ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: GÓRNICTWO z. 260 Nr kol. 1649

Stanisław CIERPISZ
Politechnika Śląska, Gliwice

# UKŁAD TECHNOLOGICZNY PRODUKCJI KONCENTRATU WĘGLA KOKSOWEGO JAKO OBIEKT STEROWANIA

**Streszczenie.** Przedstawiono podstawowe charakterystyki statyczne układu technologicznego produkcji koncentratu węgla koksowego, w którym łączone są koncentraty z procesu wzbogacania węgla w cieczach ciężkich, osadzarkach i flotacji. Układ ma charakter obiektu ekstremalnego, w którym dla zadanej jakości wsadu koksowego można znaleźć optymalną kombinację wielkości sterujących maksymalizujących wartość produkcji.

# TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR PRODUCTION OF COKING CONCENTRATE AS A CONTROL OBJECT

**Summary.** The principal static characteristic of the technological system for production of coking concentrate have been discussed. The final concentrate consists of three products from heavy media process, jigs and froth flotation. The object has an extreme character in which, for the desired product quality, one can achieve the maximum tonnage of the product for optimal combination of control parameters.

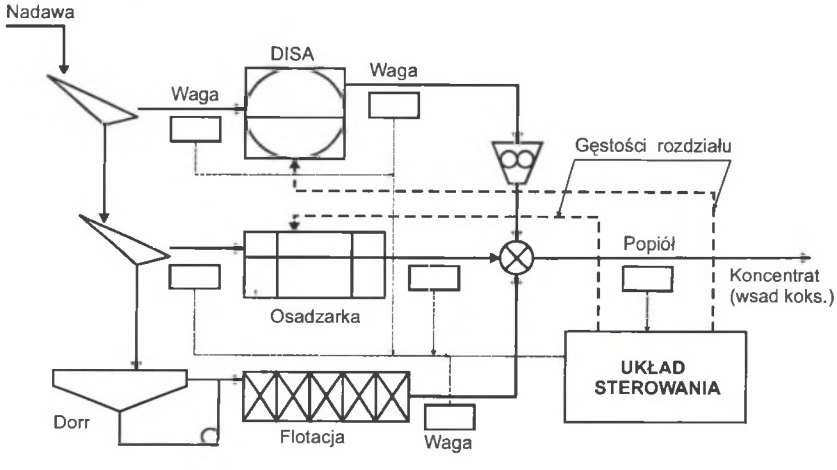
## 1. Wprowadzenie

W układach technologicznych o tzw. pełnym wzbogacaniu występują zwykle trzy równoległe procesy wzbogacania, których koncentraty są ze sobą łączone, dając produkt końcowy o zadanych parametrach jakościowych. Są to przeważnie procesy wzbogacania w cieczach ciężkich, osadzarkach i we flotacji, lub rzadziej w polskich zakładach przeróbki węgla, w cyklonach zawiesinowych. Analiza układu trzech wzbogacalników, w których występuje cyklon zawiesinowy, sprowadza się do identycznych zależności jak w przypadku dwóch równoległych procesów. We wszystkich tych procesach parametrem sterującym jest gęstość rozdziału, trzy procesy są traktowane jako procesy wzbogacania grawitacyjnego

o podobnych modelach technologicznych różniących się jedynie krzywą rozdziału, a w zasadzie rozproszeniem prawdopodobnym (lub imperfekcją). Maksymalną ilość mieszanki koncentratów o zadanej zawartości popiołu uzyskuje się dla identycznych popiołów rozdziału [1] w przypadku procesów idealnych o $E_p = 0$. W takich układach można proponować rozwiązania układów sterowania opisane w pracy [2].

## 2. Układ technologiczny

Rozważmy natomiast bardziej szczegółowo układ technologiczny złożony ze wzbogacalnika z cieczą ciężką, osadzarki i flotacji, wzbogacający węgiel koksowy, przedstawiony na rys.1.




Rys. 1. Układ produkcji koncentratu węgla koksowego z trzech składników: kruszonego koncentratu węgla grubego, koncentratu z osadzarki i flotokoncentratu
Fig. 1. Technological layout of coking concentrate production in heavy media, jigs and flotation

Do sterowania w tym układzie przyjąć należy kryterium maksymalnej ilości mieszanki o zadanej jakości (zawartości popiołu), które w tym przypadku jest równoznaczne z kryterium maksymalnej wartości produktu końcowego o zadanej jakości.

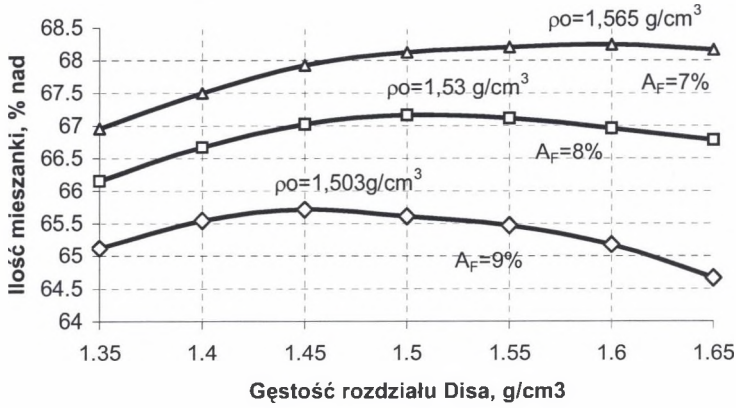
$$Max(Q_m) = Max(Q_{kd} + Q_{ko} + Q_f)$$

$$A_m = A_{zad} = \frac{A_{kd} \cdot Q_{kd} + A_{ko} \cdot Q_{ko} + A_f \cdot Q_f}{Q_{kd} + Q_{ko} + Q_f} \tag{1}$$

Do sterowania układu technologicznego w pobliżu optymalnego punktu pracy zastosowano koncepcję przedstawioną w [3] – korekta dobranych optymalnych gęstości

rozdziału dla średniego punktu pracy odbywa się na podstawie pomiaru natężeń przepływu nadawy do wzbogacalników, natężeń przepływu składowych koncentratów z trzech procesów oraz pomiaru zawartości popiołu w mieszance. Charakterystyki statyczne układu technologicznego z rys. 1 przedstawiono na rys. 2. Symulacje przeprowadzono dla następujących danych układu:

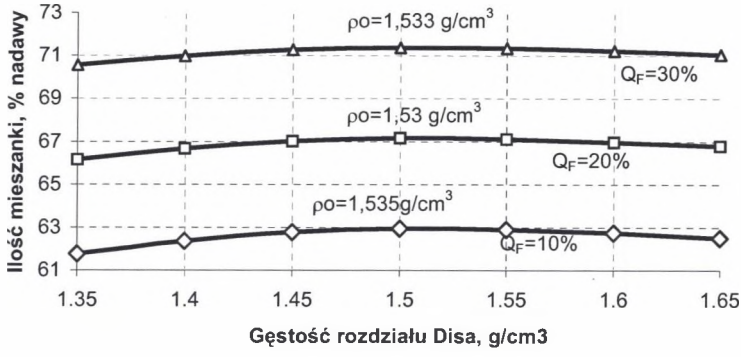
- udziały frakcji gęstościowych w nadawie do Disa: 45, 7, 2, 3, 3, 40 [%],
- udziały frakcji gęstościowych w nadawie do osadzarki: 55, 9, 9, 6, 6, 20 [%],
- udziały procentowe nadawy do cc., osadzarki i flotacji: 30%,50%,20%,
- zawartość popiołu flotokoncentratu - stała (9%, 8%, 7%),
- zadana zawartość popiołu w mieszance koncentratów (produkt końcowy): 8%.




Rys. 2. Zależność ilości końcowego produktu od gęstości rozdziału wzbogacalników i od zmian zawartości popiołu flotokoncentratu
Fig. 2. Relation between the yield of the final product and the separation densities of washers and ash content in flotation concentrate

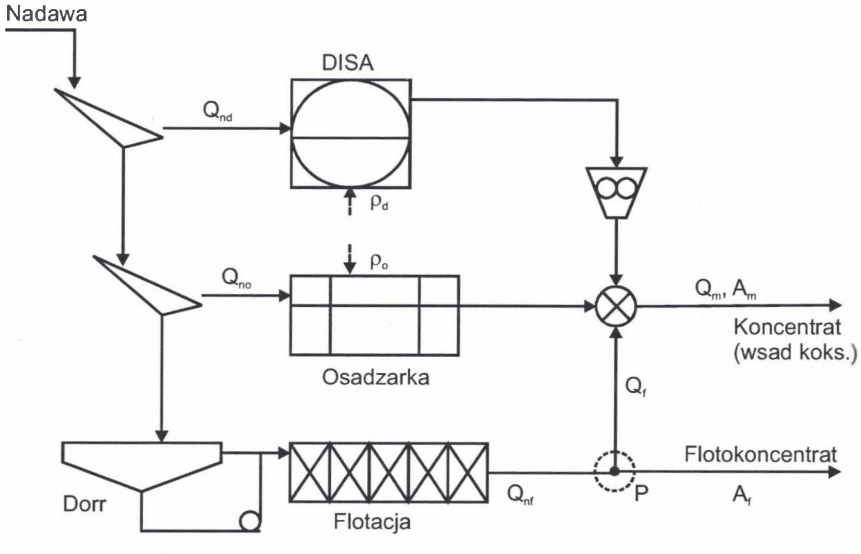
Ilość mieszanki (jako procentowy udział w 100% sumarycznej nadawy), w zależności od gęstości rozdziału wzbogacalników, ma charakter ekstremalny i zależy dodatkowo od zawartości popiołu we flotokoncentracie. Wartości optymalnych par gęstości rozdziału wzbogacalnika Disa i osadzarki także w istotny sposób zależą od zawartości popiołu we flotokoncentracie.

Na rys. 3 przedstawiono podobną zależność ilości mieszanki od gęstości rozdziału, dla której parametrem jest natężenie przepływu flotokoncentratu o stałej zawartości popiołu $A_F$=8%. W tym przypadku widać, że charakterystyki statyczne również mają charakter ekstremalny oraz że wartości optymalnych gęstości rozdziału są w badanych trzech przypadkach podobne.




Rys. 3. Zależność ilości końcowego produktu od gęstości rozdziału wzbogacalników i od zmian natężenia przepływu flotokoncentratu ($A_F$=8%)
Fig. 3. Relation between the yield of final product and separation densities of washers and tonnage of flotation concentrate

Rozważmy podobny układ technologiczny jak na rys. 1, lecz z trzema niezależnymi wielkościami sterującymi: gęstości rozdziału wzbogacalnika Disa, osadzarki oraz ilości flotokoncentratu o stałej zawartości popiołu $A_F$.




Rys. 4. Układ technologiczny z trzema niezależnymi parametrami sterującymi: $\rho_d$, $\rho_o$ i P
Fig. 4. Technological system with the three independent control parameters $\rho_d$, $\rho_o$ i P

W układzie powyższym przyjęto następujące założenia: $Q_{nd}$=25% , $Q_{no}$=40%, $Q_{nf}$=35%, $A_f$=9%, $A_{mzad}$=8%, charakterystyka wzbogacalności węgla surowego jak w przykładzie z rys. 1.

## 3. Maksymalna wartość produkcji

Do sterowania układu technologicznego przyjąć można kryterium maksymalnej wartości sumy produktów o zadanej jakości [3,4]:

$$Max(Z_m) = Max(C_{jm} \cdot Q_m + C_{jf} \cdot Q_{fm})$$
$$A_m = A_{m(zad)} = \frac{A_{kd} \cdot Q_{kd} + A_{ko} \cdot Q_{ko} + A_f \cdot Q_f}{Q_{kd} + Q_{ko} + Q_f} \tag{2}$$
$$A_f = A_{f(zad)}$$

gdzie:

$Z_m$ – wartość produktu, zł,

$C_{jm}$ – cena jednostkowa wsadu koksowego, zł/t,

$C_{jf}$ – cena jednostkowa flotokoncentratu, zł/t

$Q_{fm}$ – masa flotokoncentratu dodawanego do mieszanki, t

$Q_f$ – masa flotokoncentratu jako samodzielnego produktu, t.

W celu wyznaczenia ceny produktów przyjmijmy formułę cenową [3,4], która w dalszym ciągu może być stosowana do ustalania cen negocjowanych:

$$C_j = C_{wk} \cdot (1 - \frac{A-6}{50} - \frac{S_t}{20} - \frac{W_t - 8}{100}) \tag{3}$$

gdzie:

$C_j$ - jednostkowa cena węgla, zł/t

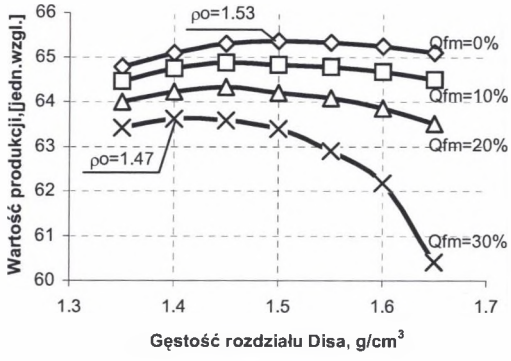
$C_{wk}$ – jednostkowa cena węgla wskaźnikowego, zł/t

A – zawartość popiołu,%

$S_t$ – zawartość siarki (dla węgla wskaźnikowego 1%),%

$W_t$ – zawartość wilgoci (dla węgla wskaźnikowego 8%),%.

Na rys.5 przedstawiono zależność wartości produkcji układu technologicznego $Z$ w zależności od doboru trzech sygnałów sterujących: gęstości rozdziału wzbogacalnika Disa $\rho_d$, osadzarki $\rho_o$ oraz proporcji flotokoncentratu kierowanej do mieszanki $Q_{fm}$ .




Rys. 5. Zależność wartości produkcji układu technologicznego w zależności od gęstości rozdziału wbzogacalników i proporcji rozdziału flotokoncentratu (zadane zawartości popiołu: mieszanka-wsad koksow $A_{m(zad)}$=8%, flotokoncentrat $A_f$=9%)

Fig. 5. Relation between the product value and separation densities of washers and tonnage of flotation concentrate for $A_{m(zad)}$=8% and $A_f$=9%

Optymalny punkt pracy rozpatrywanego układu technologicznego:

Gęstość rozdziału Disa - 1.5 g/cm$^3$, gęstość rozdziału osadzarki - 1,53 g/cm$^3$, $Q_{Fm}$=0%.

## 4. Podsumowanie

Układ technologiczny trzech równolegle pracujących wzbogacalników produkujący koncentrat węgla koksowego jest obiektem o charakterystyce ekstremalnej. Wynika z niej, że dla optymalnej kombinacji parametrów sterujących można uzyskać, z tej samej masy węgla surowego, maksymalną ilość sumarycznego koncentratu, a więc maksymalną wartość produkcji. Optymalny punkt pracy układu technologicznego w istotny sposób zależy od parametrów jakościowych składników.

LITERATURA

1. S. Cierpisz, J. Pielot: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Monografia, Politechnika Śląska, Gliwice 2001.
2. S. Cierpisz, J. Pielot, A. Heyduk, J. Joostberens: Komputerowe modele symulacyjne przebiegu procesów wzbogacania węgla. Monografia, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
3. R. Kaula, J. Pielot: Metoda wyznaczania optymalnej struktury sterowań układów technologicznych przeróbki węgla. Monografia, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.

4. W. Blaschke i in.: System cen na węgiel kamienny. Przegląd Górniczy 1991, nr 2, s.18-26.

Recenzent: Prof. nzw. dr hab. inż. Kazimierz Trybalski

**Abstract**

The principal static characteristic of the technological system for production of coking concentrate have been discussed. The final concentrate consists of three products from heavy media process, jigs and froth flotation. Process control allows to achieve appropriate parameters of products simultaneously with disturbance compensation. The object has an extreme character in which, for the desired product quality, one can achieve the maximum tonnage of the product for optimal combination of control parameters.