

Joachim PIELOT
Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA WZBOGACANIA WĘGLA Z TECHNOLOGICZNYMI SPRZĘŻENIAMI ZWROTNYMI

Streszczenie. W artykule przedstawiono wstępne wyniki analizy wzbogacania grawitacyjnego węgla w układzie technologicznym przeróbki węgla z technologicznymi sprzężeniami zwrotnymi. Dla przykładowego układu technologicznego wyznaczono optymalne gęstości rozdziału wzbogacalników przy różnych wariantach technologicznych sprzężeń zwrotnych i różnych wartościach współczynnika sprzężenia zwrotnego.

ANALYSIS OF COAL ENRICHMENT IN TECHNOLOGICAL SYSTEM WITH FEEDBACKS

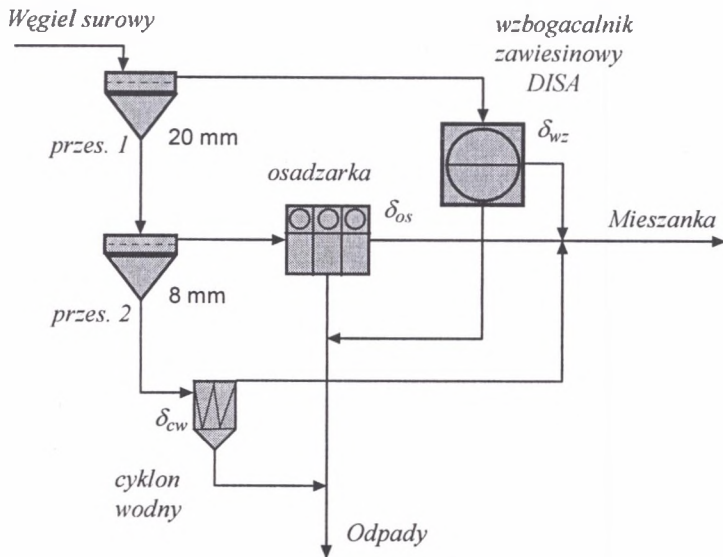
Summary. Basic results of coal enrichment in technological system with feedbacks have been presented in the paper. For exemplary technological scheme and different feedbacks the optimal separation densities for each gravitational separator have been calculated.

1. Wstęp

Przebiegiem procesów przeróbki węgla można sterować zmianami parametrów rozdziału operacji przerobczych. Odpowiedni dobór wartości tych parametrów pozwala na uzyskanie określonych cech produktów oraz maksymalnej wartości produkcji [2, 3, 6, 8, 9, 12]. W procesach flotacji rud metali stosuje się dodatkowo ponowne wzbogacanie części produktów [11], czyli technologiczne sprzężenia zwrotne. K. Kalinowski wykazał, że również w przypadku flotacji węgla możliwe jest uzyskanie lepszych wyników wzbogacania poprzez zastosowanie technologicznych sprzężeń zwrotnych [7]. W artykule przedstawione są wyniki analizy wzbogacania grawitacyjnego w układzie technologicznym przeróbki węgla z technologicznymi sprzężeniami zwrotnymi.

2. Opis układu technologicznego

W rozpatrywanym układzie technologicznym, przedstawionym na rys. 1, surowy węgiel po operacji przesiewania w układzie nadsobnym w przesiewaczach o wielkościach otworów sit 20 mm i 8 mm jest wzbogacany we wzbogacalniku zawieszinowym Disa, w osadzarce oraz w cyklonie wodnym, dzięki czemu uzyskiwane są koncentraty węgla grubego i miału. Koncentraty te są następnie łączone ze sobą, tworząc produkt końcowy o nazwie *Mieszanka*. Produkty ciężkie ze wszystkich wzbogacalników również są łączone i stanowią odpady kamienne. Węgiel surowy jest opisany charakterystykami podanymi w tablicach 1 i 2.



Rys. 1. Schemat układu technologicznego mieszania koncentratów z trzech operacji wzbogacania grawitacyjnego

Fig. 1. Scheme of the technological system of concentrates blending from three gravity enrichment operations

Tablica 1

Charakterystyka składu ziarnowego węgla surowego

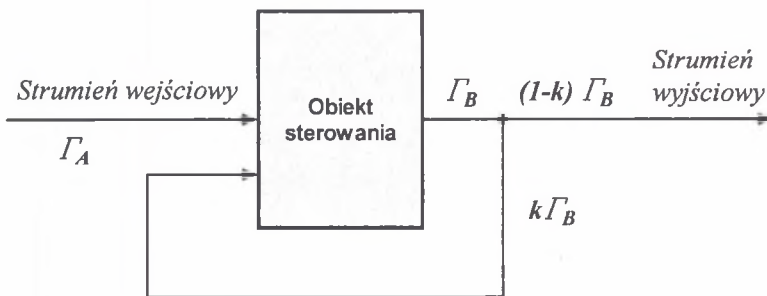
Wymiary ziarn klasy ziarnowej Mm	Udział klasy ziarnowej w nadawie %
200–80	10,39
80–60	6,35
60–40	11,95
40–30	6,97
30–20	9,93
20–10	19,25
10–0,5	35,16

Tablica 2
Charakterystyka gęstościowo-jakościowa nadawy węgla surowego

Nr frakcji gęst.	Gęstość frakcji gęstościowej g/cm ³	Względny udział frakcji %	Zawartość popiołu %	Zawartość siarki całkowitej %	Wartość opałowa %
1	< 1,30	8,40	5,18	0,91	30 240
2	1,30–1,35	14,43	7,77	0,93	29 130
3	1,35–1,40	10,98	12,28	1,00	27 360
4	1,40–1,50	9,36	19,75	1,01	24 600
5	1,50–1,60	9,49	29,97	1,04	21 180
6	1,60–1,70	8,16	38,04	1,02	17 840
7	1,70–1,80	5,41	45,85	1,02	15 110
8	1,80–1,90	4,00	52,38	1,06	12 830
9	1,90–2,00	2,44	52,89	1,17	10 500
10	> 2,00	27,33	76,93	1,69	3 940

3. Technologiczne sprzężenia zwrotne

W teorii sterowania znane są układy z tzw. recyklem, czyli ponownym wprowadzaniu części produktu lub produktów do wejścia procesu [4]. W dalszym ciągu procedura taka będzie nazywana pojęciem technologicznego sprzężenia zwrotnego – rys. 2. Współczynnik k nazywany będzie współczynnikiem sprzężenia zwrotnego, który określa, jaka część wychodu produktu Γ_B wraca ponownie do wejścia i jest mieszana z materiałem wejściowym o wychodzie Γ_A .



Rys. 2. Obiekt sterowania z technologicznym sprzężeniem zwrotnym
 Γ – wychód, k – współczynnik sprzężenia zwrotnego ($0 \leq k < 1$)
 Fig. 2. Control object with feedback
 Γ – yield, k – feedback coefficient ($0 \leq k < 1$)

4. Przykłady analizy

W złożonym układzie technologicznym wartość produkcji zależy od wielu parametrów rozdziału, możliwe jest więc poszukiwanie jej maksimum. Jako zmienne parametry rozdziału w układzie z rys. 1. przyjęte zostały gęstości rozdziału wzbogacalników δ_{wz} , δ_{os} i δ_{cw} oraz odpowiedni współczynnik sprzężenia zwrotnego k , zależnie od tego, które sprzężenie zwrotne jest rozpatrywane. Współczynnik k jest tożsamy ze współczynnikiem rozdziału odpowiednio zainstalowanego rozdzielacza (rozdzielacze te – 8 poniżej podanych przypadków – nie zostały przedstawione na osobnych ośmiu schematach technologicznych)

Przy kilku różnych założeniach produkcyjnych co do jakości mieszanki, rozpatrzone zostały każdorazowo 4 przypadki z ponownym wzbogacaniem części odpadów i 4 przypadki z ponownym wzbogacaniem części koncentratu. Są to przypadki ponownego wzbogacania części odpadów:

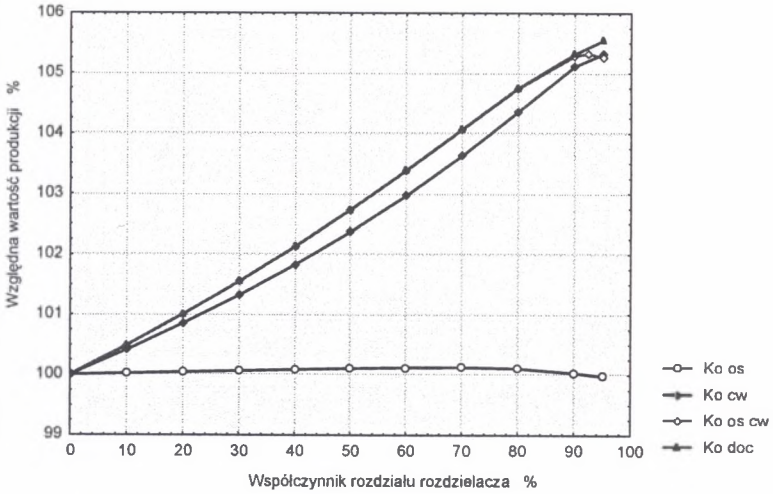
- z osadzarki – mieszanych z nadawą do osadzarki ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{o\ os}$,
- z cyklonu wodnego – mieszanych z nadawą do cyklonu wodnego ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{o\ cw}$,
- z osadzarki i cyklonu wodnego – mieszanych z nadawą do drugiego przesiewacza (*przes. 2*) ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{o\ os\ cw}$,
- ze wszystkich wzbogacalników – mieszanych z węglem surowym ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{o\ doc}$,

oraz przypadki ponownego wzbogacania części koncentratu:

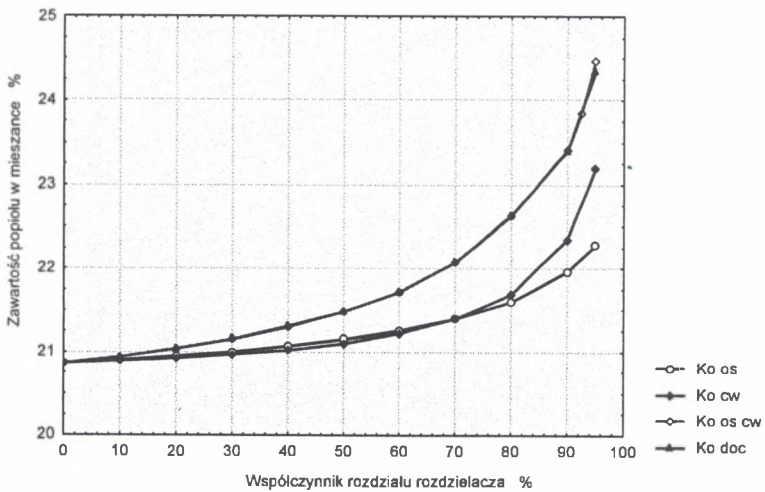
- z osadzarki – mieszanego z nadawą do osadzarki ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{k\ os}$,
- z cyklonu wodnego – mieszanego z nadawą do cyklonu wodnego ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{k\ cw}$,
- z osadzarki i cyklonu wodnego – mieszanego z nadawą do drugiego przesiewacza (*przes. 2*) ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{k\ os\ cw}$,
- ze wszystkich wzbogacalników – mieszanego z węglem surowym ze współczynnikiem sprzężenia zwrotnego $k_{k\ doc}$,

Wielkościami wyjściowymi są wychody produktów końcowych i ich parametry jakościowe. Do obliczeń optymalizacyjnych wykorzystany został algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości produkcji, omówiony w pracach [3, 9], wykorzystujący modele tablicowe operacji przeróbki węgla [5]. Prognozy symulacyjne względnej wartości produkcji, uzyskiwanej przy optymalnych parametrach rozdziału (bez zaokrąglania cenotwórczych parametrów jakościowych mieszanki do wartości, takich jak w cennikach węgla) przedstawione są na kolejnych rysunkach. Każdorazowo względna wartość produkcji jest odnoszona do maksymalnej wartości produkcji, uzyskiwanej bez sprzężenia zwrotnego ($k=0$).

Na rys. 3 zilustrowane są zmiany względnej wartości produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów bez ograniczeń co do jakości mieszanki. Na rys. 4 pokazane są odpowiadające rys. 3 zmiany zawartości popiołu w mieszance.



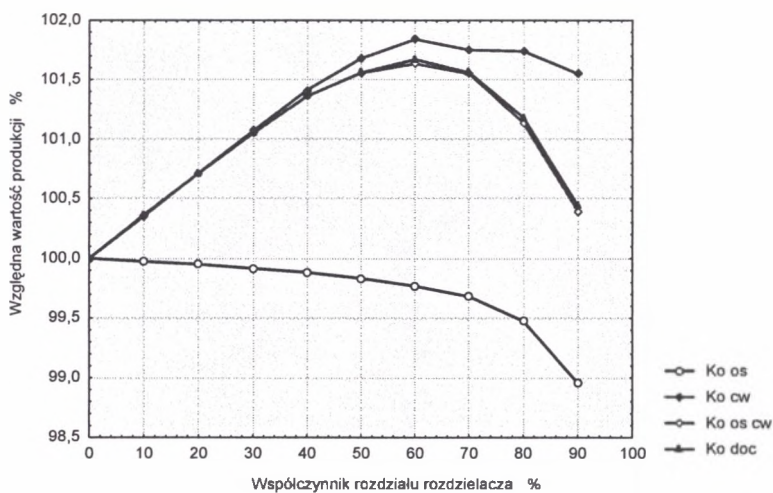
Rys. 3. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; A_{miesz} bez ograniczeń
 Fig. 3. Relative production value when the feedback is in the line of refuse; A_{miesz} without limits



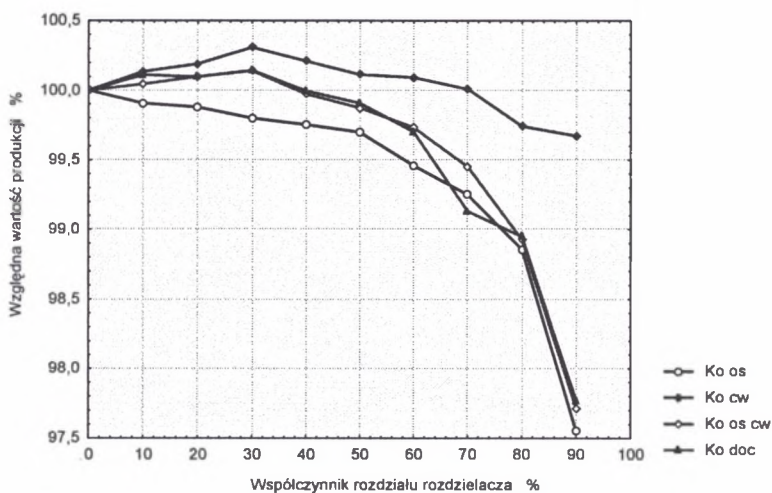
Rys. 4. Zawartość popiołu w mieszance przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; A_{miesz} bez ograniczeń
 Fig. 4. Ash content in the blend when the feedback is in the line of refuse; A_{miesz} without limits

Rysunki 5–8 przedstawiają zmiany wartości produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów przy różnej zadanej zawartości popiołu w mieszance. Niewielki wzrost wartości

produkcji uzyskuje się przy dużej zadanej zawartości popiołu (rys. 5 i 6) i sprzężeniu zwrotnemu części odpadów z cyklonu wodnego¹.

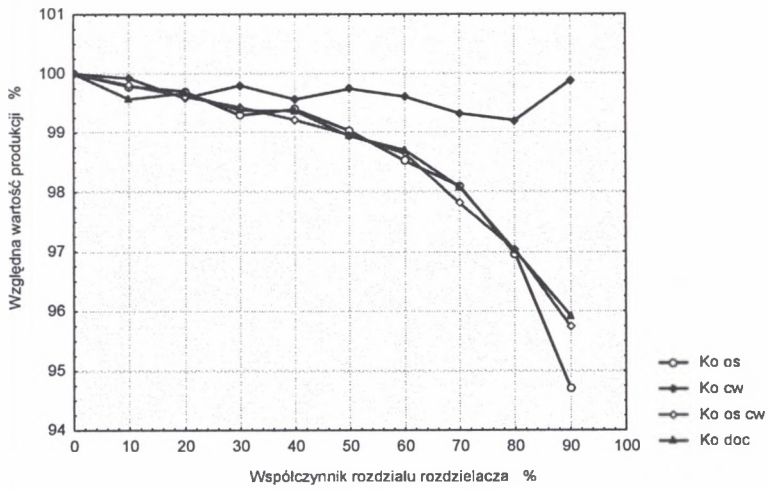


Rys. 5. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; $A_{miesz} \leq 18\%$
 Fig. 5. Relative production value when the feedback is in the line of refuse; $A_{miesz} \leq 18\%$

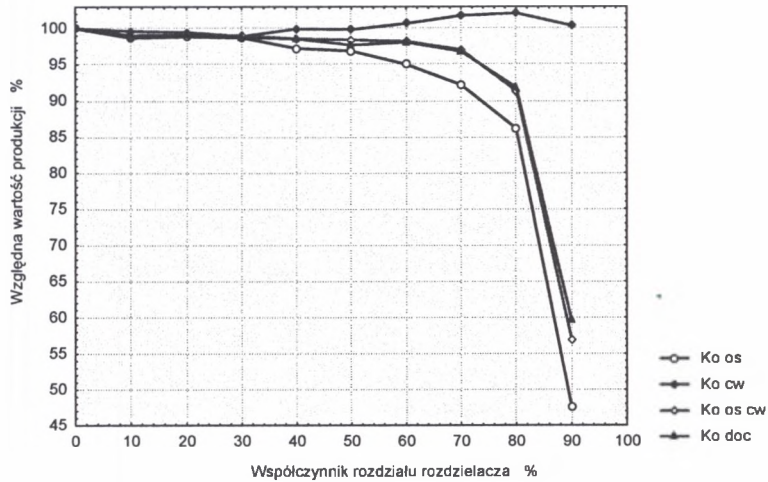


Rys. 6. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; $A_{miesz} \leq 15\%$
 Fig. 6. Relative production value when the feedback is in the line of refuse; $A_{miesz} \leq 15\%$

¹ Przyrost wartości produkcji wynika tutaj z ograniczenia górnej gęstości rozdziela cyklonu wodnego ($1,950 \text{ g/cm}^3$).

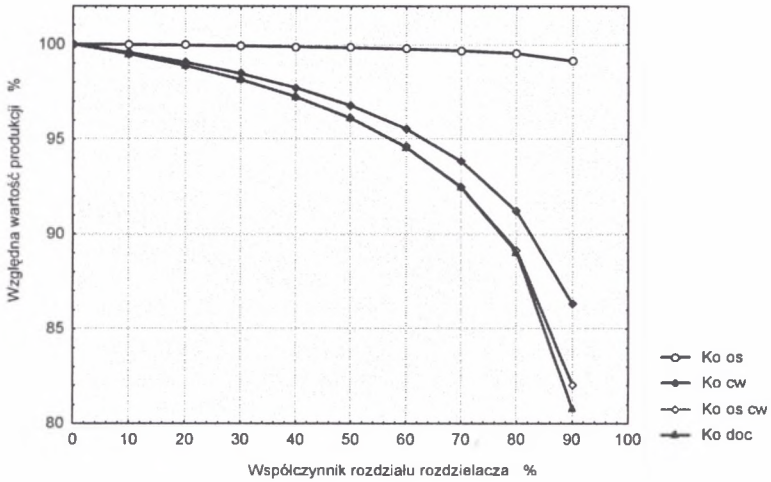


Rys. 7. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; $A_{miesz} \leq 12\%$
 Fig. 7. Relative production value when the feedback is in the line of refuse; $A_{miesz} \leq 12\%$

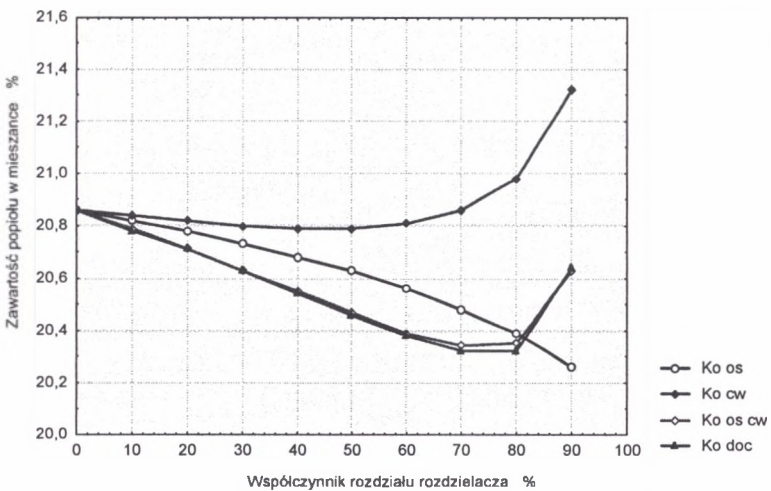


Rys. 8. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym odpadów; $A_{miesz} \leq 9\%$
 Fig. 8. Relative production value when the feedback is in the line of refuse; $A_{miesz} \leq 9\%$

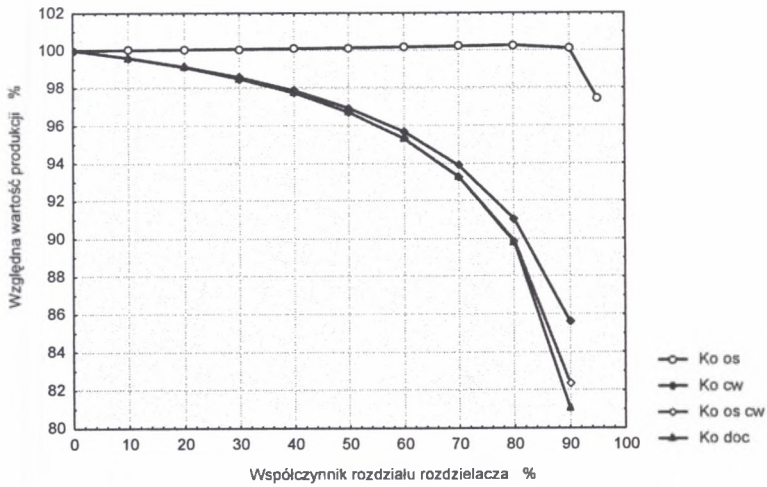
Rysunki 9–14 przedstawiają analogiczne zmiany wartości produkcji, ale przy sprzężeniu zwrotnym części koncentratu. Wzrost wartości produkcji uzyskuje się przy małej zadanej zawartości popiołu w mieszance (rys. 14) i sprzężeniu zwrotnemu części koncentratu z osadzarki.



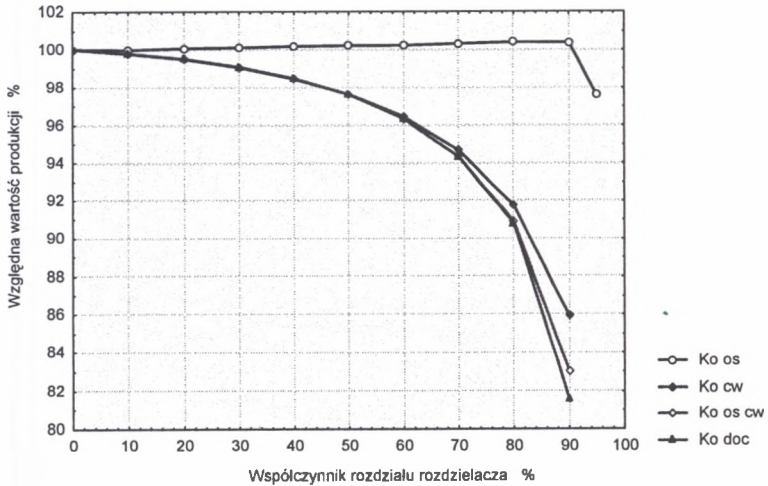
Rys. 9. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; A_{miesz} bez ograniczeń
 Fig. 9. Relative production value when feedback is in the line of concentrate; A_{miesz} without limits



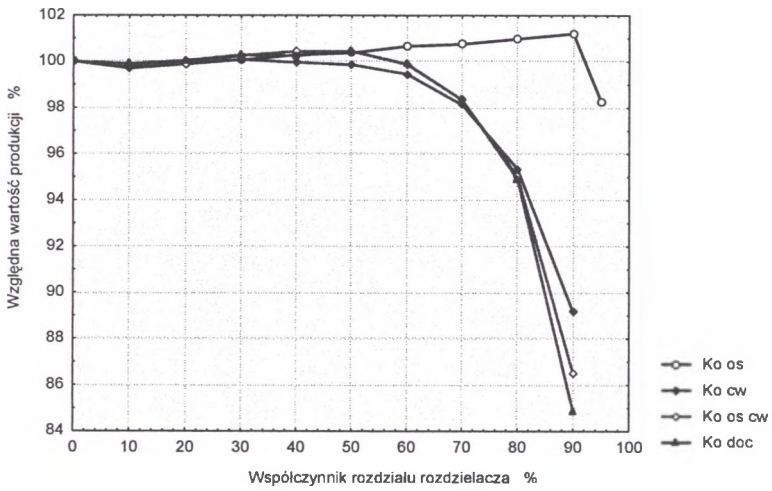
Rys. 10. Zawartość popiołu w mieszance przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; A_{miesz} bez ograniczeń
 Fig. 10. Ash content in the blend when the feedback is in the line of concentrate; A_{miesz} without limits



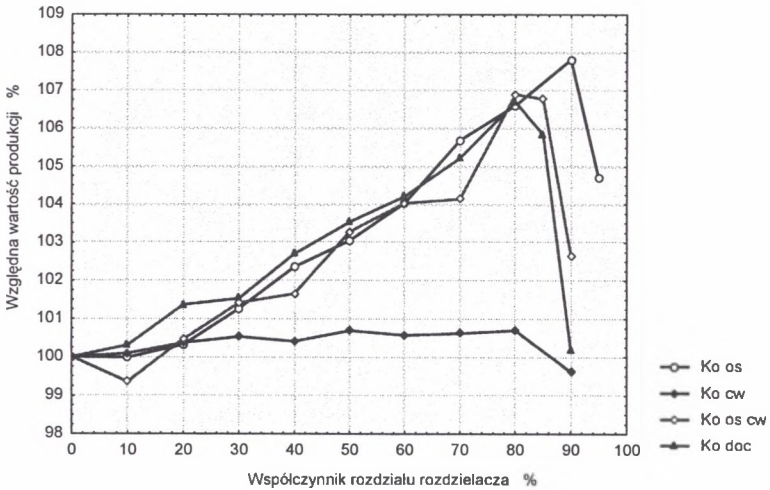
Rys. 11. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; $A_{miesz} \leq 18\%$
 Fig. 11. Relative production value when the feedback is in the line of concentrate; $A_{miesz} \leq 18\%$



Rys. 12. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; $A_{miesz} \leq 15\%$
 Fig. 12. Relative production value when the feedback is in the line of concentrate; $A_{miesz} \leq 15\%$



Rys. 13. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; $A_{miesz} \leq 12\%$
 Fig. 13. Relative production value when the feedback is in the line of concentrate; $A_{miesz} \leq 12\%$



Rys. 14. Względna wartość produkcji przy sprzężeniu zwrotnym koncentratu; $A_{miesz} \leq 9\%$
 Fig. 14. Relative production value when the feedback is in the line of concentrate; $A_{miesz} \leq 9\%$

5. Podsumowanie

Stosowanie technologicznych sprzężeń zwrotnych w ograniczonym stopniu umożliwia wzrost wartości produkcji. W rozpatrywanym układzie technologicznym niewielki wzrost

wartości produkcji uzyskuje się stosując ponowne wzbogacanie części odpadów z cyklonu wodnego (co wynika zasadniczo z ograniczenia górnej wartości gęstości rozdziału cyklonu). Wzrost wartości produkcji uzyskuje się stosując ponowne wzbogacanie części koncentratu z osadzarki. Można więc sformułować wstępne wnioski, dotyczące wzbogacania węgla z technologicznymi sprzężeniami zwrotnymi:

1. Ponowne wzbogacanie części odpadów umożliwia wzrost wartości produkcji przy dużej zawartości popiołu w mieszance (praca przy górnych ograniczeniach gęstości rozdziału).

2. Ponowne wzbogacanie części koncentratu umożliwia wzrost wartości produkcji przy małej zawartości popiołu w mieszance.

LITERATURA

1. Blaschke W., Grudziński Z., Lorenz U.: Koncepcja formuły sprzedażnej węgla kamiennego energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Inżynieria mineralna, Zeszyt specjalny nr S. 3 (10) wrzesień 2003, s. 185-193.
2. Cierpisz S.: Automatyzacja procesów przeróbki mechanicznej węgla. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
3. Cierpisz S., Pielot J.: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 28, Gliwice 2001.
4. Findeisen W.: Wielopoziomowe układy sterowania. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974.
5. Goodman F., McCreery J.: Coal Preparation Computer Model. Vol. I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington 1980.
6. Kalinowski K.: Identyfikacja i sterowanie procesami wzbogacania węgla we wzbogacalnikach z cieczą ciężką i w osadzarkach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 120, Gliwice 1982.
7. Kalinowski K.: The use of generalized characteristics of flotation systems in the problems of their optimization. Information Technologies and Systems, Lviv 2000, pp. 77-84.
8. Kalinowski K., Walaszek-Babiszewska A.: Sterowanie procesu wzbogacania węgla. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1124 (cz. II), Gliwice 1983.
9. Pielot J.: Maksymalizacja produkcji w sterowaniu procesów przeróbki mechanicznej węgla. Materiały V Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla, Szczyrk, 5-8 maja 1999, s. 145-158.
10. Sztaba K.: Stan i pożądane kierunki rozwoju automatyzacji procesów przeróbki kopalni. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1991, nr 7-8 (258), s. 21-26.
11. Trybalski K.: Optymalizacja w przeróbce kopalni. Archiwum Górnictwa t. 41: 1996, z. 3, s. 371-392.

12. Zapała W.: Wybrane zagadnienia komputerowej identyfikacji i sterowania w kopalniach. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1861, Gliwice 1994.

Artykuł opracowany został w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T12A 035 28

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Jaracz, prof. nzw. AP