rozkładów dla zmiennej : zawartość

metal w koncentracie , β .

Okres	miesiąc	Wartość χ^2 wyliczona	Ilość stopni swobo- dy.	Wartość χ^2_T z tab- lic	$P\{\chi^2_T > \chi^2\}$
I. /1972/	maj	3.9945	4	4.045	0,4
	czerwiec	3.0681	4	3,357	0,55
	lipiec	2.0039	4	2.195	0,7
	Razem 3 mies.	0,2602	4	0,297	0,99
II. /1973/	styczeń	2.1122	4	2.195	0,7
	luty	2.0796	4	2.195	0,7
	marzec	4.3479	4	4.878	0,35
	Razem 3 mies.	1.1002	4	1.064	0,9
III. /1973/	maj	2.4162	4	2.753	0,65
	czerwiec	2.9874	4	3.357	0,55
	lipiec	1.6521	4	1.649	0,8
	Razem 3 mies.	0.2287	4	0.207	0,995

T a b l i c a III. 19. Sprawdzenie normalności

rozkładów dla zmiennej ; zawartość metalu w odpadach 18

Okres	miesiąc	Wartość χ^2	Ilość stopni swobo- dy	Wartość tabliczo- wa $\chi^2_{1\alpha}$	$P \{ \chi^2_r > \chi^2 \}$
I. /1972/	maj	8.2037	4	9.488	0,08
	czerwiec	10.67	11	11.530	0,45
	lipiec	6.4821	4	7.779	0,15
	razem 3 mies.	19.50	11	19.675	0,05
II. /1973/ /	styczeń	17.30	11	17.275	0,15
	luty	4.9914	4	4.878	0,30
	marzec	10.95	10	11.781	0,35
	razem 3 mies.	14.52	11	14.631	0,20
III. /1973/	maj	5.2679	4	5.989	0,25
	czerwiec	6.52	3	6.251	0,10
	lipiec	3.9786	4	4.045	0,40
	razem 3 mies.	7.7873	4	7.779	0,10

T a b l i c a III. 20 . Sprawdzenie normalności rozkładów

dla zmiennej ; uzysk metalu w koncentracji , $\bar{x}$.

Okres	miesiąc	Wartość χ^2 wyliczo- na	Ilość stopni swobo- dy.	Wartość χ^2_{τ} tablicowa	$P\{\chi^2_{\tau} > \chi^2\}$
I. /1972/	maj	9.6844	7	9.803	0,20
	czerwiec	5,1877	7	5.493	0,65
	lipiec	6.4000	7	6,346	0,50
	razem 3 mies.	6.5779	7	7.283	0,45
II. /1973/	styczeń	5.3931	7	5.493	0,60
	luty	8.21	5	8,558	0,20
	marzec	8.3124	7	8.383	0,35
	razem 3 mies.	6.9911	7	7.283	0,45
III. /1973/	maj	5.07	5	5.132	0,40
	czerwiec	9.32	5	9.236	0,10
	lipiec	5.18	4	5.989	0,25
	razem 3 mies.	5.55	5	6.064	0,35

T a b l i c a III. 21 . Wartości współczynników korelacji całkowitej

dla okresów 1 - miesięcznych .

L.p.	Miesiące i ilość danych	$r_{\alpha\beta}$	$r_{\alpha\delta}$	$r_{\alpha\varepsilon}$	$r_{\alpha\gamma}$	$r_{\beta\delta}$	$r_{\beta\varepsilon}$	$r_{\beta\gamma}$	$r_{\varepsilon\delta}$	$r_{\delta\gamma}$	$r_{\varepsilon\gamma}$
1.	02.72/85/	0,2333	<u>0,1251</u>	0,2423	0,2991	<u>0,0757</u>	- 0,3116	- 0,8291	- 0,8867	-0,3909	0,5302
2.	03.72/88/	0,3111	0,2987	0,3622	<u>0,1955</u>	<u>0,1565</u>	- <u>0,1096</u>	- 0,7101	- 0,7729	-0,3241	0,5603
3.	04.72/83/	<u>0,0861</u>	0,4011	0,2653	0,3875	0,2348	- 0,2413	- 0,8059	- 0,7901	-0,1633	0,4940
4.	05.72/89/	<u>0,1695</u>	0,5877	<u>0,0469</u>	0,3996	0,3802	- 0,4121	- 0,8125	- 0,8285	-0,1210	0,4679
5.	06.72/87/	0,3677	<u>0,1384</u>	0,3780	0,4251	<u>0,1569</u>	<u>0,0046</u>	- 0,6484	- 0,8603	-0,2762	0,5064
6.	07.72/92/	0,3140	0,5981	<u>0,0340</u>	0,4213	0,3103	- <u>0,1669</u>	- 0,6950	- 0,7750	- <u>0,0135</u>	0,3681
7.	Średnie arytmēt. współcz. korel. /87/	0,2504	0,3560	0,2240	0,3471	0,2254	- <u>0,2044</u>	- 0,7522	- 0,8232	-0,2383	0,4990
8.	Współcz. korelacji częstk. / z poz.7/	0,273	0,710	0,710	-	0,134	- 0,268	-	- 0,815	-	-

T a b l i c a III. 22 . Wartości współczynników korelacji

całkowitej dla okresów dwu- , trzy- i czteromiesięcznych .

L.p.	Miesiące i ilość danych	$r_{\alpha\beta}$	$r_{\alpha\gamma}$	$r_{\alpha\epsilon}$	$r_{\alpha\delta}$	$r_{\beta\delta}$	$r_{\beta\epsilon}$	$r_{\beta\delta}$	$r_{\gamma\epsilon}$	$r_{\gamma\delta}$	$r_{\epsilon\delta}$
1.	02.03.72 / 173 /	0.1945	<u>0.1053</u>	0.3147	0.4233	<u>0.1221</u>	- 0.2211	- 0.8000	0.8548	-0.4029	0.5362
2.	04.05.72 / 172 /	<u>0.0998</u>	0.3987	<u>0.1235</u>	0.3774	0.3200	- 0.3661	- 0.7310	0.8232	-0.1829	0.5222
3.	06.07.72 / 179 /	0.2687	0.4003	<u>0.1016</u>	0.4534	0.2555	- <u>0.0682</u>	- 0.6785	0.8076	- <u>0.1213</u>	0.4171
4.	śr.arytm. wsp.korel. /175/ /	0.1876	0.3014	0.1799	0.4180	0.2325	0.2184	- 0.7365	-0.8285	-0.2357	0.4918
5.	02.03.04. 1972/256/	0.2597	0.3775	0.2672	0.4024	0.1628	-0.2576	-0.8194	-0.8229	-0.2483	0.5368
6.	05.06.07. 1972/268/	0.3140	0.4911	0.1651	0.4180	0.3049	-0.1706	-0.7016	-0.7954	-0.1622	0.4648
7.	Śr.arytm. wsp.korel. /262/	0.2868	0.4343	0.2161	0.4102	0.2338	- 0.2141	-0.7605	- 0.8081	-0.2052	0.5008
8.	04.05.06.07. 1972 /351/	0.2822	0.4182	0.1737	0.4002	0.3017	-0.2214	-0.7623	-0.8121	-0.1526	0.4738

T a b l i c a III . 23 . Wartości współczynników korelacji

cząstkowej dla wytypowanego okresu .

L.p.	Okres / miesiące /	Ilość danych	$r_{\alpha\beta,\gamma\epsilon}$	$r_{\alpha\gamma,\beta\epsilon}$	$r_{\alpha\epsilon,\gamma\beta}$	$r_{\beta\gamma,\alpha\epsilon}$	$r_{\beta\epsilon,\gamma\alpha}$	$r_{\gamma\epsilon,\beta\alpha}$
1.	maj 1972	89	<u>0,192</u>	0,480	0,499	0,323	- 0,472	- 0,893
2.	czerwiec 1972	87	0,248	0,291	0,314	0,509	- <u>0,121</u>	- 0,937
3.	lipiec 1972	92	<u>0,053</u>	0,338	0,213	0,418	- 0,283	- 0,860
4.	Razem trzy miesiące	268	<u>0,115</u>	0,387	0,396	0,527	- 0,408	- 0,911

T a b l i c a III. 24. Wpływ długości okresu , z którego brano
średnie wskaźniki na wartość współczynników korelacji cząstkowej.

L.p.	Ilość zmian technologicz., o k r e s /miesiące/	Ilość da- nych	$r_{\alpha\beta.\vartheta\epsilon}$	$r_{\alpha\vartheta.\beta\epsilon}$	$r_{\alpha\epsilon.\beta\vartheta}$	$r_{\beta\vartheta.\epsilon\alpha}$	$r_{\beta\epsilon.\alpha\vartheta}$	$r_{\vartheta\epsilon.\alpha\beta}$
1.	1 zmiana / Tabl.III.21 l.p. 8 /	śr. ok.88	0,273	0,710	0,710	<u>0,134</u>	-0,268	-0,815
2.	3 zmiany / wyniki średnie dobowe / , średnia z 2 okresów : 02 + 04.72 i 05 + 07.72	85 1 87	-- -- 0,1639	-- -- 0,3299	-- -- <u>0,1325</u>	-- -- 0,3190	-- -- -0,2993	-- -- -0,8925
3.	6 zmian / wyniki średnie 2-dobowe / ,średnia od 04. do 07.72	58	-- <u>0,1187</u>	-- <u>0,1026</u>	-- 0,5100	-- 0,4761	-- -0,3863	-- -0,7980
4.	12 zmian / wyniki średnie z czterech dób / od 02. do 07.72	43	-- <u>0,1200</u>	-- <u>0,2664</u>	-- 0,3128	-- 0,4056	-- -0,4258	-- -0,8294
5.	30 zmian / wyniki średnie z dekady / rok 1972 i 1973	36 1 36	-- <u>0,1280</u> <u>0,1422</u>	-- <u>0,2367</u> <u>0,2179</u>	-- 0,3258 0,3451	-- 0,4941 0,5089	-- -0,4647 -0,4897	-- -0,8384 -0,8105

T a b l i c a III. 25 . Oszacowanie podstawo-
wych parametrów statystycznych dla wybranej próby.

L.p.	Parametr statys- tyczny	α	β	ϑ	δ	ε
1.	05.1972	1.3644	20.1060	0.2236	5.8265	84.5723
	1. $\bar{x}$					
	2. s_x^2	0.0132	6.3157	0.0381	0.7508	4.5837
	3. s_x	0.1150	2.5131	0.0381	0.8665	2.1410
	4. V_x	8.4286	12.4992	17.0394	14.8717	2.5316
2.	06.1972	1.3518	19.8508	0.2316	5.7515	83.7752
	1. $\bar{x}$					
	2. s_x^2	0.0102	3.7657	0.00168	0.4287	6.5979
	3. s_x	0.1012	1.9405	0.0342	0.6547	2.5636
	4. V_x	7.4863	9.7754	14.7668	11.3831	3.0661
3.	07.1972	1.4360	20.7871	0.2363	5.9259	84.5103
	1. $\bar{x}$					
	2. s_x^2	0.0233	8.0952	0.00200	0.8429	5.5039
	3. s_x	0.1527	2.8452	0.0448	0.9181	2.3460
	4. V_x	10.6337	13.6873	18.9589	15.4930	2.7760
4.	Razem 3 mies.	1.3849	20.0257	0.2306	5.8363	84.2923
	1. $\bar{x}$					
	2. s_x^2	0.0171	6.2564	0.00158	0.6830	5.6826
	3. s_x	0.1308	2.5013	0.0397	0.8264	2.3838
	4. V_x	9.4447	12.4904	17.2159	14.1596	2.8280

- z uwzględnieniem przerobów rudy .

L.p.	Parametr statystyczny	α	β	γ	δ	ε
1.	1/ Wart. oczekiw.	1.3569	20.0514	0.2215	5.8127	84.6116
	2/ Wariancja	0.00911	6.19130	0.00108	0.68546	4.28846
	3/ Odchyl. stand.	0.0955	2.4882	0.0329	0.8279	2.0709
	4/ Wsp. zmienn.	7.0353	12.4093	14.8653	14.2435	2.4474
2.	1/ $\bar{x}$	1.3555	19.9102	0.2323	5.7468	83.7684
	2/ s_x^2	0.00908	3.52709	0.00119	0.41284	6.6809
	3/ s_x	0.0995	1.8781	0.0344	0.6425	2.5848
	4/ v_x	7.3433	9.4327	14.8228	11.1807	3.0856
3.	1/ $\bar{x}$	1.4309	20.8220	0.2346	5.8984	84.5538
	2/ s_x^2	0.02363	8.1431	0.00191	0.84457	5.4072
	3/ s_x	0.1537	2.8536	0.0437	0.9190	2.3253
	4/ v_x	10.7418	13.7049	18.6365	15.5804	2.7501
4.	1/ $\bar{x}$	1.3807	20.2566	0.2295	5.8185	84.3086
	2/ s_x^2	0.01538	6.0899	0.00142	0.64930	5.6159
	3/ s_x	0.1240	2.4678	0.0377	0.8058	2.3698
	4/ v_x	8.9822	12.1825	16.4413	13.8483	2.8108

T a b l i c a III. 27. Oszacowanie współczynników korelacji

całkowitej z uwzględnieniem " wag " .

L.p.	Okres i ilość danych	$r_{\alpha\beta}$	$r_{\alpha\gamma}$	$r_{\alpha\varepsilon}$	$r_{\alpha\delta}$	$r_{\beta\gamma}$	$r_{\beta\varepsilon}$	$r_{\beta\delta}$	$r_{\gamma\varepsilon}$	$r_{\gamma\delta}$	$r_{\varepsilon\delta}$
1.	05.72 /89/	<u>0.2051</u>	0.4702	<u>0.0311</u>	0.3231	0.4356	-0.4217	-0.8393	-0.8367	-0.2698	0.5273
2.	06.72 /87/	0.3501	<u>0.1312</u>	0.3749	0.4478	<u>0.1436</u>	<u>0.0063</u>	-0.6419	-0.8657	-0.2723	0.5076
3.	07.72 /88/	0.3168	0.5896	<u>0.0681</u>	0.4295	0.3059	<u>-0.1486</u>	-0.6868	-0.7598	<u>-0.0093</u>	0.3748
4.	3 mies. /268/	0.3200	0.4422	0.1664	0.4013	0.3085	-0.1623	-0.7070	-0.8054	-0.1491	0.4548

Tabl. III. 28 . Oszacowanie współczynników

równań regresji / bez uwzględnienia " wag "

L.p.	okres	Równanie regresji			R	F
		$\hat{y} = a_1 + a_2\alpha + a_3\beta$				
		a_1	a_2	a_3		
1.	05.72	0.1079	0.1784	$4.368 \cdot 10^{-3}$	0.6531	31.9833
2.	06.72	0.1462	0.0215	$2.162 \cdot 10^{-3}$	0.1793	1.3951
3.	07.72	0.0419	0.1628	$2.144 \cdot 10^{-3}$	0.6119	26.6342
4.	RAZEM 3 mies.	0.0082	0.1331	$2.637 \cdot 10^{-3}$	0.5168	48.2843

Tabl. III. 29. Oszacowanie współczynników

równań regresji / z uwzględnieniem "wag"/

L.p.	okres	Równanie regresji			R	F
		$\hat{y} = a_1 + a_2\alpha + a_3\beta$				
		a_1	a_2	a_3		
1.	05.72	0.0585	0.1371	$4.685 \cdot 10^{-3}$	0.5841	22.2675
2.	06.72	0.1484	0.0312	$2.041 \cdot 10^{-3}$	0.1676	1.2138
3.	07.72	0.0305	0.1558	$2.029 \cdot 10^{-3}$	0.6028	25.3990
4.	Razem 3 mies.	0.0111	0.1164	$2.845 \cdot 10^{-3}$	0.4761	38.9372

T a b l i c a III. 30 - Analiza statystyczna równań z tabl. III. 29

i równań lp 4 z tablicy III. 28 .

L.p.	Parametr statyst.	05.72	06.72	07.72	3 miesiące	3 miesiące bez "wag"
1.	Średnia α	1.3569	1.3555	1.4309	1.3307	1.3349
2.	"- β	20.0514	19.9102	20.8219	20.2566	20.0257
3.	"- γ	0.2215	0.2323	0.2346	0.2295	0.2306
4.	"- δ	5.8127	5.7468	5.8984	5.8135	5.8363
5.	"- ϵ	84.0159	83.7664	84.5538	84.4303	84.2923
6.	Współcz. regr. a_1	0.0535	0.1434	0.0354	0.0111	0.00823
7.	95% przedział ufn.od	0.0612	0.1451	0.0329	0.0096	0.0564
8.	"- do	0.0556	0.1517	0.0281	0.0126	0.0400
9.	Wartość temp.	44.0274	89.6632	25.4684	14.5513	0.3346
10.	Współcz. regr. a_2	0.1371	0.0319	0.1558	0.1164	0.1331
11.	95% przedział ufn.od	0.1352	0.0295	0.1542	0.1154	0.1002
12.	"- do	0.1390	0.0343	0.1574	0.1175	0.1660
13.	Wartość temp.	146.3784	26.9814	197.4542	218.2114	7.9330
14.	Współcz. regr. a_3	$4.685 \cdot 10^{-3}$	$2.042 \cdot 10^{-3}$	$2.029 \cdot 10^{-3}$	0.00284	0.00269
15.	95% przedział ufn.od	$4.613 \cdot 10^{-3}$	$1.916 \cdot 10^{-3}$	$1.944 \cdot 10^{-3}$	0.00279	0.00096
16.	"- do	$4.757 \cdot 10^{-3}$	$2.167 \cdot 10^{-3}$	$2.114 \cdot 10^{-3}$	0.00290	0.00441
17.	Wartość temp.	130.5013	32.5600	47.7331	106.0954	3.0599

T a b l i c a III - 31. Przeliczenie współrzędnych równania regresji /50/

na inne układy współrzędnych .

L.p.	β_0	ϑ	γ_0	ε_0	R_{100}	E_{100}
	1	2	3	4	5	6
1.	15,0	0,2168	8,0036	85,7528	6,8997	78,8531
2.	16,0	0,2197	7,4798	85,4836	6,3722	79,1114
3.	17,0	0,2225	7,0183	85,2223	5,9079	79,3144
4.	18,0	0,2253	6,6086	84,9674	5,4960	79,4714
5.	19,0	0,2282	6,2424	84,7179	5,1281	79,5898
6.	20,0	0,2310	5,9131	84,4730	4,7976	79,6754
7.	21,0	0,2339	5,6155	84,2321	4,4992	79,7329
8.	22,0	0,2367	5,3451	83,9946	4,2284	79,7662
9.	23,0	0,2396	5,0984	83,7600	3,9815	79,7785
10.	24,0	0,2424	4,8725	83,5281	3,7557	79,7724
11.	25,0	0,2453	4,6647	83,2983	3,5482	79,7500

T a b l i c a I V . 1 . Oszacowanie
wartości średnich oraz 95 %-towe
przedz. ufności średnich .

Wskaźnik	Wartość oczeki- wana i 95% przedz. ufności	Okres I	Okres II	Okres III
α	$\bar{\alpha}$	1.3807	1.3873	1.4205
	g.gr	1.3956	1.4023	1.4411
	d.gr	1.3659	1.3724	1.3999
β	$\bar{\beta}$	20.2566	17.0813	14.6496
	g.gr	20.5521	17.3340	14.8850
	d.gr	19.9961	16.8226	14.4141
γ	$\bar{\gamma}$	0.2295	0.1829	0.1634
	g.gr	0.2340	0.1869	0.1671
	d.gr	0.2250	0.1789	0.1596
δ	$\bar{\delta}$	5.8185	7.2490	8.8028
	g.gr	5.9150	7.3962	8.9786
	d.gr	5.7221	7.1018	8.6270
ϵ	$\bar{\epsilon}$	84.3086	87.7168	89.4071
	g.gr	84.5923	87.9905	89.6631
	d.gr	84.0248	87.4431	89.1512
Ilość danych		268	266	270

T a b l i c a IV. 2 . Oszacowanie wariancji
 s^2 , odchylenia standardowego s , współczyn-
nika zmienności v / % / .

	parametry zmienności	Okres I	Okres II	Okres III
α	s^2	0.01538	0.01543	0.02979
	s	0.1240	0.1242	0.1726
	v	3.9822	8.9541	12.1508
β	s^2	6.08991	4.6332	3.8958
	s	2.4678	2.1525	1.9738
	v	12.1825	12.6014	13.4732
γ	s^2	0.00142	0.00112	0.000979
	s	0.0377	0.0347	0.0313
	v	16.4413	18.2988	19.1538
δ	s^2	0.6493	1.4995	2.1721
	s	0.8058	1.2245	1.4738
	v	13.8483	16.8993	16.7423
ϵ	s^2	5.6159	5.1867	4.6057
	s	2.3698	2.2774	2.1461
	v	2.8108	2.5963	2.4004

T a b l i c a IV. 3. Oszacowanie współczynników korelacji całkowitej

	$r/\alpha\beta /$	$r/\alpha\delta /$	$r/\alpha\gamma /$	$r/\alpha\varepsilon /$	$r/\beta\delta /$	$r/\beta\gamma /$	$r/\beta\varepsilon /$	$r/\gamma\delta /$	$r/\gamma\varepsilon /$	$r/\varepsilon\gamma /$
Okr. I.	$r:$ 0.3200 $t:$ 5.508	0.4423 8.042	0.4013 7.146	0.1664 2.753	0.3035 5.290	- 0.7070 -16.31	-0.1623 -2.683	-0.1491 -2.459	- 0.8054 -22.16	0.4548 8.329
Okr. II.	$r:$ 0.0727 $t:$ 1.185	0.2779 4.700	0.5145 9.750	0.2419 4.051	0.2490 4.178	- 0.7322 -20.40	-0.2611 -4.395	-0.1905 -3.153	- 0.8577 -27.10	0.4996 9.372
Okr. III.	$r:$ 0.2689 $t:$ 4.570	0.2608 4.423	0.5588 11.03	0.3699 6.517	0.3720 6.562	- 0.6242 -13.08	-0.2308 -3.883	-0.2204 -3.699	- 0.7917 -21.21	0.5913 12.00

$$P \{ / t / \geq t_{0,1;250} = 1,65 \} = 0,1$$

$$P \{ / t / \geq t_{0.05;250} = 1,96 \} = 0.05$$

T a b l i c a IV. 4 .

Analiza statystyczna równań regresji

(50) (51) (52)

L.p.	Parametr statyst.	I okres	II okres	III okres
1.	Współcz.regr. a_1	0.0111	0.0242	0.0431
2.	od	0.0096	0.0228	0.0421
3.	95 % przedz. ufności do	0.0126	0.0256	0.0442
4.	temp.	14.5513	31.6216	80.5788
5.	Współcz.regr. a_2	0.1164	0.0704	0.0314
6.	od	0.1538	0.0695	0.0308
7.	95 % przedz. ufności do	0.1748	0.0712	0.0321
8.	temp.	218.2114	151.5151	96.6064
9.	Współcz.regr. a_3	$2.845 \cdot 10^{-3}$	$3.577 \cdot 10^{-3}$	$5.159 \cdot 10^{-3}$
10.	od	$2.792 \cdot 10^{-3}$	$3.525 \cdot 10^{-3}$	$5.104 \cdot 10^{-3}$
11.	95 % przedz. ufności do	$2.897 \cdot 10^{-3}$	$3.630 \cdot 10^{-3}$	$5.216 \cdot 10^{-3}$
12.	temp.	106.0954	133.3954	181.5015
13.	Współcz.korel. wielor. R	0.4761	0.3604	0.4078
14.	Wartość testu F	38.8372	19.6300	26.6297

$$F_{\text{emp}} \gg F_{0.05, 2, 200} = 3.04$$

T a b l i c a I V . 5 . W y z n a c z e n i e w s p ó ł r z ę d n y c h k r z y w e j s k u t e c z n o ś c i

w z b o g a c a n i a d l a r ó w n a n i a / 5 1 / , o k r e s I I , $\alpha = 1.4$ /

L.p.	β_0	ϑ_0	δ_0	ε_0	R 100	E 100
1.	12,0	0,1656	10,4306	89,4051	9,3092	80,0959
2.	13,0	0,1692	9,5925	89,0732	8,4639	80,6093
3.	14,0	0,1728	8,8752	88,7520	7,7410	81,0110
4.	15,0	0,1763	8,2548	88,4446	7,1162	81,3284
5.	16,0	0,1799	7,7123	88,1404	6,5703	81,5701
6.	17,0	0,1835	7,2340	87,8420	6,0895	81,7525
7.	18,0	0,1871	6,8093	87,5482	5,6629	81,8853
8.	19,0	0,1906	6,4296	87,2584	5,2819	81,9765
9.	20,0	0,1942	6,0880	86,9719	4,9396	82,0323
10.	21,0	0,1978	5,7792	86,6883	4,6304	82,0579
11.	22,0	0,2014	5,4986	86,4072	4,3498	82,0574

T a b l i c a I V . 6 . Wyznaczenie współrzędnych krzywej skuteczności

wzbogacania dla równania / 52 / , okres III, ($\alpha = 1.4$).

L.p.	β_0	ν_0	γ_0	ε_0	R_{100}	E_{100}
1.	10,0	0,1387	12,7901	91,3571	11,6744	79,6827
2.	11,0	0,1439	11,5703	90,9071	10,4435	80,4636
3.	12,0	0,1490	10,5559	90,4800	9,4211	81,0589
4.	13,0	0,1542	9,698	90,0528	8,5570	81,4958
5.	14,0	0,1593	8,964	89,6400	7,8184	81,8216
6.	15,0	0,1645	8,3277	89,2258	7,1790	82,0467
7.	16,0	0,1697	7,7718	88,8206	6,6210	82,1996
8.	17,0	0,1749	7,2816	88,4194	6,1295	82,2899
9.	18,0	0,1800	6,8461	88,0217	5,6935	82,3282
10.	19,0	0,1852	6,4567	87,6269	5,3042	82,3227
11.	20,0	0,1903	6,1064	87,2345	4,9545	82,2800

S p i s r y s u n k ó w

Rozdz. 2.1

- II.1 Model procesu wzbogacania
 - a) przykład wzbogacania idealnego
 - b) przykład wzbogacania rzeczywistego.
- II.2 Proces wzbogacania jako cybernetyczna "czarna skrzynka".

Rozdz. 2.2.1 -

Rozdz. 2.2.2

- II.3 Krzywa średnich wartości Mayera. Wyniki flotacji łupkowej rudy miedzi o różnych zawartościach metalu w nadawie.
 - 1 - ruda z kop. "Polkowice"
 - 2 - ruda z kop. "Lubin"
- II.4 Zmodyfikowana krzywa Mayera. Wyniki flotacji łupkowej rudy miedzi (dane jak dla krzywej 1 z rys. II,3).
- II.5 Interpretacja graficzna wyników wzbogacania według Nixona - Moira (wzbogacalność siarczkowej rudy miedzi typu Nhanga) / 45 /.
- II.6 Krzywa Della. Wyniki flotacji frakcjonowanych czystej piaskowcowej rudy miedzi z rejonu Lubina.
- II.7 Krzywa Della wzbogacalności czystej rudy piaskowcowej (według danych jak na rys II.6).

- II.8 Krzywe analizy uwalniania Della otrzymane w wyniku flotacji rudy miedzi przy różnym stopniu uwolnienia / 28 /.
- II.9 Krzywa wzbogacalności siarczkowej rudy miedzi typu Shackleton w układzie współrzędnych uzysk metalu w koncentracie - jakoś koncentratu / 25 /.
- II.10 Krzywa wzbogacalności z rys II.9 przekształcona do postaci równościowej / 25 /.
- II.11 Krzywa jak na rys II. 10 w układzie współrzędnych obróconych o kąt 180° . / 25 /.
- II.12 Krzywa wzbogacalności Della dla danych jak na rys II.8 do 11, (krzywa 1).

Rozdz. 2.2.3. -

Rozdz. 2.3 -

Rozdz. 3.1 :

- III.1 Wzbogacalność odmian litologicznych rudy miedzi z rejonu Lubina.
- III.2 Obraz wzbogacalności lubińskiej rudy miedzi.
- III.3 Wycinek rys III.2 w powiększonej skali wraz z krzywymi wzbogacalności (flotacji) otrzymanymi przy różnych warunkach doświadczeń :
- 1 - słabe uwolnienie (10 mm. mielenia) odczynnik pianotwórczy - - terpineol,

- 2 - lepsze uwolnienie (20min. mielenia) odczynnik pianotwórczy - α -terpineol
- 3 - 10 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AC,
- 4 - 20 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AC,
- 5 - 10 min. mielenia odczynnik pianotwórczy AD +TM,
- 6 - 45 min. mielenia (przemielenie) odczynnik pianotwórczy AD +TM,
- 7 - 20 min. mielenia, odczynnik pianotwórczy AD + TM.

- III.4 Krzywa "g", "p" i "d" z rys III.2 w układzie jakości koncentratu - uzysk metalu w koncentracie.
- III.5 Krzywa "g", "p" i "d" z rys. II.2 w układzie jakości koncentratu - zawartość metalu w odpadach.
- III.6 Krzywa z rys III.4 w powiększonej skali.
- III.7 Krzywa z rys. III.5 w powiększonej skali.
- III.8 Krzywa skuteczności technologicznej flotacji czystej piaskowcowej rudy lubińskiej. Wyznaczenie optymalnego technologicznie wychodu koncentratu.
- III.9 Krzywa skuteczności technologicznej dla dolnej (krzywe "p" i "d") granicy wzbogacalności rudy lubińskiej.
- III.10 Krzywe skuteczności technologicznej dla górnej "g" i dolnej "p", "d" granicy wzbogacalności rudy lubińskiej. Wyznaczenie optymalnych technologicznie uzysków.

Rozdz. 3.2

- III.11 Schemat jakościowy Iciagu technologicznego
Z W R "Lubin" (rok 1972)

Rozdz. 3.2

- III.12 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w nadawie.
- III.13 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w koncentracie.
- III.14 Rozkład teoretyczny i empiryczny zawartości metalu w odpadach.
- III.15 Rozkład teoretyczny i empiryczny uzysku metalu w koncentracie.
- III.16 Rozkłady teoretyczne i empiryczne uzysku metalu w koncentracie dla różnych okresów.

Rozdz. 3.4

- III.17 Wartości krytyczne współczynnika korelacji całkowitej i cząstkowej (wykres sporządzono na podstawie danych z tablic w / 85 /).
- III.19 Empiryczne linie regresji dla zależności jakości nadany od zawartości metalu w koncentracie.
- III.20 Empiryczne linie regresji dla zależności jakości nadawy od zawartości metalu w odpadach.
- III.21 Empiryczne linie regresji dla zależności uzysku i wychodu koncentratu od jakości nadowy.

III.22 Empiryczne linie regresji dla zależności pomiędzy jakością koncentratu a zawartością metalu w odpadach.

III.23 Empiryczne linie regresji dla zależności uzysku i wychodu koncentratu od jakości koncentratu.

III.24 Empiryczne linie regresji dla zależności uzysku i wychodu koncentratu od zawartości metalu w odpadach.

Rozdział 3.5

III.25 Interpretacja graficzna równania regresji (tabl. III.28), 05.72.

III.26 Interpretacja graficzna równania regresji (tabl. III.28), 06.72.

III.27 Interpretacja graficzna równania regresji (tabl. III.28), 07.72.

III.28 Interpretacja graficzna równania regresji (tabl. III.28) 3 miesiące.

III.29 Interpretacja graficzna równania regresji ("ważone") 05.72

III.30 Interpretacja graficzna ^{równania} regresji ("ważone"), 06.72

III.31 - " - - " - - " - - " - , 07.72

III.32 - " - - " - - " - - " - 3 miesiące

III.33 Interpretacja graficzna równania regresji (50) w układzie współrzędnych zawartości metalu w koncentracie - uzysku metalu w koncentracie.

- III.34 Interpretacja graficzna równania regresji (50)
w układzie współrzędnych Della.
- III.35 Krzywa skuteczności technologicznej dla linii
regresji $\alpha = 1.4$ z rys. III.32. Wyznaczenie opty-
malnego technologicznie wychodu koncentratu.
- III.36 Krzywa skuteczności technologicznej jak na rys.
III.35. Wyznaczenie optymalnego uzysku.

Rozdz. 4

- IV.1 Schemat jakościowy I ciągu technologicznego
Z W R "Lubin" po zmianie schematu (III okres).
- IV.2 Interpretacja graficzna równań regresji z tabl.
IV.4 dla $\alpha = 1.4$ - 3 okresy.
- IV.3 Interpretacja graficzna równań regresji z tabl.
IV.4 w układzie współrzędnych $\beta - \varepsilon$; $\alpha = 1.4$ -
3 okresy.
- IV.4 Porównanie skrajnych krzywych wzbogacalności
z rys. III.7 z otrzymanymi liniami regresji dla
wyników przemysłowych 1,2,3 - linie z rys IV.2.
- IV.5 Porównanie skrajnych krzywych wzbogacalności
z rys III.6 z liniami regresji dla wyników
przemysłowych w układzie jakości koncentratu
- uzysk metalu w koncentracie. Linie 1,2 i 3 są
liniami z rys IV.3.
- IV.6 Równania regresji (50, 51 i 52) z tabl IV.4 w
układzie współrzędnych Della wraz z krzywymi
"g" , "d" i "p" z rys III 2 i III.3.

IV.7 Krzywe skuteczności technologicznej dla linii regresji jak na rys IV.2. Wyznaczenie optymalnego technologicznie wychodu koncentratu.

IV.8 Krzywe skuteczności technologicznej dla linii regresji jak na rys IV.2. Wyznaczenie optymalnego technologicznie uzysku metalu w koncentracie.

Lista odbiorców

1. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej	- 1
2. Dział Wydawnictw Politechniki Wrocławskiej	- 1
3. Dział Dokumentacji i Informacji Instytutu Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich	- 1
4. Doc.dr hab. inż Marek Stefański, Politechnika Wrocławska	- 1
5. Prof.dr hab. inż. Janusz Laskowski, Politechnika Wrocławska	- 1
6. Doc.dr hab. inż. Kazimierz Żmudziński, ZBiPM "Cuprum", Wrocław	- 1
7. Instytut Górnictwa, Politechniki Wrocławskiej	- 3
8. Autor	- 1

Symbol UKD Słowny odpowiednik symbolu UKD:		Symbol identyfikacji pracy:	
422.7 Górnictwo		76: Inst.Ch.Nieorg.P.Wr.	
Dyscyplina naukowa:		MNSzWiT	
: Górnictwo i Nauki o Ziemi			
Specjalność:			
: Przeróbka i wzbogacanie	R	I-5	

Autor: Łuszczkiewicz Andrzej

T Tytuł pracy: Ocena przebiegu procesów przeróbczych w zakładach przeróbki rud miedzi w świetle badań statystycznych

: ☐ ☐

ss. 166 rys. 54 tabl. 39 wykr. — poz. bibliogr. 87

(w przypadku pracy opublikowanej podać pełny opis bibliograficzny publikacji).

Data zgłoszenia pracy w Urzędzie Patentowym PRL:

:	Nr tematu	Nr zlecenia	Nr archiwum	APW	CINTE
	—	—	I-5/K-160/75	tak	tak

Rodzaj pracy: rozprawa doktorska

Data rozpoczęcia pracy: 10.72

Data zakończenia pracy: 6.75

Promotor (tytuł, nazwisko, imię): doc. dr hab. inż. Marek Stefański

Wyniki badań (zastosowane w praktyce — gdzie; przekazane do zastosowania — komu; nadają się do przekazania — komu; stanowią podstawę do dalszych badań; jeśli praca była zamówiona, podać przez kogo):

na odwrocie analiza (zachować układ pionowy)

Nazwa modelu (prototypu) urządzenia:

Główne parametry techniczne:

Dokonano próby określenia wskaźników, które umożliwiłyby prawidłową i łatwą ocenę technologii wzbogacania rud miedzi. Na przykładzie danych z konkretnego zakładu przemysłowego przebadano metodami statystycznymi podstawowe wskaźniki flotacji. Wykazano, że analizę procesu należy przede wszystkim na badaniach korelacji pomiędzy zawartością metalu w odpadach V i koncentracją β oraz w nadawie d . Jako wskaźnik oceniający proces zaproponowano liniowe równania regresji w formie krzywej wzbogacalności $\beta = f(\beta, d)$. Analiza trzech różnych wariantów technologii oparta o ten wskaźnik potwierdziła jego przydatność dla oceny procesu przemysłowego.

(miejsce na fotografię)

: słowa kluczowe: przeróbka kopalin, technologia wzbogacania, rudy miedzi, ocena procesów

~~~~~