

Stanisław LENCZOWSKI

Jacek KORDEK

Kazimierz SZTABA

#### PROBLEMY ZASTOSOWANIA ANALIZY OBRAZÓW W KONTROLI PROCESÓW PRZERÓBCZYCH

**Streszczenie.** W artykule zestawiono informacje na temat zbudowanego i oprogramowanego w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH Cyfrowego Eksperymentalnego Systemu Rozpoznawania Obrazów CESARO, a także na temat odwzorowania brył przestrzennych na podstawie ich cieni. Szerzej opisano zasadę i wyniki optycznych analiz dyfraktometrycznych w zastosowaniu do badań nad rozpoznawaniem cech technologicznych przemysłowych pian flotacyjnych.

#### 1. WSTĘP

Zmiany cech fizycznych surowców mineralnych, zachodzące podczas procesów wzbogacania czy przeróbki, są zauważalne wizualnie. Dotyczy to głównie zmian wielkości uziarnienia, zabarwienia produktu związanego ze zmianą zawartości minerału użytecznego itp. Dotyczy to również niektórych zjawisk wtórnych, zachodzących w procesie przeróbki, a związanych z nim bezpośrednio, np. barwa i struktura piany flotacyjnej. Zmiany te tworzą informację optyczną o zachodzącym procesie. Wraz z innymi rodzajami informacji, otrzymanymi, np. metodami fizycznymi (pomiaru gęstości), mineralogicznymi i chemicznymi, czy niekiedy radiometrycznymi, informacja optyczna może stanowić podstawę opisu procesu technologicznego i być wykorzystywana w jego realizacji.

Informacja optyczna w postaci obrazów - celem prawidłowego jej wykorzystania - poddana musi być zazwyczaj odpowiedniemu przetwarzaniu. Istnieją dwa podstawowe sposoby przetwarzania informacji optycznej:

- a) przetwarzanie binarne,
- b) przetwarzanie analogowe.

Przetwarzanie binarne informacji optycznej, czyli cyfrowe przetwarzanie obrazów, realizowane jest za pomocą różnego rodzaju komputerowych analizatorów obrazów. W Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH zaprojektowano i zbudowano taki analizator o nazwie CESARO.

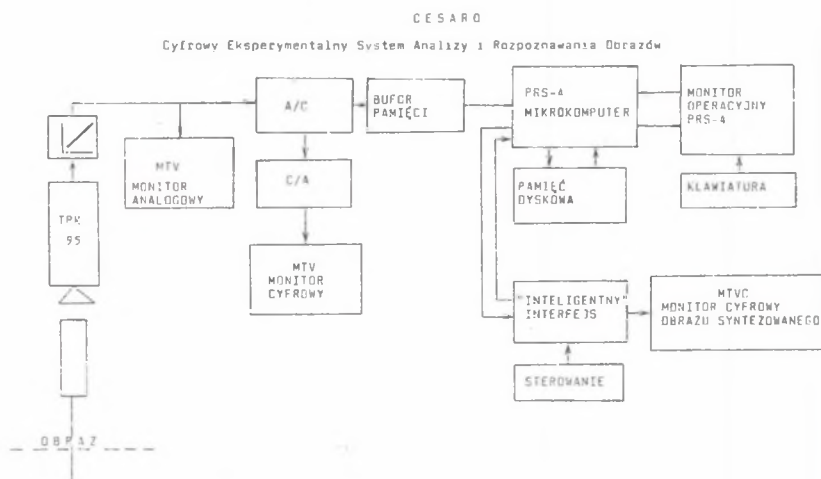
Przetwarzanie analogowe informacji optycznej daje nieco inną możliwość analizy obrazu, niż analiza komputerowa i jest ostatnio przedmiotem zainteresowania autorów. Przy współpracy z Centralnym Laboratorium Optyki w Warszawie temat ten jest systematycznie rozwijany.

## 2. System CESARO

System CESARO - Cyfrowy Eksperymentalny System Analizy i Rozpoznawania Obrazów stanowi urządzenie do komputerowej analizy obrazów optycznych, wyposażone w specjalistyczne oprogramowanie dla celów szeroko rozumianej przeróbki surowców mineralnych [1].

Schemat blokowy systemu CESARO przedstawia rysunek 1. Obraz (scena) wprowadzany jest do systemu za pomocą specjalnie dostosowanej kamery telewizyjnej telewizji przemysłowej. Po zmodyfikowaniu i przetworzeniu w systemie przetworników analogowo-cyfrowych obraz przesyłany jest do pamięci buforowej, a następnie do pamięci mikrokomputera. Jednorazowo przekazywany obraz ma wymiar 128 x 128 pikseli i kwantowany jest na 16 poziomów szarości (4 bity). Całkowity czas transmisji wynosi 1 ms, w pamięci komputera mogą być przechowywane i przetwarzane równocześnie 3 obrazy.

System jako doświadczalny, poza monitorami do śledzenia obrazu analogowego i cyfrowego, wyposażony jest w barwny monitor pozwalający śledzić obraz syntetyzowany na różnych etapach przetwarzania. System CESARO wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie, przystosowane do potrzeb przeróbki surowców mineralnych. W szczególności opracowano podprogramy do analizy składu ziarnowego, oceny wielkości i kształtów ziarn, obliczenia



Rys. 1. Schemat blokowy systemu CASARO

Fig. 1. Block scheme of the CASARO system

pól, wyszukiwania obiektów ze względu na zdefiniowane cechy i inne. Opracowano podprogramy przetwarzające obrazy wraz z przekształceniami i transformacjami. Tworzące system oprogramowanie, zawierające ponad 100 autonomicznych podprogramów, ma budowę hierarchiczno-modułową, pozwalającą na korzystanie z gotowych standardów, jak i na indywidualne modyfikacje wprowadzane przez użytkownika.

Prace nad Systemem CESARO rozpoczęto w 1976 roku i ukończono w początku lat osiemdziesiątych.

### 3. BADANIE WŁASNOŚCI BRYŁ PRZESTRZENNYCH NA PODSTAWIE ICH CIENI

Wśród programów przeznaczonych do rozpoznawania obrazów optycznych (scen), odwzorowanie brył przestrzennych na podstawie cieni ma szczególne znaczenie ze względu na możliwość oszacowania ich podstawowych własności geometrycznych - powierzchni i objętości - w warunkach braku możliwości zmierzenia ich trzeciego wymiaru, tj. grubości oglądanych przedmiotów. Opracowania odnoszą się w zasadzie do brył wypukłych i ich zbiorów. Trudności w algorytmizacji zagadnienia wynikają zarówno ze skończonej liczby możliwych fizycznie kierunków patrzenia i oświetlenia opisywanych przedmiotów, jak i niejednoznaczności w ocenie niektórych cieni, zwłaszcza zbiorów licznych [2].

W kolejnych etapach prac ustalono warunki geometryczne dla trzech kierunków oświetlenia i jednego kierunku patrzenia, dla przypadku jednoczesnego oświetlenia ze wszystkich kierunków, jak i zdejmowania oddzielnie kolejnych cieni kierunkowych. Przeprowadzono analizy dokładności i optymalizacji odwzorowań dla warunków symulowanych. Oznaczanie obowiązuje dla równoległej wiązki światła, np. laserowego. Kierunki oświetlenia mają charakter częściowo sprzężony, tj. przy pierwszym dowolnym pozostałe mają kolejno coraz mniej stopni swobody. Opracowano również projekt stanowiska pomiarowego z możliwością zapisywania obrazów cieni na materiale światłoczułym, jak i w pamięci komputera poprzez kamerę telewizyjną.

### 4. DYFRAKTOMETRYCZNA ANALIZA OBRAZÓW

Kolejne zadanie realizowane w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH, to analiza obrazów metodą dyfraktometryczną. Jest to analogowa metoda przetwarzania informacji optycznej. Otrzymywane za pomocą analogowej aparatury optycznej obrazy dyfrakcyjne scen rzeczywistych, zawierają informację optyczną uporządkowaną w zakresie ich częstotliwości przestrzennych.

Analiza dyfraktometryczna ma zastosowanie wszędzie tam, gdzie przy badaniu bardzo licznych serii szybko zmieniających się scen w krótkich

sekwencjach czasowych, istotne cechy obrazu zmieniają się wolno. Przykładami mogą być, np. strumień materiału na przenośniku, czy powierzchnia piany w maszynie flotacyjnej, gdzie poszczególne sceny w krótkich odstępach czasu różnią się znacznie w zakresie morfologii obrazu, ale istotne technologiczne jego cechy, np. średnie rozmiary ziarn, zabarwienie, wielkość baniek, stopień ich zmineralizowania zmieniają się powoli i często nieznacznie. Analiza dyfraktometryczna jest szczególnie przydatna w rozpoznawaniu tych właśnie powolnych zmian. Temat ten jest ostatnio przedmiotem największego zainteresowania autorów i jest systematycznie rozwijany.

Analiza dyfraktometryczna polega na optycznym przetworzeniu informacji zawartej w obrazie pierwotnym, tj. uporządkowaniu jej w obrazie dyfrakcyjnym według częstości przestrzennych, zgodnie z zasadą transformacji Fouriera.

Jeżeli przeznaczony do analizy obraz opisany zostanie funkcją  $f(x,y)$ , to jego transformata Fouriera ma postać: [3]

$$F(u,v) = \iint f(x,y) \exp[-2\pi i(ux + vy)] dx, dy,$$

gdzie:

- $F(u,v)$  - transformata Fouriera,
- $x,y$  - współrzędne funkcji obrazu,
- $u,v$  - częstości przestrzenne w obrazie dyfrakcyjnym.

W prezentowanej metodzie analizowany obraz można interpretować jako sumę elementarnych siatek dyfrakcyjnych, tworzących strukturę analizowanego obrazu [3, 4]. Obraz dyfrakcyjny, jako wynik liniowego przekształcenia Fouriera, zawiera tę samą ilość informacji co obraz pierwotny, jednak uporządkowaną w sposób jednoznaczny - ze szczególnym uwypukleniem struktur periodycznych i posiadających jednakową orientację w analizowanym obrazie [4].

Uzasadnione zatem wydaje się zastosowanie tej metody do rozpoznawania i analizy obrazów, które zmieniają się np. w sekwencjach czasowych, ale pochodząc z tej samej populacji posiadają identyczne cechy technologiczne. Do takich obrazów należą obrazy pian flotacyjnych.

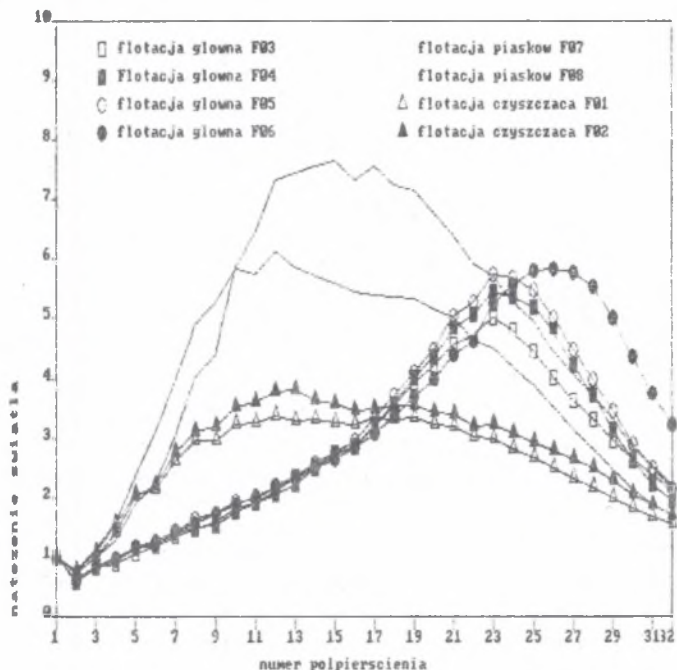
#### 4.1. Dyfraktometryczna analiza obrazów pian flotacyjnych

Obrazy powietrzchni piany flotacyjnej fotografowano w trakcie normalnej produkcji w jednym z zakładów przerobczych rud. Do eksperymentu wyróżniono trzy charakterystyczne rodzaje pian, tj. pianę flotacji piasków, pianę flotacji głównej oraz pianę flotacji czyszczącej. Dla każdego z wymienionych trzech rodzajów pian wykonano po kilka 30-elementowych serii zdjęć w 5 minutowych odstępach czasu. Obrazy dyfrakcyjne uzyskiwano w dyfraktometrze optycznym, którego schemat blokowy ilustruje rys. 2. [4].



Rys. 2. Schemat blokowy dyfraktometru  
Fig. 2. Block scheme of diffractometer

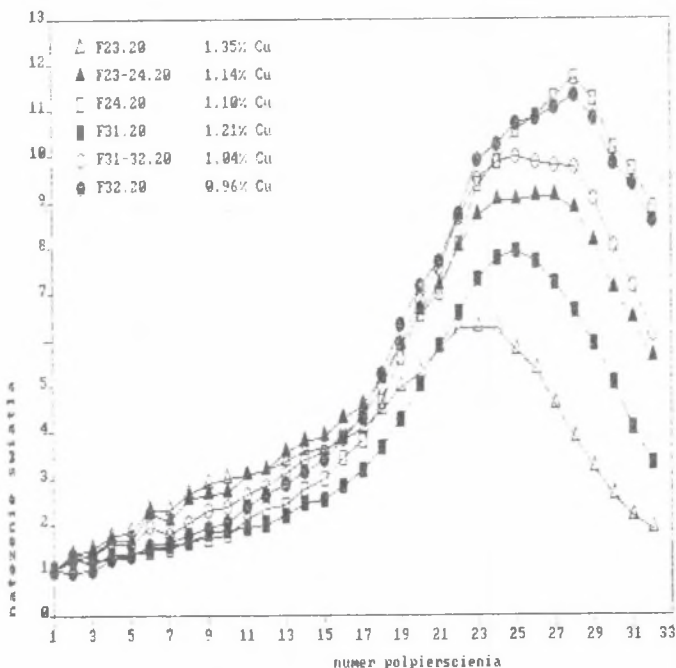
Analizowany obraz w postaci przezroczca umieszczano w kuwecie immersyjnej i oświetlano wiązką światła spójnego (koherentnego), którego źródłem był laser He-Ne.



Rys. 3. Wyniki pomiarów dyfraktometrycznych trzech rodzajów pian  
Fig. 3. Results of diffractometric evaluation of three kinds of flotation froth

Powstający w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu transformującego obraz dyfrakcyjny mierzone detektorem DPSU-2. Jego powierzchnia światłoczuła składała się z 32 półpiersieni i 32 klinów. Poprzez układ elektroniczny rozkład natężenia światła w poszczególnych elementach detektora przekazywany był do komputera. Znając długość ogniskowej obiektywu transformującego oraz rozmiary geometryczne płyty czołowej detektora można na podstawie rozkładu natężenia światła w obrazie dyfrakcyjnym określić wielkości (pomiar w pierścieniach) i ukierunkowanie (pomiar w klinach) struktur

analizowanym obrazie pierwotnym. Kolejny numer półpierścienia odpowiada coraz to mniejszym strukturom w obrazie.



Rys. 4. Wyniki pomiarów dyfraktometrycznych piany flotacji głównej  
Fig. 4. Results of diffractometric evaluation of main flotation froth

#### 4.2. Wyniki pomiarów

Otrzymane wyniki dla trzech rodzajów pian przedstawiono na rys. 3, gdzie na osi poziomej umieszczono numer półpierścienia detektora, natomiast na osi pionowej unormowane natężenie światła w obrazach dyfrakcyjnych pian. Jak łatwo zauważyć na rysunku tym wystąpiło zjawisko grupowania się w pęki krzywych rozkładu natężenia światła w obrazach dyfrakcyjnych różnych rodzajów pian flotacyjnych. Ich przebiegi różnią się zdecydowanie od siebie. Para krzywych FO7, FO8 reprezentuje strukturę piany flotacyjnej rudy piaskowcowej. W pianie tej bańki są duże i mocno zmineralizowane. Piana flotacji czyszczącej reprezentowana jest przez krzywe FO1, FO2. Ich kształt wskazuje na bardziej zróżnicowaną strukturę powierzchni piany. Jest tu mniej, niż w przy piaskowcach bańek dużych, następuje natomiast wzrost liczby bańek drobnych. Fakt ten na wykresie widoczny jest w postaci spłaszczenia wykresu oraz zmniejszenia natężenia światła w obszarze niskich numerów półpierścieni. Osobną grupę rozkładów natężenia światła w obrazach dyfrakcyjnych stanowi pęk krzywych FO3, FO4, FO5, FO6 reprezentujących flotację główną. Wyraźne maksimum w granicach 25 półpierście-

nia reprezentuje drobne, mało zróżnicowane pod względem rozmiarów banieczki. Ich zmineralizowanie jest najmniejsze spośród omawianych trzech typów pian [6]. Ten typ piany był dalszym obiektem badań prowadzonych przez autorów. Analizowano obrazy powierzchni pian flotacji głównej, fotografowane w trakcie pracy zakładu przerobczego. Metodą chemiczną oznaczone zawartość metalu w pianie. Na rys. 4 przedstawiono wykresy dla zawartości metalu od 0,9% do 1,35%. Jak widać, istnieje silna, odwrotnie proporcjonalna zależność wartości maksimum natężenia światła od zawartości metalu w pianie. Im piana bardziej zmineralizowana, tym wykres przebiega niżej a średnia wielkość baniek jest większa (maksimum występuje przy niższym numerze półprzerócenia). Podobne relacje zaobserwowano dla innych zawartości metalu w pianie flotacji głównej [7].

## 5. WNIOSKI

Wygląd piany flotacyjnej zależy od bardzo wielu czynników. W ustalonych warunkach technologicznych cechy ogólne piany, takie jak np.: zabarwienie, połysk związane między innymi z ilością zawartego w niej metalu, wykazują bardzo małą dynamikę zmian. Cechy struktury na jej powierzchni, czyli wielkość i rozkład baniek, podlegają dynamicznym fluktuacjom chwilowym. Mierzone metodą dyfraktometrii optycznej wykazują stabilność w długich odcinkach czasowych. Dalsze prace nad zastosowaniem tej metody do celów automatyzacji kontroli, np. procesu flotacji, będą musiały być jednak najpierw skoncentrowane na innym zagadnieniu, a mianowicie wyeliminowaniu z pomiarów procesu fotografowania obrazu. Zastąpienie kliszy fotograficznej odpowiednim optoelektronicznym elementem obrazowym, spełniającym warunki analizy dyfraktometrycznej, jest warunkiem dalszego rozwoju dla celów przemysłowych zaprezentowanej w artykule metody.

Przedstawiony temat jest wykonywany w ramach programu badawczego CPBP 03.07 "Badania podstaw procesów wzbogacania kopalin".

## LITERATURA

- [1] Kordek J., Napił R., Tadeusiewicz R.: Cyfrowy Eksperymentalny System Analizy i Rozpoznawania Obrazów CESARO i jego zastosowanie w badaniach nad obrazami ziaren. XIII Krakowska Konferencja Naukowo-Techniczna Przeróbki Kopalin. Kraków 1979.
- [2] Praca zbiorowa pod kier. Sztaby K.: Rozwinięcia metod analizy obrazów w zastosowaniu do przeróbki surowców mineralnych - sprawozdanie z etapu prac za rok 1989 w CPBP 03.07, temat nr 05.09/89 IP1WSM AGH, Kraków 1989.
- [3] Goodman F.W.: Introduction to Fourier Optics. McGraw-Hill, 1968.
- [4] Lanczowski S.: Możliwość zastosowania optycznej transformacji Fouriera do analizy i klasyfikacji struktur obrazów na przykładzie struktur biologicznych. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska 1983.

- [5] Kordek J., Lenczowski S.: The evaluation of flotation froth images by the optical method, XVI International Mineral Processing Congress. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam 1988, s. 481-485.
- [6] Kordek J., Lenczowski S.: Metody optycznej kontroli procesów przerób-  
czych na przykładzie analizy dyfraktometrycznej obrazów pian flota-  
cyjnych rud miedzi. Zeszyty Naukowe AGH Nr 1262, Górnictwo z. 146,  
Kraków 1989.
- [7] Patrz poz. 2 Sprawozdanie z etapu prac za rok 1988 w CPBP 03.07,  
temat nr 05.09/88 - IPIWSM AGH, Kraków 1988.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Р е з ю м е

В статье сопоставлено информации полученные в Институте полезных иско-  
паемых по теме построенного и программно обеспеченного Цифрового Экспери-  
ментального Система Опознавания Оптических Изображений (CESARO), а также  
по теме отображения трёхмерных тел на основе их тени.

Длинее описано принцип и результаты оптических дифрактометрических  
анализ для применения их в исследованиях разведки технологических свойств  
промышленных флотационных пен.

THE PROBLEMS OF APPLICATION OF IMAGE INFORMATION  
IN MINERAL PROCESSING

S u m m a r y

The paper lists the information concerning the CESARD - Digital Expe-  
rimental System of Pattern Recognition, constructed and programmed in  
the Institute of Processing and Utilization of Mineral Raw Materials as  
well as the transformation of special solids on the basis of their shades.  
The principle and results of the optical diffractometric analysis have  
been more widely described which are applied in the investigations of the  
recognition of technological features of flotation froths.