

Jarosław GRZESIEK  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
jaroslaw.grzesiek@polsl.pl

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI STEROWANIA PROCESEM WZBOGACANIA WĘGLA

**Streszczenie.** Proces wzbogacania urobku w kopalniach węgla kamiennego zależy od zastosowanej technologii (od urządzeń użytych do wzbogacania) i możliwościami modyfikacji: przepływu nadawy, poziomu wykorzystania poszczególnych urządzeń. Problem zanieczyszczeń w węglu ma znaczący wpływ na przyszłość górnictwa w Polsce. W artykule opisano próbę identyfikacji elementów procesu, który będzie mógł (zmieniając oprzyrządowanie i systemy pomiarowe), wziąć udział w kontrolowaniu zawartości poszczególnych frakcji, a także zanieczyszczeń.

**Słowa kluczowe:** wzbogacanie urobku, sterowanie, zanieczyszczenia.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF PROCESS BENEFICIATION CONTROL OF COAL

**Summary.** Process beneficiation of extracted materials in mines of hard coal is conditioned by the technology (from used units of coal washing) and modification: quantity of feed flow, change capabilities the level of use of the devices. The problem of pollutions in content of coal has a significant impact on the future of coal mining in Poland. The article describes an attempt to identify elements of the process that will be could by changing their instrumentation and metering, take part in controlling the content of individual particle size fractions and also pollution.

**Keywords:** beneficiation of extracted materials, controls, pollutions.

## 1. Wprowadzenie

Proces wzbogacania urobku w kopalniach węgla kamiennego jest uwarunkowany zastosowaną technologią (użytymi urządzeniami do wzbogacania) i możliwościami modyfikacji: przepływu nadawy, ograniczeniem lub zwiększeniem wykorzystania poszczególnych urządzeń. Praktycznie nie ma ciągłej reakcji na zmienne właściwości fizyczno-chemiczne, zawartość zanieczyszczeń. Jest to częściowo związane z brakiem odpowiednich przyrządów pomiarowych (czujników), mogących śledzić na bieżąco parametry nadawy. Poniżej zaprezentowano podprocesy, które poddają się sterowaniu (urządzenia mają odpowiednie oprzyrządowanie oraz te, którymi można by było sterować, gdyby zastosowano odpowiednie czujniki).

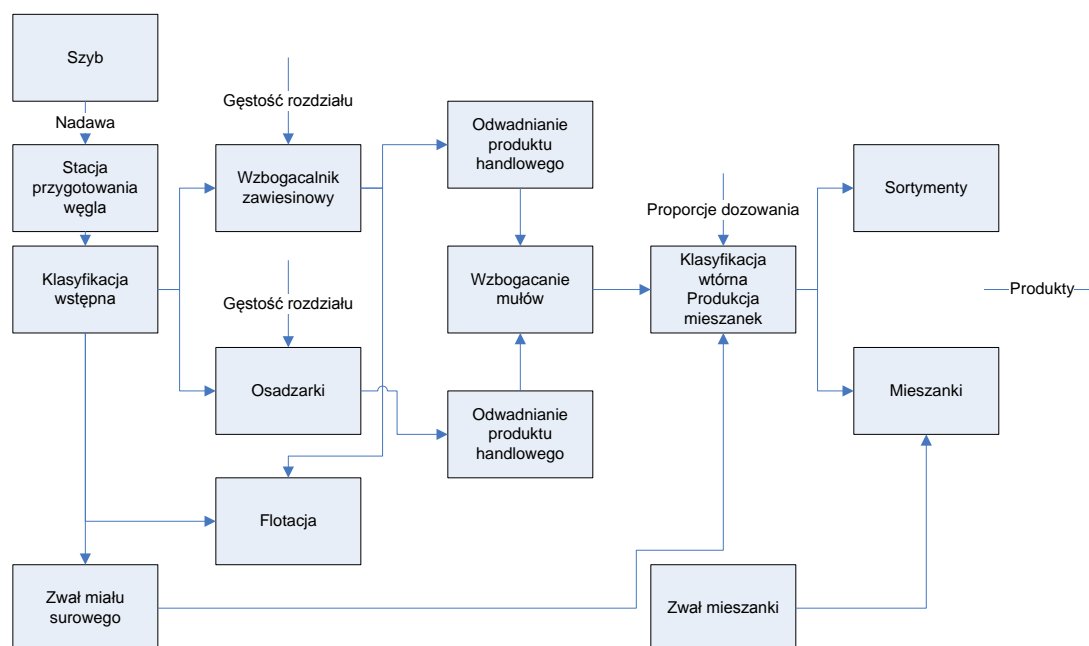
Zasadniczo zakres wzbogacania węgla zależy od stopnia jego uwęglenia (typu węgla), ale także od poziomu zanieczyszczenia urobku oraz od wymagań rynkowych. Zastosowane techniki wzbogacania zależą przede wszystkim od tego, kiedy wybudowano lub zmodernizowano zakład przeróbczy.

Zagadnienia optymalizacji procesu wzbogacania węgla przy wykorzystaniu automatyzacji kontroli jakości produkcji węgla energetycznego były tematem wielu publikacji prof. S. Cierpisza, prof. Kalinowskiego i ich zespołu badawczego. Z uwagi na postać produktu, jaki wzięli pod uwagę, będącego bądź miałem wzbogaconym bądź mieszanką węgla, w ww. publikacjach analizują głównie wzbogacanie w cieczach ciężkich lub w ośrodku wodnym. Niniejszy artykuł jest próbą wskazania możliwości rozszerzenia sterowania wzbogacania węgla na nieuwzględniane w powyższych publikacjach procesy, jak np. flotacja, ale także kruszarki, separatory, suszenie.

## 2. Budowa modelu

Węgiel surowy przez szyb ze stacji przygotowania nadawy transportowany jest do sekcji klasyfikacji wstępnej, gdzie następuje jego rozdział na poszczególne klasy ziarnowe, a następnie, w zależności od przyjętej technologii wzbogacania, kierowany jest do wzbogacania, np. we wzbogacalnikach grawitacyjnych zawieszinowych i osadzarkach oraz we flotownikach. W niektórych przypadkach procesy te mogą występować oddzielnie lub łącznie, a część węgla surowego (miał) jest bezpośrednio traktowana jako produkt handlowy lub wchodzi w skład mieszanki z koncentratami. Tylko w przypadku tzw. pełnego wzbogacania węgiel surowy klasyfikowany jest na trzy frakcje ziarnowe o wymiarach ziaren 20(13) - 200 mm, 1 (0,5)-20( 13) mm oraz 0-1(0.5) mm. Rysunek 1 przedstawia uogólniony schemat procesu wzbogacania węgla kamiennego, uwzględniający możliwe podprocesy oraz

przepływy surowców w wyidealizowanym zakładzie przeróbczym. Na schemacie uwzględniono możliwość podjęcia decyzji co do gęstości rozdziału oraz proporcji dozowania poszczególnych frakcji, w zależności od potrzeb rynkowych.



Rys. 1. Przykładowy schemat procesu technologicznego w zakładzie wzbogacania węgla

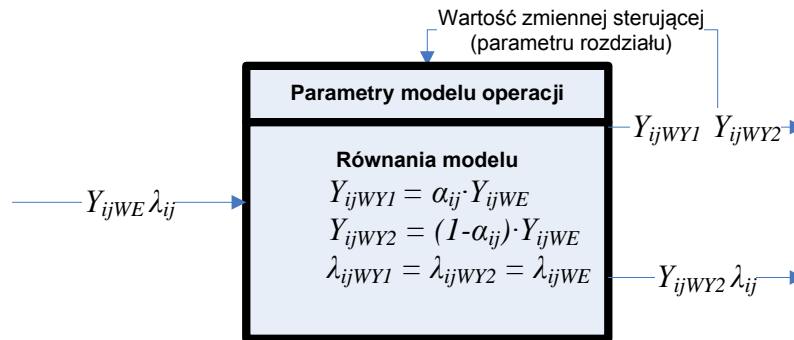
Fig. 1. An example block diagram of the process in the coal processing plant

Źródło: Cierpisz S.: Automatyka w układach zawieszinowych wzbogacalników węgla. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002 [1].

Uogólniając pojedynczy proces przeróbczy można go opisać w następujący sposób.

Węgiel o charakterystyce wzbogacalności  $\gamma(\rho)$ , określonej przez wychody elementarnych frakcji gęstościowych  $\gamma$ , dostaje się do urządzenia wzbogacającego (osadzarki, flotownika itp.) o krzywej rozdziału  $f(\rho)$  (z liczbami rozdziału  $\alpha$ ) i gęstości rozdziału  $\rho_r$ . Charakterystyka wzbogacalności  $\gamma(\rho)$  określa udział frakcji  $\gamma$  w przedziale gęstości  $\rho + \Delta\rho$  w węglu surowym, natomiast krzywa rozdziału  $f(\rho)$  określa prawdopodobieństwo  $\alpha$ , z jakim ta frakcja gęstościowa przechodzi do koncentratu. Zakłada się, że gęstość cieczy ciężkiej jest w przybliżeniu równa gęstości rozdziału  $\rho_r$  [1].

Dostosowaną do powyższego opisu strukturę modelu matematycznego pojedynczej operacji przeróbczej (przesiewania, wzbogacania i rozdzielania strumienia) przedstawiono na rys. 2. W dalszej analizie wykorzystano fakt, że wszystkie operacje przeróbcze można przedstawić jako statyczne stacjonarne modele matematyczne za pomocą tej struktury, różnić się będą one natomiast sposobem obliczania współczynnika transformacji  $\alpha$ . Struktura ta dotyczy operacji dwuproduktowych; modelowanie operacji trójproduktowych polega na zastąpieniu ich dwiema operacjami dwuproduktowymi [2].



Rys. 2. Model matematyczny pojedynczej operacji przeróbczej

Fig. 2. The mathematical model of a single processing operation

Źródło: Cierpisz S.: Automatyka regulacja w układach zawieszinowych wzbogacalników węgla. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002 [1].

Model uwzględnia następujące parametry:

- $\gamma_{ijWE}, \gamma_{ijWY1}, \gamma_{ijWY2}$  - dyskretne wychody w klasie ziarnowej  $i$  oraz frakcji gęstościowej  $j$  w strumieniu wejściowym i w strumieniach produktów z operacji przeróbczej,
- $\lambda_{ijWE}, \lambda_{ijWY1}, \lambda_{ijWY2}$  - wartości parametru jakościowego w dyskretnych wychodach strumienia wejściowego i w strumieniach produktów z operacji przeróbczej (np. zawartość popiołu  $a_{ij}$ ),
- $\alpha_{ij}$  - współczynnik ilościowej transformacji dyskretnych wychodów strumienia wejściowego na odpowiednie dyskretne wychody strumienia pierwszego produktu modelowanej operacji ( $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$ ).

Zgodnie z założeniami modelu, zmienność parametru  $i$ -tej klasy ziarnowej oraz  $j$ -tej frakcji gęstościowej są takie same zarówno dla strumieni wejściowych, jak i wyjściowych. Nie uwzględnia się efektu kruszenia ziaren.

### 3. Model sterowania

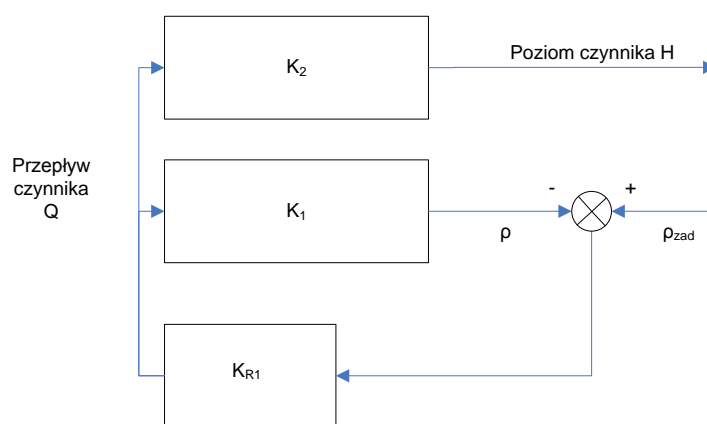
Dla powyżej opisanego modelu matematycznego można przedstawić model sterowania pojedynczym procesem przeróbczym, wychodząc z analizy jego schematu blokowego układu regulacji (rys. 3). Na przykładzie procesu wzbogacania przedstawiono uproszczony schemat blokowy liniowego układu stabilizacji procesu.

W schemacie tym urządzenie przeróbcze jest elementem całkującym o funkcji przejścia:

$$K_1(s) = k_1/s, \quad (1)$$

natomiast regulator (wraz z elementem wykonawczym) jest elementem proporcjonalnym:

$$K_{RI}(s) = k_{RI} \quad (2)$$



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy liniowego układu stabilizacji

Fig. 3. A simplified block diagram of a linear stability system

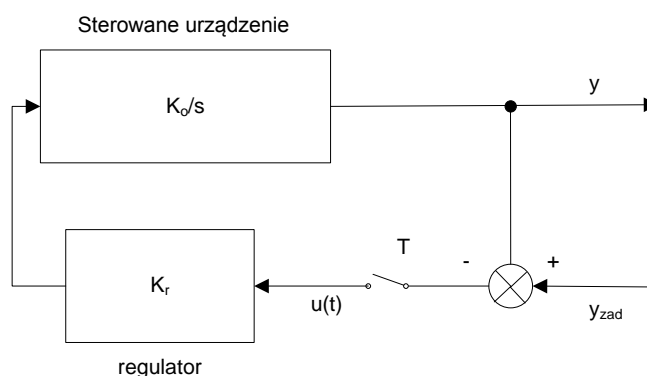
Źródło: oprac. własne na podst.: De Larminat P., Thomas Y.: Automatyka – układy liniowe, t. 3. Sterowanie. WNT, Warszawa 1983 [3].

W schemacie uwzględniono wpływ regulacji gęstości cieczy przez dodawanie wody lub cieczy zagęszczonej na poziom cieczy w urządzeniu. W tym przypadku konieczne jest wprowadzanie modułu sygnału  $Q$  na wejście elementu  $K_2(s) = k_2/s$ .

Funkcja przejścia zamkniętego układu regulacji, opisująca zmiany sygnału wyjściowego  $\rho(t)$  w odpowiedzi na skokową zmianę wartości zadanej  $\rho_{zad}(t)$ , to:

$$Kz(s) = \frac{1}{(k_1 k_{R1})} \frac{1}{(1 - \frac{1}{k_1 k_{R1}}s)} \quad (3)$$

Odpowiednikiem powyższego liniowego układu stabilizacji jest układ sterujący dla pojedynczej operacji przerobczej, przedstawiony na rys. 4 – uproszczony schemat blokowy impulsowego układu stabilizacji.



Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy impulsowego układu stabilizacji

Fig. 4. A simplified block diagram of a pulse stabilizer

Źródło: oprac. własne na podst.: Kaczorek T., Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopátka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT, Warszawa 2005 [4].

Funkcja przejścia tego zamkniętego układu regulacji ma postać:

$$K_z(z) = \frac{U(z)}{S(z)} = \frac{1}{1 + K_r(z) \cdot K_o(z)} \quad (4)$$

dla:

$$K_o(z) = k_o \frac{z}{z-1} \quad (5)$$

$$K_r(z) = k_r, \quad (6)$$

gdzie  $K_o(z)$ ,  $K_r(z)$  - funkcje przejścia obiektu i regulatora.

#### 4. Wnioski

Istnienie możliwości opisanego modelu matematycznego dowolnego, pojedynczego (uogólnionego) procesu przerobczego z uwzględnieniem jego parametrów, a następnie znalezienie dla niego odpowiadającego mu układu sterowania i regulacji, pozwala wnioskować, że w ten sposób opisane mogą być i inne, nieuwzględniane w dotychczasowych opracowaniach, procesy wzbogacania.

Brak sterowania i regulacji niektórych procesów przerobczych wynika z braku odpowiednich czujników, np. podczas procesu flotacji węgla kamiennego. Przykładem automatyki flotacji są urządzenia flotacyjne w kopalniach rud miedzi, gdzie po analizie temperatury barwowej cieczy flotacyjnej określana jest odchyłka od wymaganych parametrów stężenia jej składników i ciecz jest stabilizowana na wymaganym poziomie.

#### Bibliografia

1. Cierpisz S.: Automatyka regulacji w układach zawieszonych wzbogacalników węgla. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.: Sterowanie i optymalizacja produkcji grupy zakładów przeróbki węgla. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
3. De Larminat P., Thomas Y.: Automatyka – układy liniowe. T. 3. Sterowanie. WNT, Warszawa 1983.
4. Kaczorek T., Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R.: Podstawy teorii sterowania. WNT, Warszawa 2005.

**Abstract**

Referring to the publications in the field of control and regulation, the article describes an attempt to identify elements of the process that will be could by changing their instrumentation and metering, take part in controlling the content of individual particle size fractions and also pollution.

The article includes a generalized notation of a single process in the form that can be used and extended to other so far not controlled processes beneficiation of extracted materials in mines of hard coal.