

*Joachim Pielot**

EFEKTY WZBOGACANIA WĘGLA ENERGETYCZNEGO W DWÓCH RÓWNOLEGLYCH OSADZARKACH**

1. Wstęp

W artykule [11] przedstawione zostały zagadnienia optymalnego sterowania (w warstwie sterowania operatywnego i nadrzędnego hierarchicznej struktury funkcjonalnej systemu automatycznego [7, s. 24]) w czterech układach wzbogacania węgla w osadzarkach. Układy te różnią się między sobą odmiennymi kombinacjami wzbogacania różnych klas ziarnowych węgla surowego. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w układzie dwóch osadzarek (IIa) uzyskiwany przyrost wartości produkcji (względem wartości produkcji możliwej do osiągnięcia w układzie z pojedynczą osadzarką) jest niewiele mniejszy niż w układzie z trzema osadzarkami (III). Z tego powodu w niniejszym artykule przedstawiona jest bardziej szczegółowa analiza warunków optymalnego wzbogacania w układzie IIa.

Rozpatrzone poprzednio [11] układy mają charakter obiektów ekstremalnych, a więc możliwe jest uzyskanie optymalnej jakości koncentratu końcowego, która zależy od charakterystyki wzbogalności oraz konfiguracji układu technologicznego. Przy optymalnej jakości koncentratu uzyskuje się maksimum globalne wartości produkcji. Jeśli jednak kontrakty handlowe przewidują inną jakość tego koncentratu, wtedy możliwy jest również dobór takiej pary gęstości rozdziału w układzie dwóch osadzarek, gwarantujący uzyskanie — w danych warunkach — nowej maksymalnej wartości produkcji, która oczywiście będzie zawsze mniejsza. Gęstości rozdziału w obu osadzarkach oraz uzyskana maksymalna wartość produkcji wyznaczają w takim przypadku punkt maksimum lokalnego. W wykorzystanym do prognoz symulacyjnych algorytmie maksymalizacji produkcji zadana jakość koncentratu (może ją wyrażać zawartość popiołu, wartość opałowa a nawet zawartość siarki całkowitej) jest programowana w postaci odpowiednich ograniczeń, których przekroczenie generuje odpowiednie wartości funkcji kary. Szerokie omówienie algorytmu maksymali-

* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

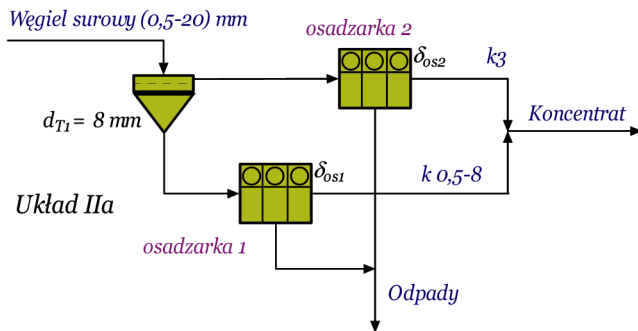
** Artykuł opracowany został w ramach projektu badawczego nr N N524 465936

zacji produkcji znajduje się w monografii [2]. We wszystkich prognozach symulacyjnych wykorzystane zostały tablicowe modele matematyczne [3]. W niniejszym artykule przedstawione wyniki obliczeń dotyczą pięciu krzywych rozdziału dla osadzarek, które zilustrowane są na rysunku 1 w artykule [11].

2. Układ technologiczny wzbogacania węgla w dwóch osadzarkach

Zmiennymi sterującymi w układzie technologicznym są dwie gęstości rozdziału w osadzarkach. Jak wiadomo w osadzarkach można tylko w sposób pośredni wpływać na gęstość rozdziału produktów, przykładowo poprzez zmianę ustawienia położenia pływaka sprzężonego z układem wygarniania produktu dolnego z osadzarki. Z tego powodu w niniejszym artykule (jak również w [11]) gęstości rozdziału w osadzarkach są zatem rozumiane tak jak w teorii przeróbki kopaliny.

Na rysunku 1 przedstawiony jest schemat rozpatrywanego układu technologicznego, w artykule [11] oznaczonego jako układ IIa. W prognozach symulacyjnych wykorzystane zostały te same charakterystyki ilościowo-jakościowe dwóch nadaw węgla surowego: łatwo (nadawa A) i trudno (nadawa B) wzbogacalnego. Charakterystyki te przedstawione są w tabelach 1–3 [11].



Rys. 1. Układ wzbogacania równoległego w dwóch osadzarkach [11]

3. Optymalizacja produkcji przy różnej jakości koncentratu

Ważnym problemem technologicznym w zakładach wzbogacania węgla jest zapewnienie stałej jakości produktów wzbogacania. Wymaganie to realizowane jest w warunkach zmiennych charakterystyk nadawy (i to zarówno charakterystyki wzbogacalności jak i składu ziarnowego), zmiennej efektywności rozdziału maszyn wzbogacających oraz różnych założeń produkcyjnych (wynikających z konieczności realizacji kontraktów handlowych). Poszczególne procesy technologiczne wyposaża się w układy automatyki lokalnej, popra-

wiające ich odporność na występujące zakłócenia. W przypadku osadzarek są to układy regulacji odbioru produktów [1, s. 226]. Natomiast w wyższych warstwach hierarchicznej struktury funkcjonalnej systemu automatycznego — w warstwie sterowania operatywnego i nadrzędnego [7, s. 24] — powinny być wypracowywane optymalne decyzje sterujące, maksymalizujące oczekiwane efekty sterowania nadrzędnego, np. uzyskania maksymalnej wartości produkcji o zadanej jakości. W przypadku wzbogacania równoległego (którego przykładem jest rozpatrywany układ z rys. 1) możliwe są różne kombinacje gęstości rozdziału, przy których uzyskuje się zadaną jakość produktów. Wyznaczyć można zatem przedział gęstości rozdziału w wybranym wzbogacalniku, dla którego to przedziału wyznaczyć można wymagane gęstości rozdziału w drugim (trzecim) wzbogacalniku, gwarantujące uzyskanie zadanej jakości produktów. Możliwe jest również wyznaczenie optymalnych gęstości rozdziału we wszystkich wzbogacalnikach, których koncentraty są łączone — wtedy uzyskuje się maksymalną wartość produkcji o zadanej jakości, czyli punkt optimum lokalnego. Sytuacja taka może zaistnieć oczywiście wtedy, gdy gęstości rozdziału nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Efekty uzyskiwane dla różnych przypadków określania maksymalnej wartości produkcji w układach wzbogacania równoległego są podane w kilku opracowaniach [2, s. 118–123, 4, s. 12–21, 5, s. 73–99, 10].

Poniżej przedstawiono efekty takiego sterowania wzbogacaniem w dwóch osadzarkach. Założone zostały przedziały dopuszczalnych zmian gęstości rozdziału w obydwu osadzarkach: minimalna wartość to $1,30 \text{ g/cm}^3$, a maksymalna $2,20 \text{ g/cm}^3$. Założono, że gęstość rozdziału w pierwszej osadzarce, w której wzbogacane są ziarna o wymiarach $0,5\div 1 \text{ mm}$ oraz $2\div 5 \text{ mm}$, jest zmienną niezależną. W przypadku obydwu nadaw (A i B) udział ilościowy tych ziarn stanowi około $2/3$ nadawy do osadzarek (tab. 1 [11]). Gęstości rozdziału w drugiej osadzarce, w której wzbogacane są ziarna o wymiarach $8\div 20 \text{ mm}$, zostały wyznaczone tak, aby uzyskać zadaną zawartość popiołu w koncentracie końcowym.

Wartość produkcji (Wp) określona jest zależnością:

$$Wp(\delta_{os1}, \delta_{os2}) = \Gamma_k * C_{jk} \quad (1)$$

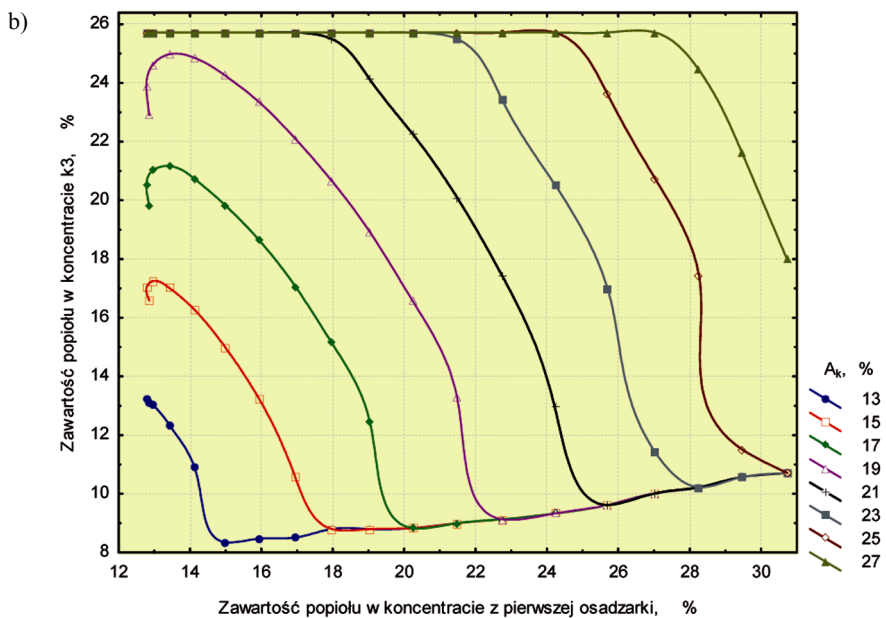
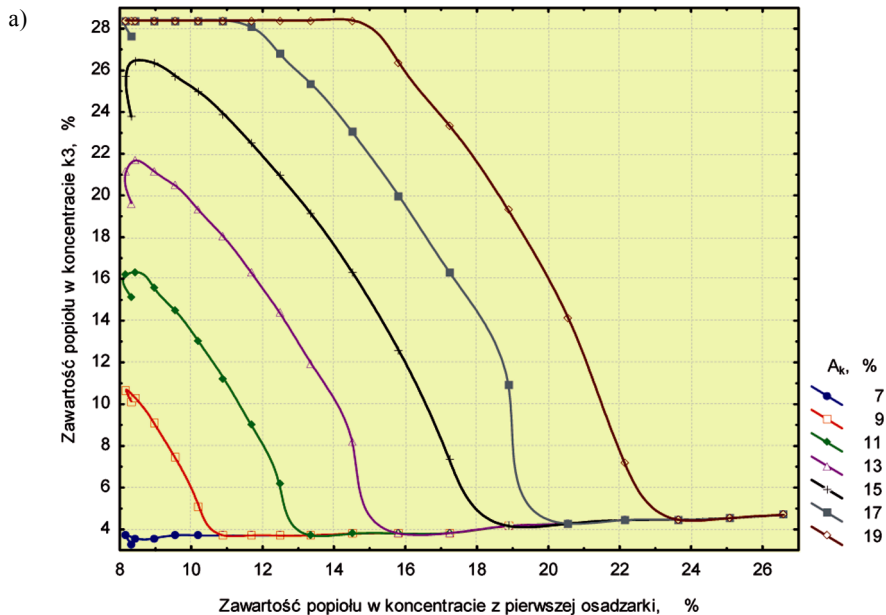
gdzie:

δ_{os} — gęstości rozdziału w osadzarkach,

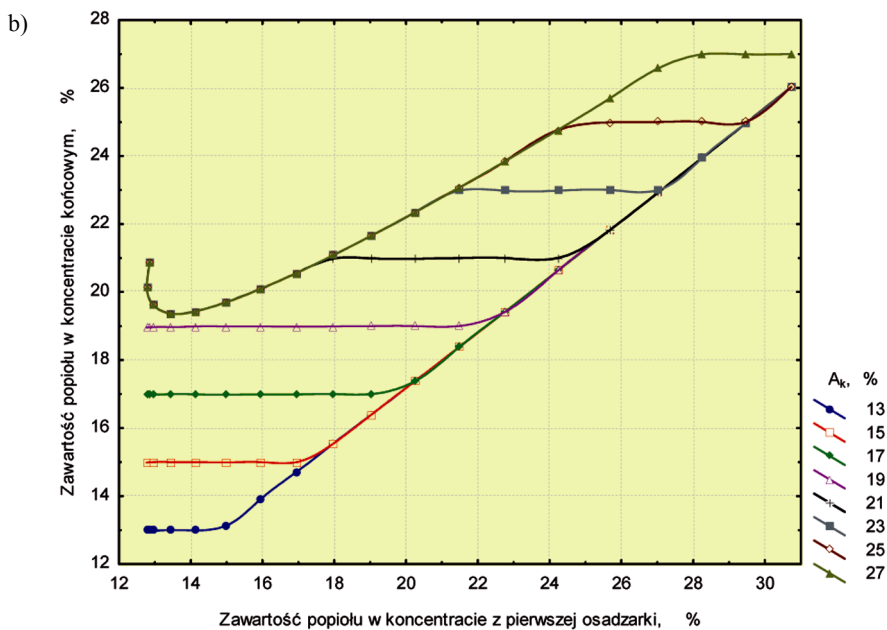
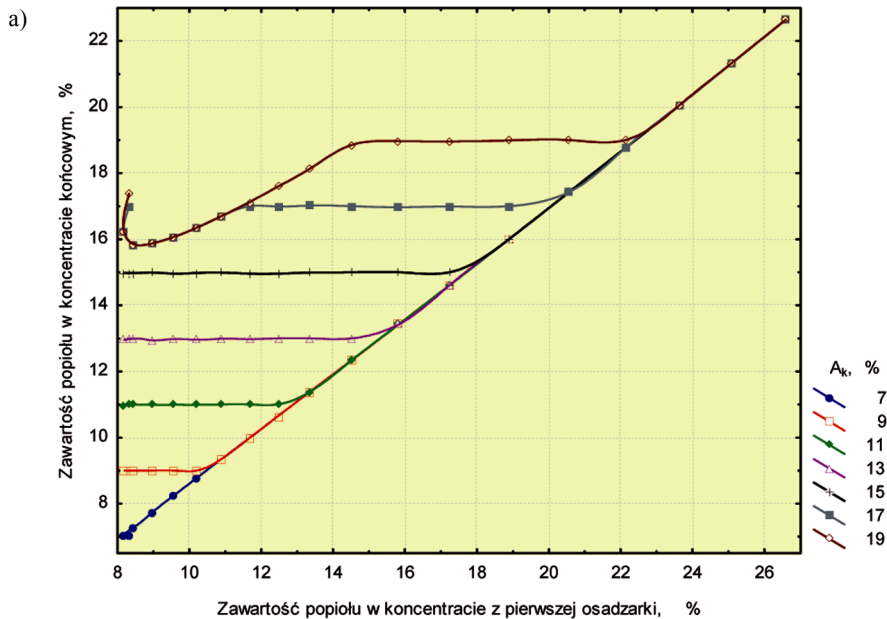
Γ_k — wychód koncentratu,

C_{jk} — cena jednostkowa koncentratu końcowego, wyznaczona z czwartej wersji formuły sprzedażnej z 2002 roku [6, s. 38].

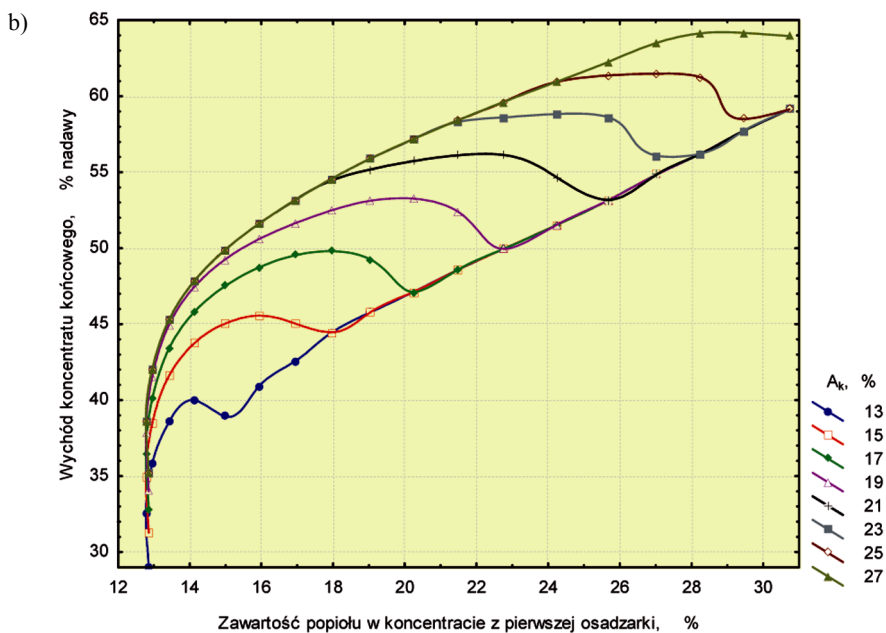
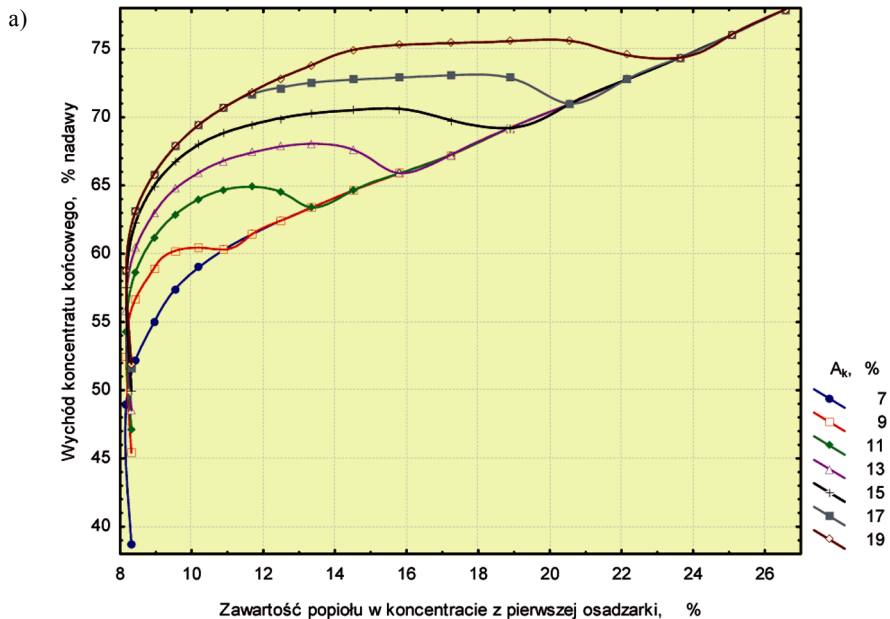
Na rysunkach przedstawionych w dalszej części artykułu zilustrowane są efekty prognoz symulacyjnych. Wykresy po lewej stronie dotyczą wzbogacania nadawy A — łatwo wzbogacalnej, natomiast rysunki po prawej nadawy B — trudno wzbogacalnej. Jak już wyżej wspomniano obliczenia zostały przeprowadzone przy niezależnych zmianach gęstości rozdziału w pierwszej osadzarce w przyjętym zakresie wartości $1,30\div 2,20 \text{ g/cm}^3$.



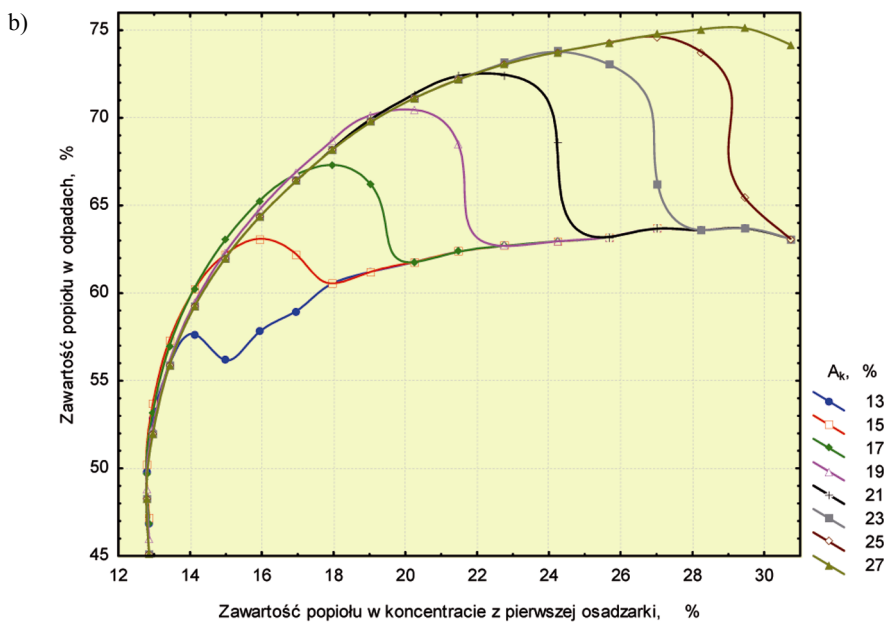
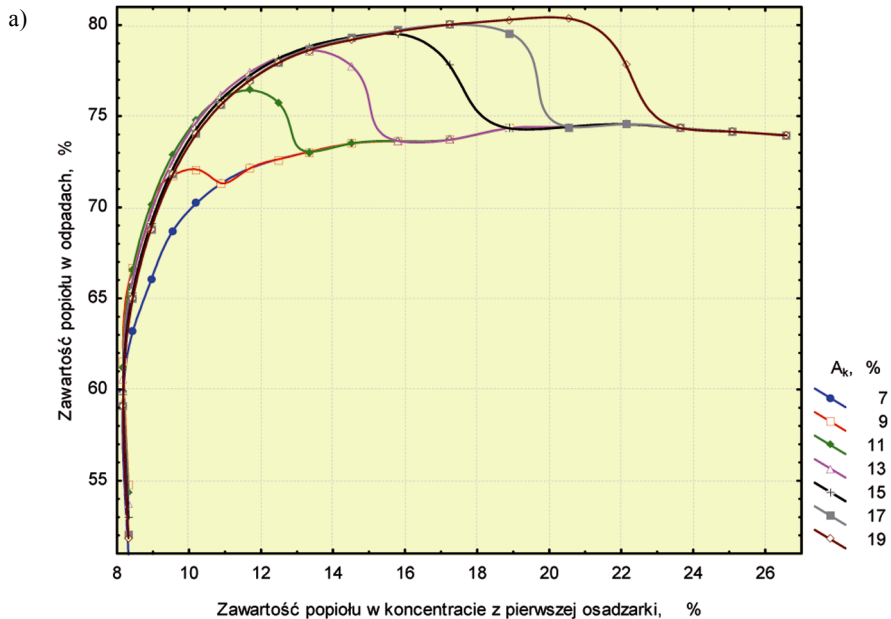
Rys. 2. Wymagana zawartość popiołu w koncentracie z drugiej osadzarki



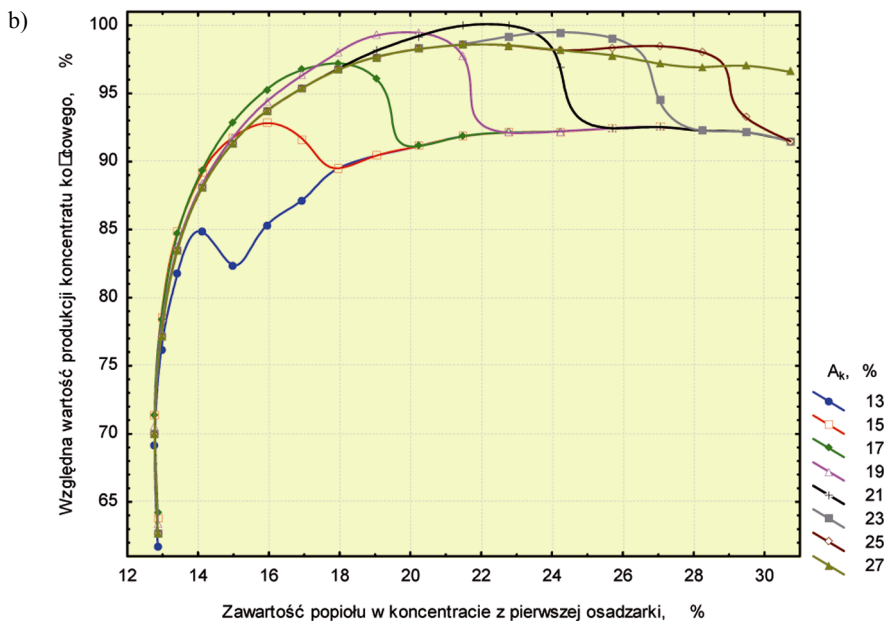
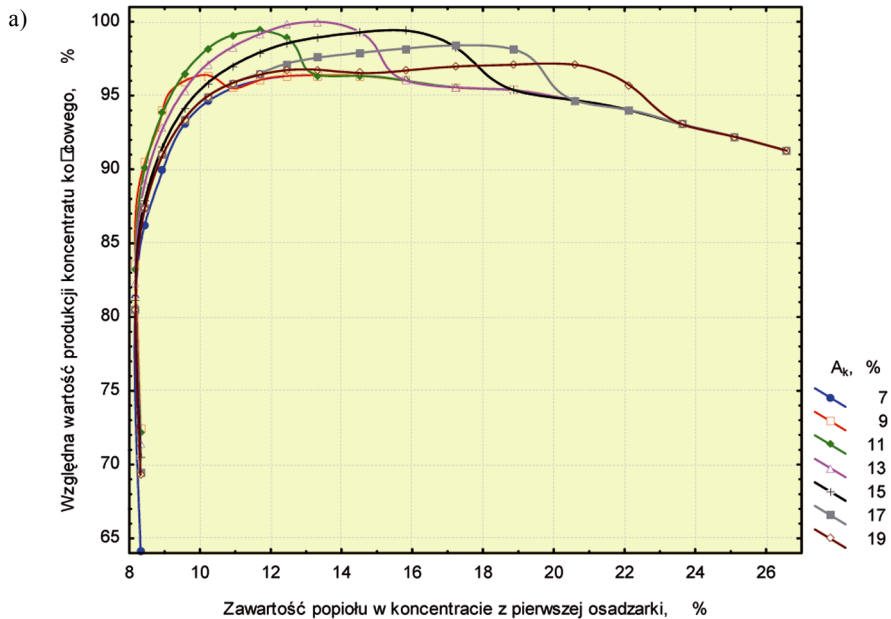
Rys. 3. Zawartość popiołu w koncentracie końcowym przy zawartościach popiołu jak na rysunku 2



Rys. 4. Wychód koncentratu końcowego przy zawartościach popiołu jak na rysunku 2



Rys. 5. Zawartość popiołu w odpadach przy zawartościach popiołu jak na rysunku 2



Rys. 6. Względna wartość produkcji koncentratu końcowego przy zawartościach popiołu jak na rysunku 2

Na osi poziomej wszystkich wykresów przyjęto natomiast — jako zmienną niezależną — zawartość popiołu w koncentracie z pierwszej osadzarki. Wynika to z jednoznacznej, dla danej charakterystyki wzbogacalności, zależności między zawartością popiołu w koncentracie a zadaną gęstością rozdziału. Na rysunkach 5 i 6 [11] zależność tę ilustruje druga od góry krzywa (k 0,5÷8).

Analogiczną zależność między zawartością popiołu w koncentracie ($k3$), a zadaną gęstością rozdziału w drugiej osadzance ilustrują pierwsze od dołu krzywe na rysunkach 5 i 6 [11]. Mniejsza niedokładność wzbogacania E_p prowadzi do osiągnięcia znacząco mniejszych zawartości popiołu w koncentracie przy tych samych gęstościach rozdziału. Inaczej mówiąc, przy mniejszej wartości wskaźnika E_p tę samą zawartość popiołu w koncentracie uzyskuje się przy większych gęstościach rozdziału, a zatem uzyskuje się również większy wychód koncentratu.

Na rysunku 2 podane są wymagane zawartości popiołu w koncentracie z drugiej osadzarki. Zmieszanie obydwu koncentratów o podanych zawartościach popiołu pozwala na uzyskanie odpowiednich zadanych zawartości popiołu w mieszance koncentratów — koncentracie końcowym, co oczywiście wynika ze średniej ważonej. Uzyskane zawartości popiołu w koncentracie końcowym ilustrują więc wykresy na rysunku 3. Zadaną zawartość popiołu w koncentracie końcowym można osiągnąć poza przypadkami przekroczenia dopuszczalnych gęstości rozdziału w osadzarkach. Możliwa jest więc stabilizacja zawartości popiołu przy zmianach (w pewnych granicach) gęstości rozdziału w pierwszej osadzance. Rysunek 4 przedstawia zmiany wychodu koncentratu końcowego. Przy spełnieniu warunku na zadaną zawartość popiołu w koncentracie końcowym, jego wychód ma charakter funkcji wypukłej, a więc posiada maksimum lokalne (zmiennymi sterującymi są dwie gęstości rozdziału w osadzarkach). Zmiany wychodu odpadów mają charakter odwrotny. W punktach maksimum lokalnych wychodu koncentratu występują minima lokalne wychodu odpadów. Zawartość popiołu w odpadach (rys. 5) w tych punktach osiąga wartości maksymalne, co świadczy o minimalizacji strat węgla w odpadach. Wreszcie na rysunku 6 zobrazowane są zmiany względnej wartości produkcji koncentratu końcowego. Zostały one obliczone według zależności (1) i odniesione do maksymalnej wartości produkcji. Wartość produkcji ma więc charakter funkcji wypukłej — możliwe do osiągnięcia są lokalne wartości maksymalne przy określonych zadanych zawartościach popiołu.

4. Wnioski

- 1) Wzbogacanie węgla w dwóch osadzarkach (wzbogacających różne wymiarowo ziarna węgla), z których koncentraty są łączone stanowi zagadnienie analogiczne do tworzenia mieszanek węgla z różnych operacji wzbogacania. Różnica polega na tym, że w przypadku łączenia koncentratów z różnych rodzajów wzbogacalników grawitacyjnych (wzbogacalników z cieczą ciężką, osadzarek oraz cyklonów wodnych) mogą występować większe rozbieżności między niedokładnością wzbogacania poszczególnych maszyn. Większe są też graniczne wymiary ziarn węgla.

- 2) Osadzarki wzbogacające ziarna drobniejsze charakteryzują się gorszym kształtem krzywych rozdziału (rys. 1 [11]) — niedokładność wzbogacania E_p jest wtedy największa. Z kolei osadzarki wzbogacające większe ziarna cechują się mniejszą niedokładnością wzbogacania — tę samą zawartość popiołu w koncentracie uzyskuje się więc przy większych gęstościach rozdziału, a zatem uzyskuje się również większy wychód koncentratu. Wzbogacanie w dwóch osadzarkach różnych wymiarowo ziarn węgla z różnymi gęstościami rozdziału może generować opłacalny wzrost wartości produkcji, w stosunku do wzbogacania w jednej osadzarce, której gęstość rozdziału jest uśredniona z uwagi na różne wartości wskaźnika E_p dla różnych klas ziarnowych. Efekt uśrednienia ilustruje środkowa krzywa na rysunkach 5 i 6 [11] uzyskana dla wzbogacania w pojedynczej osadzarce. Wzrost wartości produkcji jest oczywiście szczególnie istotny w przypadku nadawy trudno wzbogalanej.
- 3) Zastosowanie układu z dwiema osadzarkami (które mogą być maszynami mniejszymi) daje wymierne efekty ekonomiczne. Rozpatrzenie takiego sposobu wzbogacania powinno być szczególnie istotne w przypadku zadań projektowych lub modernizacyjnych w zakładzie wzbogacania węgla.

LITERATURA

- [1] *Cierpisz S., Pielot J.*: Some aspects extreme control in coal concentrates production. Archives of Mining Sciences 44 (2, 1999), Katowice, 1999, s. 225–235
- [2] *Cierpisz S., Pielot J.*: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 28, Gliwice, 2001
- [3] *Goodman F., McCreery J.*: Coal Preparation Computer Model. Vol.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 1980
- [4] *Kaula R., Pielot J.*: Metoda wyznaczania optymalnej struktury sterowań układów technologicznych przeróbki węgla. Monografia nr 47, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003
- [5] *Kaula R., Pielot J.*: Zagadnienia sterowania produkcją w układzie technologicznym procesów przeróbki węgla. Archives of Mining Sciences 50 (1, 2005), Kraków, 2005, ss. 69–100
- [6] *Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z.*: Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie nr 112, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 2002
- [7] *Niederliński A.*: Systemy komputerowe automatyki przemysłowej, t. 2. Zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985
- [8] *Pielot J.*: Maksymalizacja produkcji w sterowaniu procesów przeróbki mechanicznej węgla. Materiały V Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla, Szczyrk, 5–8 maja 1999, str. 145–158
- [9] *Pielot J.*: Analiza wpływu niedokładności wzbogacania węgla na uzyskiwane efekty ekonomiczne. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 6 (401), Katowice, 2004, s. 34–43
- [10] *Pielot J.*: Efekty ekonomiczne przy łącznym i odrębnym wzbogacaniu węgla surowego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 1 (444), Katowice, 2008, s. 5–11
- [11] *Pielot J.*: Analiza maksymalnej wartości produkcji przy wzbogacaniu różnych klas ziarnowych węgla energetycznego w osadzarkach. Kwartalnik Górnictwo i Geoinżynieria, materiał w druku, 2010