

Dariusz FOSZCZ
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

MODELOWANIE I BADANIA SYMULACYJNE WZBOGACALNOŚCI RUD MIEDZI Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU SIMULINK MATLAB

Streszczenie. W referacie zaprezentowano problematykę modelowania pracy układów technologicznych wzbogacania surowców mineralnych. Przedstawiono możliwości wykorzystania programu Simulink Matlab w modelowaniu wzbogalności rud miedzi i badaniach symulacyjnych przy zmiennych parametrach nadawy. Określono struktury schematu blokowego dla modelu układu technologicznego wzbogacania rudy miedzi oraz przedstawiono wyniki wykonanych badań symulacyjnych.

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych obejmujących kinetykę mielenia i wzbogacanie flotacyjne rud miedzi określono charakterystyki wzbogalności, jakość koncentratu i jego wychód. Określono niezbędne do budowy modelu zależności pomiędzy własnościami nadawy i parametrami procesu wzbogacania a jego efektywnością. Za pomocą programu Simulink Matlab wykonano badania modelowanego układu wzbogacania.

MODELING AND SIMULATION RESEARCHES OF COPPER ORES BENEFICIATION WITH APPLICATION OF SIMULINK MATLAB PROGRAM

Summary. The paper presents the possibilities of Simulink Matlab application in modeling of copper ores beneficiation and simulative researches. The bloc model, constructed in Simulink Matlab was presented for ores beneficiation determined on the basis of laboratory beneficiation characteristics and certain dependencies between feed properties, parameters of beneficiation process and its efficiency.

Wstęp

Wzbogacane w Oddziale Zakładu Wzbogacania Rud KGHM PM SA rudy miedzi charakteryzują się dużą zmiennością swoich właściwości: zawartością miedzi i składników towarzyszących, udziałami typów litologicznych, rodzajem składników płonnych itd. Wynikiem tego jest wielość układów technologicznych ich wzbogacania, funkcjonujących

w trzech rejonach O/ZWR, która uwarunkowana jest potrzebą rozdzielania rud na strumienie z przewagą rud piaskowcowych i węglanowo – łupkowych. Strumienie te charakteryzują się różnymi układami technologicznymi mielenia i wzbogacania oraz różnymi warunkami procesu wzbogacania.

Do prawidłowego planowania produkcji w O/ZWR i, co jest z tym związane, możliwości optymalizacji procesu wytwarzania miedzi elektrolitycznej (maksymalizację zysku kombinatu) konieczna jest znajomość zależności wychodów koncentratów produkowanych w zakładach przerobczych od zawartości miedzi, która to zależność jest bezpośrednio związana ze wzbogalnością rud. Uzyskane zależności $\gamma = f(\beta)$ podlegają zmianom w czasie, co oznacza konieczność wyznaczania współczynników tych równań metodami statystycznymi. W referacie przedstawiono możliwości programu Simulink Matlab w modelowaniu wzbogalności rud miedzi i badaniach symulacyjnych przy zmiennych parametrach nadawy. Matlab jest interakcyjnym i otwartym środowiskiem obliczeniowym integrującym analizę numeryczną, działania na macierzach i przetwarzanie sygnałów z grafiką, co bardzo ułatwia jego wykorzystanie. Zalety i możliwości Matlab'a poszerzają przybory (toolboxes), będące specjalizowanymi funkcjami (m-plikami) przeznaczonymi do rozwiązywania określonych zagadnień z dziedziny teorii regulacji i sterowania (identyfikacja, sterowanie, predykcja, optymalizacja), a także chemii i matematyki (statystyka, obliczenia symboliczne). Niewątpliwym uzupełnieniem Matlab'a jest przybory pod nazwą Simulink, który służy do analizy i syntezy ciągłych, dyskretnych i dyskretno ciągłych układów dynamicznych. Simulink jest środowiskiem graficznym, w którym symulację systemów wykonuje się, opierając się na schemacie blokowym z wykorzystaniem predefiniowanych bloków bibliotecznych, co znacznie uprasza jego wykorzystanie [1, 2, 3, 5, 11].

Modelowanie, które jest wygodną, a niekiedy jedynie możliwą formą analizy procesów technologicznych, oznacza zestaw działań związanych z konstruowaniem modeli procesów rzeczywistych i polega na ich zastępowaniu układami uproszczonymi (modelami) odzwierciedlającymi wybrane cechy zjawisk zachodzących w tych procesach. Złożoność procesów przerobczych, a w szczególności wzbogacanie rud miedzi wyraża się dużą liczbą i różnorodnością wielkości charakteryzujących przebiegi procesów, wewnętrznymi powiązaniem pomiędzy tymi wielkościami i często nieliniowym charakterem tych powiązań. Procesy technologiczne występujące w zakładach przerobczych mają różnorodny charakter i przebiegają według różnych zasad fizycznych i fizykochemicznych, występują one ponadto w różnych konfiguracjach (schematach) w zależności od rodzaju przerabianego surowca.

Metody modelowania matematycznego w powiązaniu z komputerowymi technikami obliczeniowymi pozwalają: badać z dużą dokładnością różnorodne warianty realizacji technicznej procesu, wyznaczać optymalny wariant modelu, także wykrywać możliwości ulepszenia i poprawiania samego procesu.

W zależności od tego, jak pełna jest znajomość modelowanego procesu, praw nim rządzących, opisu matematycznego procesu, modele można umiejscowić pomiędzy dwoma granicznymi przypadkami [8]:

1. znany jest układ równań opisujących wszystkie podstawowe cechy modelowanego procesu oraz znane są wartości liczbowe wszystkich parametrów tych równań;
2. całkowicie nieznanym jest opis matematyczny procesu.

Modelowany układ i opis zastosowanej metody modelowania

Badany obiekt obejmuje wyniki pracy zakładu wzbogacania rudy miedzi, który jest obiektem złożonym z różnorodnych procesów technologicznych, mających różny charakter. Złożoność i różnorodność procesów i schematów technologicznych przeróbki rud miedzi jest przyczyną trudności ich analizy i oceny [4, 6, 8]. Brak jednolitego opisu zjawisk zachodzących w poszczególnych procesach zmusza do poszukiwania metod uniwersalnych. Do metod takich zaliczyć można metody schematów blokowych oraz związanych z nimi często modeli transmitancyjnych. Schemat blokowy jest wygodnym sposobem graficznego przedstawienia zależności między elementami badanego układu (schematu). Blok oznacza pewną jednoznaczność zależności między wielkościami wejściowymi i wyjściowymi. Nie musi on być oparty na modelu matematycznym rozpatrywanego układu, lecz jedynie na wzajemnym oddziaływaniu zmiennych. Jednocześnie zawsze z niego wynika sposób oddziaływania tych zmiennych. Bloki w schematach opisywane są często za pomocą transmitancji [9, 10].

W pracach [4, 8] autorzy przedstawili możliwości wykorzystania schematów blokowych i programu Simulink Matlaba do badań symulacyjnych pracy układu technologicznego. Niniejszy referat stanowi rozwinięcie tej koncepcji przedstawiania schematów technologicznych wzbogacania rud o uwzględnienie występujących typów litologicznych i ich różnych wzbogalności.

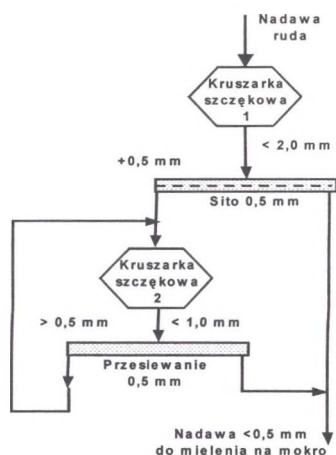
Założeniem prezentowanej pracy było zbadanie możliwości określenia zmian wzbogalności rudy i jakości koncentratu w zależności od zmiany udziałów w niej typów litologicznych, a także ich jakości, z wykorzystaniem schematu blokowego w Simulinku Matlabie. Przyjęto następujące zasady (założenia) przebiegu procesów przeróbki rud miedzi:

- wzbogalność rudy zależy od udziału w niej trzech typów litologicznych (rudy piaskowcowej, łupkowej i węglanowej) oraz składu mineralogicznego występujących w nich minerałów siarczkowych miedzi, czyli także samej zawartości miedzi;
- flotacja siarczków z poszczególnych typów litologicznych przebiega niezależnie od ich udziałów (istotne są stopnie uwolnienia);

- wyniki rozdrabniania poszczególnych typów litologicznych zależą od ilości pozostałych typów w rudzie (rozdrabnianie jest wzajemnie zależne); zależne więc są także stopnie uwolnienia minerałów siarczkowych w typach litologicznych;
- możliwe jest odtworzenie krzywych wzbogacalności rudy z krzywych wzbogacalności typów litologicznych.

Punktem wyjścia do modelowania schematu wzbogacania były wyniki badań laboratoryjnych procesów mielenia i flotacji [7]. Wyniki te stanowiły podstawę do określania wpływu parametrów procesu wzbogacania w postaci tabelarycznej bądź funkcyjnej istotnych z punktu widzenia przyjętego układu blokowego. Proces flotacyjnego wzbogacania rud miedzi jest ściśle związany z procesem mielenia, rozumianym nie jako proces pomniejszania wielkości ziaren, ale jako proces uwalniania ziaren minerałów użytecznych. Powszechnie wiadomo, że siarczki miedzi są minerałami łatwo flotowanymi, a o wyflotowaniu ziaren kruszczowych decyduje w głównej mierze ich stopień uwolnienia od skały płonnej oraz ich wielkość. Nawet niskie koncentracje minerałów użytecznych nie stwarzają żadnych trudności, jeśli tylko spełnione są podstawowe warunki flotacji, do których zaliczyć należy: własności flotowanego materiału, właściwości fizykochemiczne zawiesiny, budowa maszyny flotacyjnej, reżim dozowania odczynników flotacyjnych czy ilość i jakość napowietrzania pulpy.

O odpowiednim przygotowaniu rudy miedzi do flotacji decyduje więc prawidłowo prowadzony proces rozdrabniania. Stopień „otwarcia” rudy i udział klas najdrobniejszych są wartościami przeciwstawnymi. Większy stopień przemiału doprowadza do lepszego uwolnienia minerałów użytecznych, ale równocześnie do zwiększenia zawartości klasy najdrobniejszej. Prawidłowy proces rozdrabniania musi być więc połączony z klasyfikacją, natomiast złe przygotowanie minerałów do flotacji jest związane nie tylko z niedokładnością pracy klasyfikacji, ale także ze zmiennością uziarnienia minerałów w nadawie oraz różnicami w podatności na rozdrabnianie poszczególnych frakcji litologicznych.



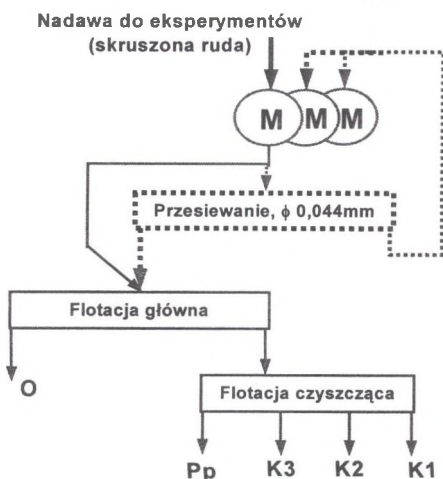
Rys. 1. Ogólny schemat kruszenia próbek rudy [7]

Fig. 1. General scheme of crushing the ore samples [7]

W pracy [7] w celu określenia wpływu procesu mielenia i czasu flotacji na wzbogacalność rudy miedzi przeprowadzono badania laboratoryjne dla poszczególnych odmian litologicznych, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunkach 1 i 2.

Poszczególne próbki rud do badań laboratoryjnych rozdrabniano selektywnie według schematu pokazanego na rys. 1. Rudy kruszono do uziarnienia poniżej 1,0 mm, a rudy łupkowe do uziarnienia poniżej 0,5 mm.

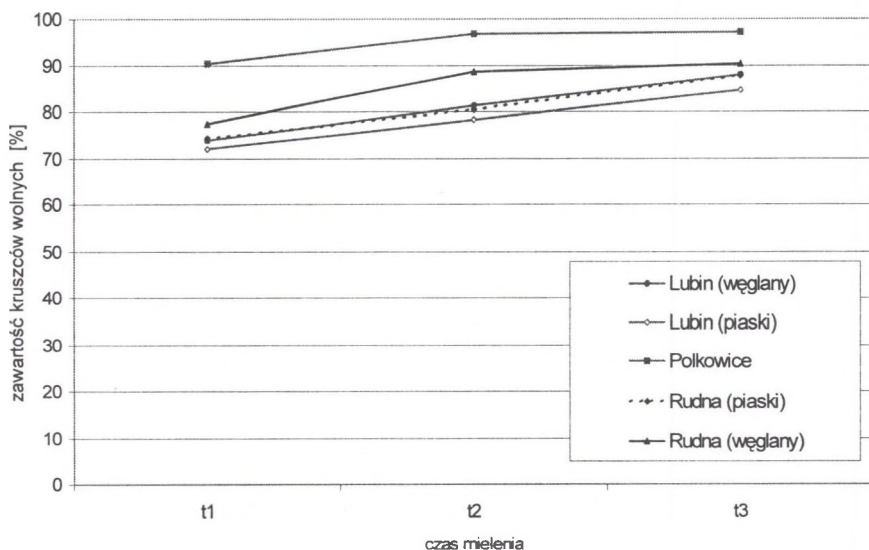
Tak skruszone próbki nadawy do badań poddawano w większości przypadków jednostopniowemu mieleniu. Ze względu na nieselektywne mielenie jednostadialne zastosowano dla łupka operację mielenia trzystadialnego, a dla rudy polkowickiej mielenie dwustadialne. Wstępnie materiał mielono porcjami na mokro w laboratoryjnym młynku cylpepsowym w celu ustalenia czasu mielenia, zapewniającego osiągnięcie założonego poziomu uziarnienia odpowiedniego dla każdego rodzaju rudy. Na tej podstawie dla właściwych badań wzbogacalności, dla wszystkich badanych próbek rud wybrano i zastosowano trzy czasy mielenia, po których prowadzono w każdym przypadku eksperyment flotacyjny (dla danego czasu mielenia). Eksperymenty wykonywano w laboratoryjnej maszynie flotacyjnej typu Mechanobr z komorą o pojemności 1 dm³. We wszystkich wykonanych doświadczeniach używano odczynników flotacyjnych stosowanych obecnie w poszczególnych rejonach O/ZWR. Warunki flotacji (dawka odczynnika i czas flotacji) dostosowane były do zachowania się każdego rodzaju rudy lub badanych poszczególnych frakcji litologicznych w procesie wzbogacania. Kierowano się tu wieloletnią praktyką laboratoryjną i poziomem zużycia odczynników w procesach technologicznych. Testy flotacyjne dla każdej rudy prowadzono w dwustopniowym układzie wzbogacania, obejmującym flotację główną i jednostadialne czyszczenie koncentratu, zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 2.



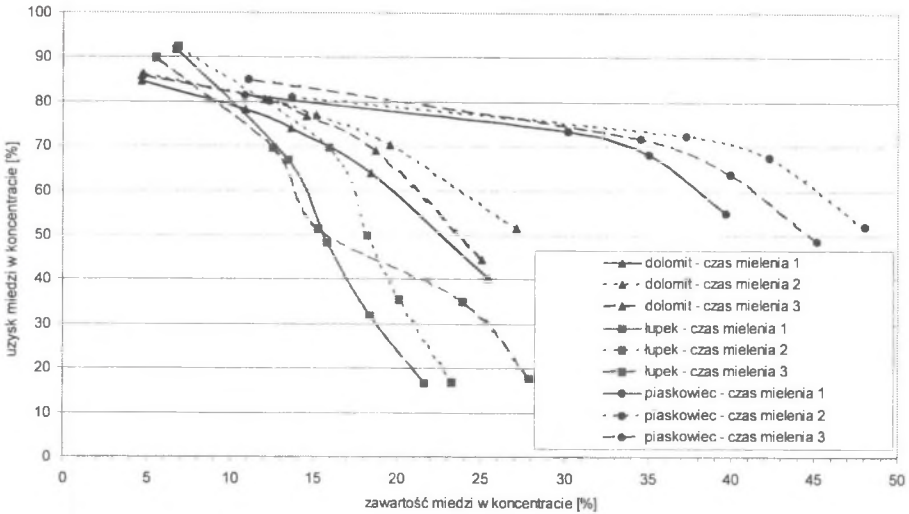
Rys. 2. Ogólny schemat eksperymentów flotacyjnych ze schematem mielenia nadawy [7]
Fig. 2. General scheme of flotation experiments with the feed grinding scheme [7]

Tak uzyskane wyniki badań umożliwiły określenie zależności dla wyników flotacyjnego wzbogacania w funkcji udziału poszczególnych frakcji litologicznych w nadawie na flotację oraz czasu mielenia. Zależności te wyprowadzono dla uśrednionych wyników poszczególnych odmian litologicznych z wszystkich badanych rejonów O/ZWR. Takie zestawienie wyników wynikało z przyjętych założeń, iż badane będą możliwości modelowania wzbogacalności i badań symulacyjnych przy wykorzystaniu programu, a nie rzeczywistej wzbogacalności konkretnego typu rudy. Tak uzyskane wyniki zależności wzbogacalności od parametrów prowadzenia procesu i jakości nadawy reprezentowały rudy przerabiane w O/ZWR jako średnie z wyników dla poszczególnych rejonów Oddziału.

Wyniki badań potwierdzają silną zależność wpływu długości czasu mielenia na uwolnienie minerałów, rys. 3. Czas ten jest różny w zależności od składu litologicznego i powinien być określony z uwagi na możliwość przemielenia minerałów. Na rysunku 3 widzimy, że zbytne wydłużanie czasu dla rudy przerabianej w Polkowicach oraz rudy węglanowej przerabianej w Rejonie Rudna nie powoduje już przyrostu minerałów uwolnionych. Na rysunku 4 zaprezentowano wpływ czasu mielenia na uzysk w funkcji zawartości miedzi w koncentracie dla poszczególnych frakcji litologicznych, które to zależności stanowiły podstawę budowy modelowanego układu. Dla wszystkich typów litologicznych potwierdzono, że wydłużenie czasu mielenia powoduje spadek zarówno uzysku, jak i zawartości miedzi w koncentracie spowodowany przemieleniem. Dla rudy łupkowej wpływ ten jest o zmiennej charakterystyce dla wydłużonego czasu mielenia, co może być związane z różną flotowalnością minerałów.



Rys. 3. Wpływ czasu mielenia na uwolnienie minerałów
 Fig. 3. Influence of grinding time on mineral liberation

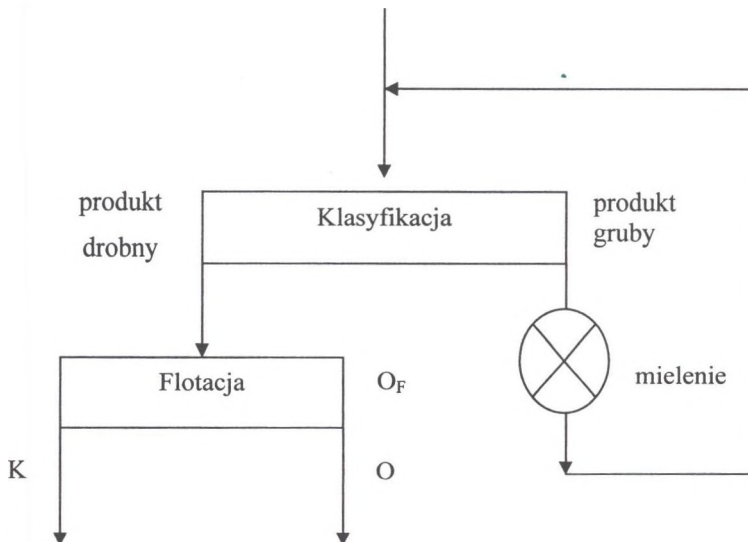


Rys. 4. Zmiana uzysku w funkcji zawartości miedzi w koncentracie dla poszczególnych frakcji litologicznych i czasów ich mielenia

Fig. 4. Change in yield in function of copper contents in concentrate for individual litological fractions and their grinding times

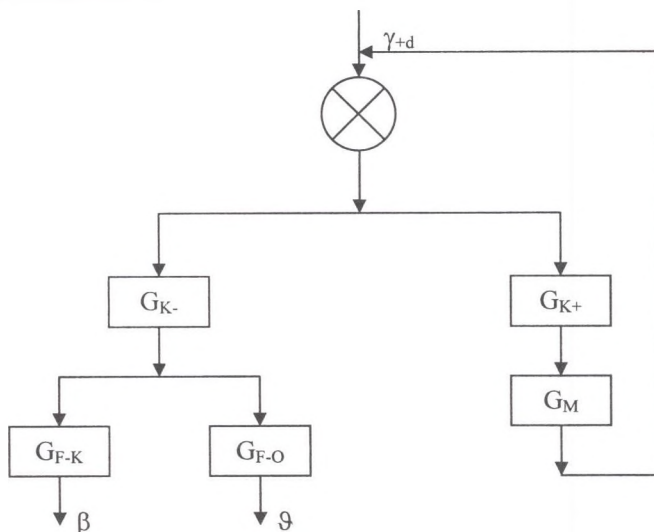
Modelowanie transmitancyjne

Modelowanym obiektem jest schemat technologiczny wzbogacania rudy, zgodny z układem przeprowadzonych badań laboratoryjnych, obejmujący rozdrabnianie, klasyfikację i flotację, rysunek 5.



Rys. 5. Analizowany schemat technologiczny wzbogacania rud miedzi
 Fig. 5. The analyzed technological scheme of copper ores beneficiation

Przypisując poszczególnym operacjom technologicznym bloki i transmitancje $G(s)$, analizowany schemat technologiczny można przedstawić za pomocą schematu blokowego przedstawianego na rysunku 6.



Rys. 6. Analizowany schemat technologiczny przedstawiony za pomocą schematu blokowego
Fig. 6. The analyzed technological scheme presented by means of bloc scheme

Na rysunku tym bloki (prostokąty) oznaczają operacje bądź ich umownie wydzieloną część (kanał przepływu informacji), linie skierowane – przepływ sygnałów (wielkości ilościowe lub jakościowe charakteryzujące proces) i powiązania między blokami. Występującym w schemacie technologicznym różnym operacjom (klasyfikacja, mielenie, flotacja) odpowiadają różne typy i postacie modeli transmitancyjnych, które dla uproszczenia, w tej części analizy, oznaczono ogólnymi symbolami G z odpowiednimi indeksami:

- G_{K-} – transmitancja „kanału” produktu drobnego klasyfikacji,
- G_{K+} – transmitancja „kanału” produktu grubego klasyfikacji,
- G_M – transmitancja młyna,
- G_{F-K} – transmitancja „kanału” koncentratowego flotacji,
- G_{F-O} – transmitancja „kanału” odpadowego flotacji.

Redukując ten schemat blokowy i zwijając go, można określić transmitancję zastępczą dla tego układu [9, 10]. I tak, dla kanału przepływu sygnału: skład ziarnowy nadawy - zawartość miedzi w koncentracie z flotacji, transmitancja zastępcza będzie miała postać:

$$G_{zast}(s) = \frac{\beta(s)}{\gamma_{+d}(s)} = \frac{G_{HC-P}(s) \cdot G_{F-K}(s)}{1 - G_{HC-W}(s) \cdot G_M(s)} \quad (1)$$

Natomiast dla kanału przepływu sygnału: skład ziarnowy nadawy – zawartość miedzi w odpadach z flotacji:

$$G_{zast2}(s) = \frac{\vartheta(s)}{\gamma_{+d}(s)} = \frac{G_{HC-P}(s) \cdot G_{F-O}(s)}{1 - G_{HC-W}(s) \cdot G_M(s)} \quad (2)$$

Z powyższych zależności można określić przebieg zmian wielkości wyjściowych (β , ϑ), będący efektem wprowadzonych zmian na wejściu do układu (γ_{+d}); w postaci operatorowej oznaczają to odpowiednio zależności:

$$\beta(s) = \gamma_{+d}(s) \cdot G_{zast1}(s) \quad (3)$$

$$\vartheta(s) = \gamma_{+d}(s) \cdot G_{zast2}(s)$$

Przedstawione wcześniej analityczne poszukiwanie odpowiedzi układu na wprowadzone na jego wejściu zmiany parametrów nadawy (w rozpatrywanym przypadku zmiany składu litologicznego i zawartości miedzi) jest możliwe do zrealizowania, choć uciążliwe i nie daje możliwości przebadania układu w szerokim zakresie zmian. Przedstawiona metoda analityczna była podstawą zastosowanej metody symulacyjnej analizy schematów.

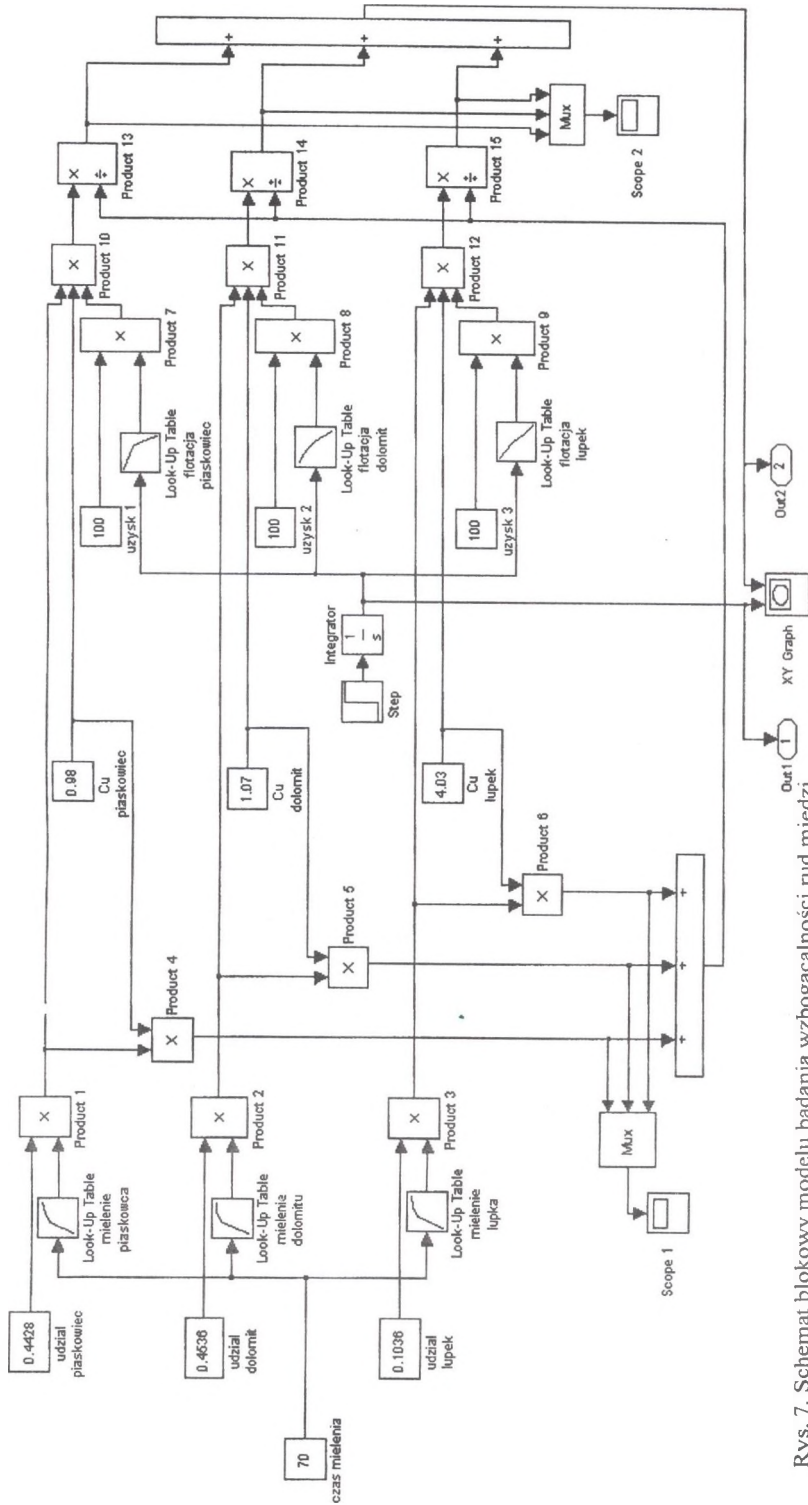
Symulacyjne badanie wzbogacalności rudy

Analiza symulacyjna schematu oparta jest na rzeczywistych wynikach przeprowadzonych badań laboratoryjnych. Wyniki te posłużyły do określenia parametrów poszczególnych bloków schematu do obliczeń. Symulacyjne metody badania schematów umożliwiają ich przebadanie w szerokim zakresie zmian parametrów poszczególnych operacji. Do analizy symulacyjnej wykorzystano program Simulink Matlab. Program ten oparty jest na przedstawionych wcześniej schematach blokowych i modelach transmitancyjnych [1, 2, 3, 5, 11].

Na rysunku 7 zaprezentowano strukturę zaprogramowanego schematu do obliczeń. Przedstawia on schemat, pozwalający na określenie i obserwację wartości oraz przebiegów uzysku miedzi od zawartości miedzi w koncentracie z flotacji. Schemat ten obejmuje główne operacje technologiczne: mielenie i flotację przedstawione w postaci odpowiednich bloków, a także bloki działań matematycznych i bloki wyjściowe. Cała analiza prowadzona jest dla frakcji litologicznych, zgodnie z przeprowadzonymi badaniami laboratoryjnymi. Poszczególne bloki, w głównych torach schematu poczynając od lewej strony rysunków, oznaczają:

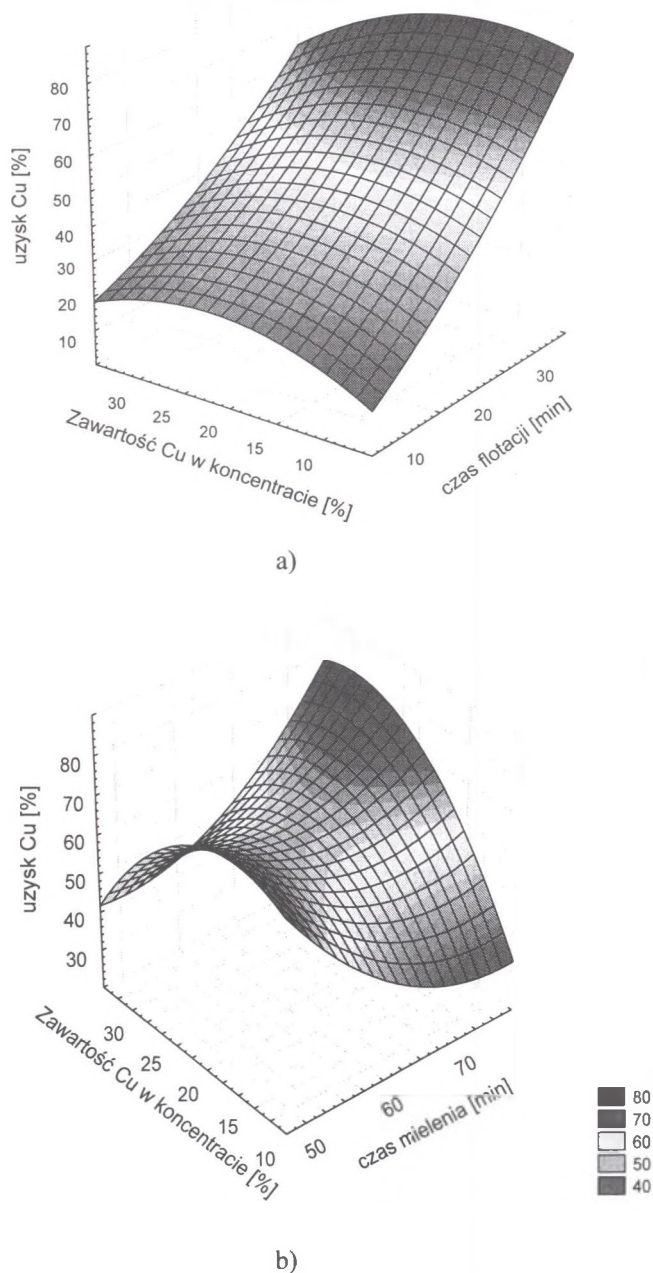
- blok „czas mielenia” – umożliwia zadanie czasu mielenia, zgodnego z czasami mielenia w warunkach laboratoryjnych, np. 40, 60, 90 minut;
- bloki „Produkt...”, które oznaczają operacje mnożenia zawartości miedzi we frakcji litologicznej przez wychód tej frakcji, co jest niezbędne dla określenia uzysku miedzi we frakcji, a wartość ta oznacza ilość miedzi w nadawie;
- bloki „uzysk...” które oznaczają maksymalny uzysk (100) i pozwalają na określenie uzysku rzeczywistego na wyjściu z bloków „Produkt...” przy uwzględnieniu stopnia wzbogacenia otrzymanego w badaniach laboratoryjnych;
- bloki „Look-Up Table mielenie...” to bloki funkcyjne typu “wejście-wyjście” określające stopień uwolnienia, w których zawarte są informacje dotyczące wpływu mielnia na uwolnienie minerałów miedzi dla frakcji litologicznych otrzymanych w przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych;
- bloki „Look-Up Table flotacja...” to bloki funkcyjne typu “wejście-wyjście”, określające stopień wzbogacenia, w których zawarte są informacje, dotyczące uzysków miedzi dla frakcji litologicznych otrzymanych w przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych;
- bloki „Produkt...” pozwalają na określenie wartości liczbowej uzysku dla badań laboratoryjnych;
- bloki „Produkt...” pozwalają na określenie rzeczywistego uzysku przy danej zawartości miedzi w frakcji litologicznej i udziale tej frakcji;
- bloki „x÷” pozwalają na określenie udziałów uzysku we frakcjach litologicznych w stosunku do całości uzysku;
- bloki „+...+” realizują sumowanie ilości miedzi (w dolnej części rysunku) oraz sumowanie uzysków w klasach (w końcowej części rysunku);
- blok „step” daje możliwości zadania wielkości wymuszenia w postaci skoku jednostkowego dla operacji flotacji;
- blok „Integrator” zawiera transmitancję równą $\frac{1}{s}$, jest to element całkujący, realizujący kolejne wartości czasu flotacji i zawartości miedzi w koncentracie;
- bloki „Cu frakcja litologiczna...” przedstawiają zawartości miedzi w analizowanych frakcjach litologicznych nadawy na flotację (α).

W dolnej części rysunku znajdują się symbole urządzeń wyjściowych, umożliwiających obserwację poszczególnych wielkości (końcowych bądź pośrednich). Bloki „skope” i „skope 1” umożliwiają obserwację odpowiednich charakterystyk. Bloki „Mux” oznaczają multi-pleksowanie obserwowanych wielkości. Blok „XY Graph” umożliwia obserwację jednego parametru w funkcji innego – uzysk miedzi od zawartości miedzi w koncentracie. Bloki „Out...” umożliwiają wyprowadzenie danych, dotyczących obserwowanych parametrów w postaci macierzowej.



Rys. 7. Schemat blokowy modelu badania wzbogacalności rud miedzi
 Fig. 7. The block scheme of copper ores beneficiation researches model

Wyniki uzyskanych charakterystyk wzbogalności za pomocą schematu blokowego modelu badania wzbogalności rud miedzi przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność uzysku w funkcji zawartość miedzi w koncentracie od: a – czasu flotacji, b – czasu mielenia

Fig. 8. The dependence of the yield in function of copper contents in concentrate on: a – flotation time, b – grinding time

Przeprowadzona na podstawie badań laboratoryjnych, z wykorzystaniem modeli blokowych, transmitancyjnych oraz programu Simulink Matlab analiza zaproponowanego schematu technologicznego pozwala na wybór w różnych sytuacjach technologicznych rozwiązań najlepszych. W zależności od sytuacji można wybrać właściwe parametry procesu, tj. czas mielenia i flotacji, dają one także możliwość ilościowej oceny możliwych do uzyskania efektów technologicznych, a więc umożliwiają optymalny wybór działań. W zasadniczej części badań wykonywana analiza obejmowała stany ustalone procesów, choć parametr czasu (mielenia, flotacji) był głównym parametrem, jednakże przyjmowano jego ustalone wartości.

Wnioski

1. Wykorzystanie programu Simulink Matlab w modelowaniu wzbogacalności rud miedzi ułatwia uzyskiwanie odpowiednich charakterystyk i umożliwia badania symulacyjne przy zmiennych parametrach procesu i nadawy.
2. Do budowy struktury schematu blokowego i badań symulacyjnych niezbędne jest określenie odpowiednich zależności pomiędzy wynikami procesu wzbogacania a zmiennymi parametrami procesu i nadawy na wzbogacanie, na drodze doświadczeń laboratoryjnych czy też przemysłowych.
3. Modelowanie schematu technologicznego za pomocą modeli blokowych oraz transmitancyjnych, przy zastosowaniu programów symulacyjnych, może być podstawą wyboru optymalnych struktur schematu technologicznego oraz jego parametrów.
4. Zastosowanie symulacyjnych metod modelowania pozwala na bezinwazyjne i tanie badanie i projektowanie układów technologicznych w dużo szerszym zakresie niż w warunkach przemysłowych czy też laboratoryjnych, co spowodowało rozwój tych metod w badaniach technologicznych procesów przerobczych.

Artykuł jest wynikiem pracy statutowej nr 11.11.100.276

Bibliografia

1. Brzózka J., Dorobczyński L.: Programowanie w Matlab. MIKOM, Warszawa 1998.
2. Gajda J., Szyper M.: Modelowanie i badania symulacyjne systemów pomiarowych. Wydano nakładem WEAIiE AGH, Kraków 1998.

3. Klempka R., Stankiewicz A.: Modelowanie i symulacja układów dynamicznych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004.
4. Konieczny A.: Technologie wzbogacania i ich modele matematyczne dla trudnowzbogacalnych frakcji rud miedzi z rejonu Polkowice-Sieroszowice. Rozprawa Doktorska AGH, Kraków 2006.
5. Mrozek B., Mrozek Z.: Matlab 6. Poradnik użytkownika. PLJ, Warszawa 2001.
6. Pod redakcją Tumidajskiego T.: Modelowanie matematyczne układów technologicznych przeróbki surowców mineralnych. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2004.
7. Praca badawcza: Określenie wpływu wzbogacalności przerabianych rud na jakość koncentratów miedziowych dla potrzeb optymalizacji górniczo-hutniczego procesu wytwarzania miedzi, Kierownik tematu Tumidajski T.
8. Trybalski K., Foszcz D., Konieczny A.: Analiza pracy układu technologicznego mielenia i flotacji z wykorzystaniem modeli blokowych, transmitancyjnych oraz programu Simulink Matlab, Górnictwo i Geoinżynieria, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Rok 31, zeszyt 3/1, s. 555-573.
9. Trybalski K.: Określenie transmitancyjnych modeli urządzeń przerobczych na podstawie ich przemysłowych charakterystyk czasowych. Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
10. Trybalski K.: Transmitancyjne modelowanie dynamiki procesów przeróbki kopalini. Zeszyty PŚI nr 1399 „Górnictwo” z. 238, Gliwice 1998.
11. Zalewski A., Cegiela R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe, Poznań 1997.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław CIERPISZ

Abstract

The paper presents the problems of mineral raw materials beneficiation technological systems work modeling. The possibilities of Simulink Matlab program application to copper ores beneficiation modeling and simulation researches by changeable feed parameters was presented. The structures of bloc scheme for technological system model of copper ores beneficiation was determined, as well the results of conducted simulation researches was presented in the paper.

On the basis of the laboratory researches results, taking into consideration the grinding kinetics and flotation of copper ores, the beneficiation characteristics (as concentrate quality and its yield) were determined. The dependencies, requested to construction of the model, between feed properties, beneficiation process parameters and efficiency of the process were calculated. The Simulink Matlab program was the tool for calculating the modeled beneficiation system researches.