

*Joachim Pielot\**

## ANALIZA MAKSYMALNEJ WARTOŚCI PRODUKCJI PRZY WZBOGACANIU RÓŻNYCH KLAS ZIARNOWYCH WĘGLA ENERGETYCZNEGO W OSADZARKACH\*\*

---

### 1. Wstęp

Głównym celem każdego procesu produkcyjnego jest uzyskanie produktu (produktów) o założonej jakości i ilości przy określonych kosztach. Cel główny można rozłożyć na cele pośrednie realizowane w poszczególnych etapach procesu, wynikających z hierarchicznych modeli procesów przemysłowych. Każdy z etapów pośrednich realizuje określoną strategię sterowania (w warstwie niższej struktury i algorytmów sterowania) i łączy się z algorytmem sterowania nadrzędnego (w warstwie wyższej — sterowania nadrzędnego lub operatywnego). W zakładzie wzbogacania węgla znajomość charakterystyk węgla surowego i potrzeb rynku na etapie projektowania układu technologicznego jest niepełna. Z kolei podczas produkcji zmieniają się często punkty pracy maszyn przerobczych, ceny węgla (a nawet normy ekologiczne). Wszystkie te czynniki wpływają na konieczność stosowania — oprócz optymalizacji projektowej wstępnej — również optymalizacji bieżącej procesów przerobczych, czyli takiego sterowania procesów wzbogacania, dzięki któremu uzyskać można np. maksymalną wartość produkcji o zadanej jakości. Celem optymalizacji bieżącej jest więc najlepsze wykorzystanie węgla surowego, zależnie od bieżących kontraktów handlowych, wymuszających określoną jakość produktów. Należy ją stosować w najwyższych warstwach sterowania automatycznego (w warstwach: zarządzania, sterowania operatywnego i nadrzędnego [15, s. 24]), ponieważ polega ona na wypracowaniu wartości zadanych parametrów rozdziału dla układów regulacji. Doświadczenia innych zakładów przemysłowych, w których od dawna stosuje się optymalizację bieżącą, pokazują, że jest to proces nieustanny, którego nie należy traktować jako jednorazowy etap, lecz jako kierunek ciągłego działania [15, s. 234–237].

---

\* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

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

W zakładach wzbogacania węgla zmiany założeń produkcyjnych (wynikające z konieczności realizacji kontraktów handlowych) oraz różnorakie zakłócenia procesów produkcyjnych prowadzą do uzyskiwania różnych punktów pracy struktury technologicznej. Optymalne decyzje sterujące, maksymalizujące oczekiwane efekty sterowania nadrzędnego, np. uzyskania maksymalnej wartości produkcji o zadanej jakości, można rozwiązywać z wykorzystaniem optymalizacji statycznej [3–6, 16, 18]. W podanych opracowaniach podane są przykłady analiz efektów wzbogacania przy różnych założeniach produkcyjnych realizowanych w wybranych układach technologicznych przy różnych charakterystykach ilościowo-jakościowych węgla surowego. W analizach tych wpływ zmian parametrów rozdziału głównych operacji przerobczych oraz charakterystyk wzbogalności węgla surowego określony został metodą prognoz symulacyjnych z wykorzystaniem modeli tablicowych głównych operacji przerobczych [9]. Metodykę modelowania poszczególnych operacji oraz prognoz optymalizacyjnych przedstawiono w opracowaniach [5, 6].

W niniejszym artykule rozpatrzone zostały zagadnienia sterowania dotyczące fragmentu układu technologicznego — wzbogacania węgla energetycznego w osadzarkach. W literaturze od dawna podnoszony jest problem wzbogacania osadowego w wąskich klasach ziarnowych. Pomędzy koncentratem a odpadami osadzają się bowiem małe ziarna kamienia i duże ziarna węgla — czyli tzw. ziarna równopadające. Warstwa tych ziarn ma tym większą grubość im szersza jest klasa ziarnowa wzbogacanego węgla surowego. Zatem wzbogacanie w osadzarkach jest tym dokładniejsze, im węższe są klasy ziarnowe wzbogacanego węgla<sup>1)</sup>, co prowadzi jednak do konieczności stosowania większej liczby osadzarek [11, s. 160]. Istnieją opracowania, np. [2, 7], w których przeprowadzone zostały analizy zmian parametrów produktów i efektów ekonomicznych, będących skutkiem niedokładności wzbogacania w osadzarkach. Celem analiz przedstawionych w artykule jest porównanie wzbogacania tych samych węgli surowych w jednej, dwóch bądź trzech osadzarkach o łączonych koncentratkach. Porównanie efektów wzbogacania, zwłaszcza wartości produkcji o zadanej jakości pozwala określić przyrost tej wartości w układach wzbogacania równoległego dwóch albo trzech osadzarek względem wartości produkcji uzyskiwanej z jednej osadzarki. Określenie przyrostu wartości produkcji może być ekonomiczną przesłanką rozbudowy układu wzbogacania.

## 2. Niedokładność wzbogacania w osadzarkach

Jako miarę efektywności pracy wzbogalników zawieszinowych przyjmuje się różne wskaźniki [11, 12, 14, 19]. W niniejszym artykule jako wskaźnik niedokładności wzbogacania przyjęto rozproszenie prawdopodobne  $E_p$ :

$$E_p = \frac{\delta_{25} - \delta_{75}}{2} \quad (1)$$

---

<sup>1)</sup> W pracy [12, s. 100] mowa jest o wzbogacaniu w osadzarkach zawsze w wąskich klasach ziarnowych.

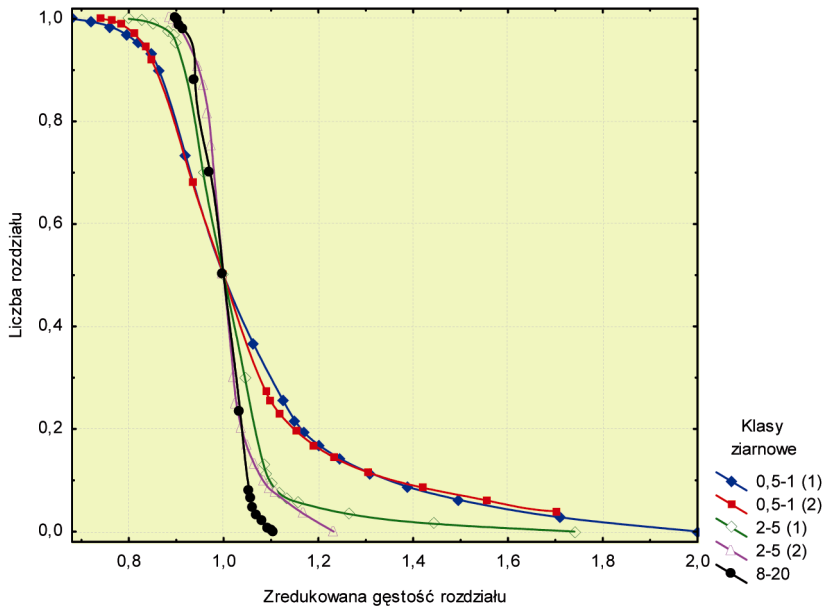
gdzie:

$\delta_{25}$  — gęstości frakcji, której 25% ziarn trafia do koncentratu,

$\delta_{75}$  — gęstości frakcji, której 75% ziarn trafia do koncentratu.

Im większa jest wartość  $E_p$ , tym większa jest niedokładność wzbogacania. Zmiany rozproszenia prawdopodobnego mają bardzo istotny wpływ na uzyskiwaną wartość produkcji.

W przedstawionych analizach przyjęto do obliczeń dwie nadawy węgla surowego, zawierające trzy klasy ziarnowe: 0,5÷1 mm, 2÷5 mm oraz 8÷20 mm. W modelu osadzarki przyjęto, że dla tych trzech klas obowiązuje pięć uogólnionych krzywych rozdziału, które przedstawione są na rysunku 1.



**Rys. 1.** Uogólnione krzywe rozdziału osadzarki dwuproduktowej

Na podstawie wcześniej przeprowadzonych analiz można stwierdzić [17, s. 43], że:

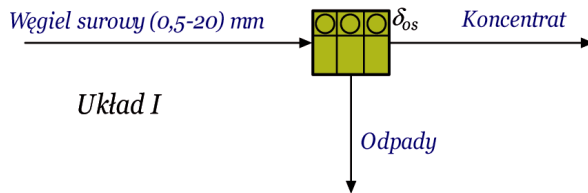
- wzrost rozproszenia prawdopodobnego  $E_p$  w znaczący sposób pogarsza parametry jakościowe koncentratu przy tej samej gęstości rozdziału;
- ponieważ cena jednostkowa węgla zależy od jego parametrów jakościowych, dlatego wzrost wskaźnika  $E_p$  powoduje zmniejszenie ceny jednostkowej węgla przy tej samej gęstości rozdziału;
- optymalne parametry jakościowe koncentratu, przy których uzyskiwana jest maksymalna wartość produkcji pogarszają się wraz ze wzrostem wskaźnika  $E_p$ ;

- zmiany rozproszenia prawdopodobnego w sposób istotny wpływają na uzyskiwaną maksymalną wartość produkcji; w przypadku osadzarki mogą to być zmiany nawet rzędu 20%;
- wykorzystany model symulacyjny krzywych rozdziału umożliwia prognozowanie wpływu wskaźnika  $E_p$  na wartość produkcji, i co szczególnie istotne, pozwala określić wartość parametrów jakościowych koncentratu, przy których osiągana jest maksymalna wartość produkcji (dla konkretnego węgla surowego o określonych charakterystykach wzbogacalności, składu ziarnowego oraz rozpatrywanej konfiguracji układu technologicznego).

Dwie pierwsze krzywe dotyczą klasy 0,5÷1 mm (ważona wartość  $E_p = 0,177$ ), kolejne dwie — klasy 2÷5 mm (ważona wartość  $E_p = 0,082$ ) zaś ostatnia krzywa – klasy 8÷20 mm ( $E_p = 0,062$ )<sup>2)</sup>.

### 3. Rozpatrywane układy technologiczne wzbogacania węgla w osadzarkach

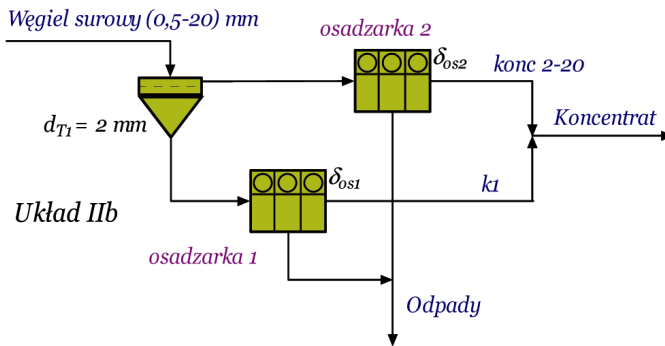
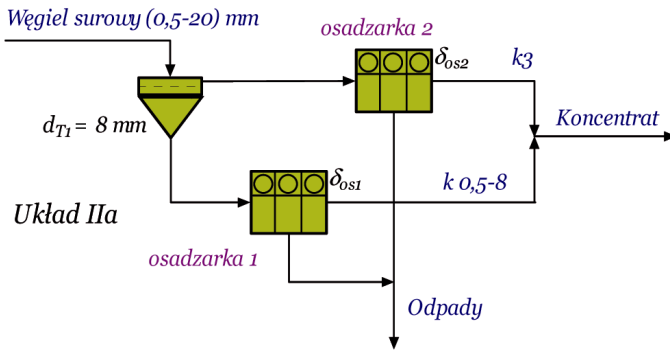
Prognozy wzbogacania przeprowadzone zostały dla czterech układów technologicznych. Pierwszy układ (I) to wzbogacanie węgla w pojedynczej osadzarkie (rys. 2), kolejne dwa układy (IIa i IIb) to wzbogacanie węgla w dwóch osadzarkach (rys. 3) a czwarty układ (III) to wzbogacanie w trzech osadzarkach każdej klasy ziarnowej nadawy oddzielnie (rys. 4).



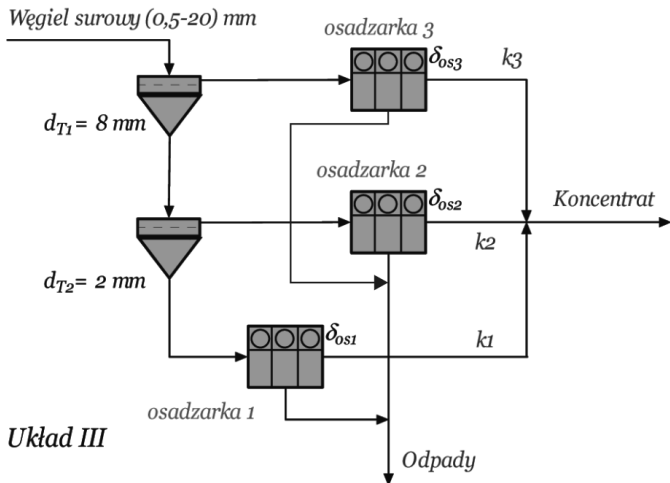
Rys. 2. Układ wzbogacania w pojedynczej osadzarkie

Układy dwóch osadzarek z rysunku 3 różnią się wielkością otworów sita przesiewacza, a zatem w układzie IIa w osadzarkie pierwszej wzbogacane są dwie najdrobniejsze klasy nadawy (1 i 2 w tab. 1) a w osadzarkie drugiej klasa najgrubsza (3). W układzie IIb w osadzarkie pierwszej wzbogacana jest najdrobniejsza klasy nadawy (1) a w osadzarkie drugiej dwie pozostałe klasy (2 i 3).

<sup>2)</sup> Zdaniem autora jakość uogólnionych krzywych rozdziału najlepiej określa wskaźnik imperfekcji, ale określony według zależności  $I = E_p / \delta_{s0}$  [19, s. 87]. W takim przypadku imperfekcja dla wymienionych klas ziarnowych przyjmuje wartości: 0,10; 0,05 oraz 0,04.



Rys. 3. Układy wzbogacania równoległego w dwóch osadzarkach



Rys. 4. Układ wzbogacania równoległego w trzech osadzarkach

## 4. Charakterystyki węgla surowego

W prognozach symulacyjnych wykorzystane zostały charakterystyki ilościowo-jakościowe dwóch nadaw węgla surowego: łatwo (nadawa A) i trudno (nadawa B) wzbogacalnego.

W tabeli 1 przedstawione są charakterystyki składu ziarnowego obydwu nadaw, zaś w kolejnych dwóch tabelach przedstawione są ich charakterystyki gęstościowo-jakościowe. W przypadku nadawy trudno wzbogacalnej (B) charakterystyka wzbogacalności jest identyczna w przypadku wszystkich klas ziarnowych.

TABELA 1

**Charakterystyki składu ziarnowego dwóch nadaw węgla surowego**

Numer klasy	Wymiary ziarn, [mm]	Udziały klas	
		Nadawa A	Nadawa B
1	0,5÷1	40,40	35,0
2	2÷5	27,95	30,0
3	8÷20	31,65	35,0

TABELA 2

**Uśredniona charakterystyka gęstościowo-jakościowa węgla surowego  
— nadawa łatwo wzbogalna (A)**

Gęstość frakcji, [g/cm <sup>3</sup> ]	Wychód frakcji, [%]	Zawartość popiołu, [%]	Zawartość siarki całkowitej, [%]	Wartość opałowa, [kJ/kg]
< 1,30	39,94	3,10	0,61	31 700
1,30÷1,35	6,38	7,50	0,74	30 100
1,35÷1,40	6,38	12,50	1,10	28 510
1,40÷1,50	4,77	18,60	1,30	26 240
1,50÷1,60	3,14	28,30	1,89	22 660
1,60÷1,70	1,81	38,40	1,87	18 470
1,70÷1,80	2,15	46,40	1,82	15 380
1,80÷1,90	1,41	59,50	1,87	13 160
1,90÷2,00	2,78	59,50	1,74	10 470
> 2,00	31,24	81,60	2,66	1 670
Razem	100,00	39,87	1,31	17 750

TABELA 3

**Charakterystyka gęstościowo-jakościowa węgla surowego  
— nadawa trudno wzbogalna (B)**

Gęstość frakcji, [g/cm <sup>3</sup> ]	Wychód frakcji, [%]	Zawartość popiołu, [%]	Zawartość siarki całkowitej, [%]	Wartość opałowa, [kJ/kg]
< 1,30	12,14	4,67	0,84	30 680
1,30÷1,35	17,97	7,40	0,86	29 630
1,35÷1,40	10,95	10,99	0,97	28 300
1,40÷1,50	8,47	17,92	1,10	25 750
1,50÷1,60	7,42	26,61	1,24	22 550
1,60÷1,70	7,02	35,81	1,25	19 160
1,70÷1,80	3,95	43,81	1,13	16 220
1,80÷1,90	4,04	51,03	1,12	13 560
1,90÷2,00	2,59	57,08	1,39	11 330
> 2,00	25,45	75,84	2,75	4 420
Razem	100,00	33,67	1,46	19 960

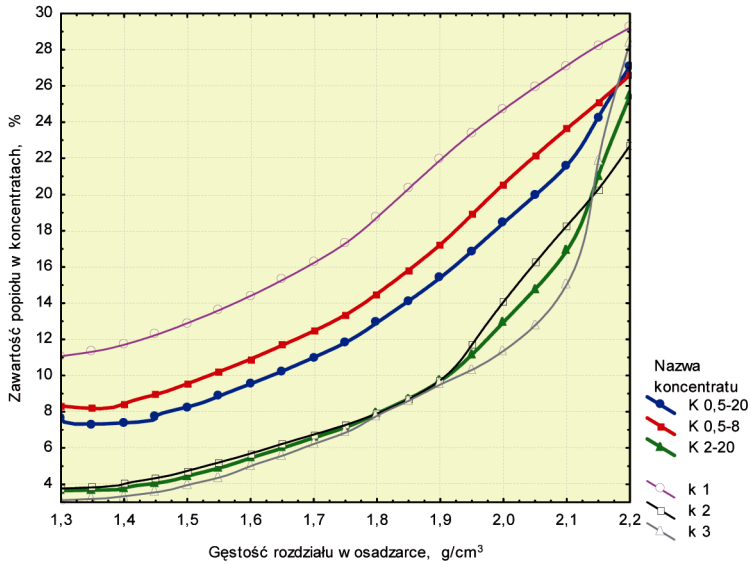
## 5. Wpływ niedokładności wzbogacania w osadzarkach na zawartość popiołu w koncentratkach

Na rysunkach 5 i 6 zilustrowane są zmiany zawartości popiołu w poszczególnych koncentratkach z osadzarek we wszystkich czterech układach technologicznych<sup>3)</sup>. W przypadku nadawy B — która ma te same charakterystyki wzbogalności we wszystkich klasach ziarnowych — widoczne spore różnice między poszczególnymi zmiennymi są spowodowane jedynie różną niedokładnością wzbogacania w osadzarkach w różnych klasach ziarnowych.

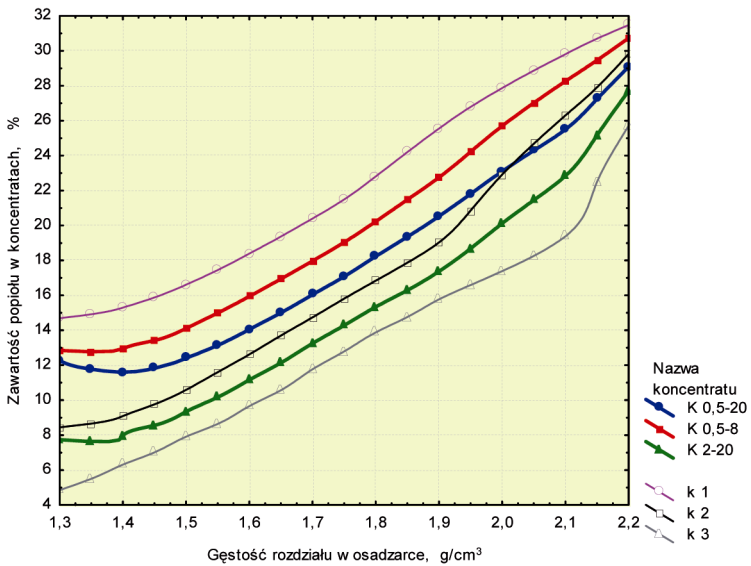
## 6. Optymalizacja produkcji przy różnej jakości koncentratu

Do obliczeń optymalizacyjnych wykorzystany został algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości, omówiony w pracach [3–6, 16], wykorzystujący modele tablicowe głównych operacji przeróbki węgla [9]. Do obliczania wartości produkcji wykorzystana została czwarta wersja formuły sprzedażnej z 2002 roku [1, 13].

<sup>3)</sup> Linie dla koncentratów uzyskanych z dwóch lub trzech klas ziarnowych mają wypełnione znaczniki, natomiast linie dla koncentratów uzyskanych z jednej klasy ziarnowej nie mają wypełnionych znaczników.



Rys. 5. Zawartość popiołu w koncentratach z osadzarek — nadawa A



Rys. 6. Zawartość popiołu w koncentratach z osadzarek — nadawa B

Wartość produkcji ( $W_p$ ), która jest funkcją celu algorytm maksymalizacji, określona jest w kolejnych układach (rys. 2–4) zależnościami:



$$Wp(\delta_{os}) = \Gamma_k * C_{jk} \quad (2a)$$

$$Wp(\delta_{os1}, \delta_{os2}) = \Gamma_k * C_{jk} \quad (2b)$$

$$Wp(\delta_{os1}, \delta_{os2}, \delta_{os3}) = \Gamma_k * C_{jk} \quad (2c)$$

gdzie:

- $\delta_{os}$  — gęstości rozdziału w osadzarkach  
(zmiennie decyzyjne algorytmu maksymalizacji produkcji),
- $\Gamma_k$  — wychód koncentratu,
- $C_{jk}$  — cena jednostkowa koncentratu końcowego.

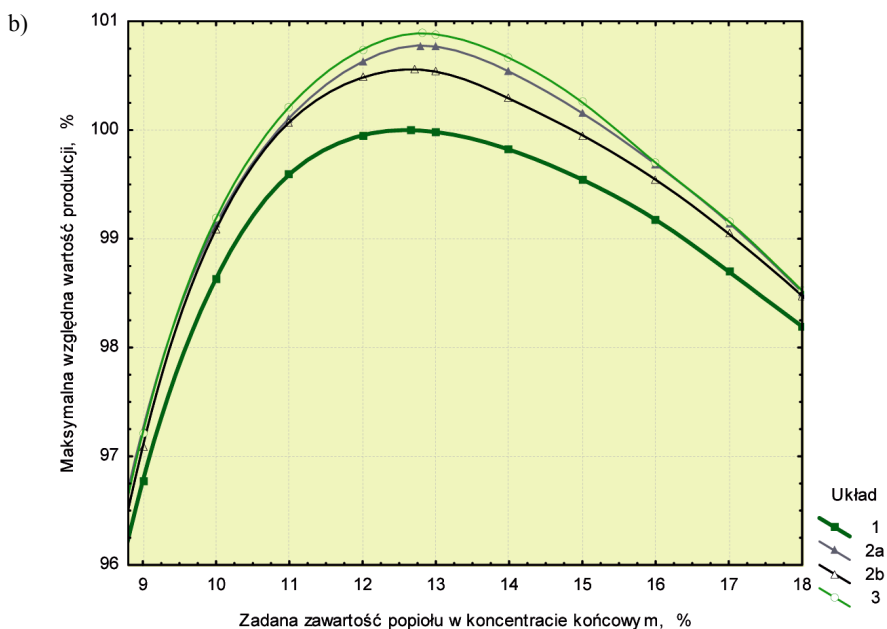
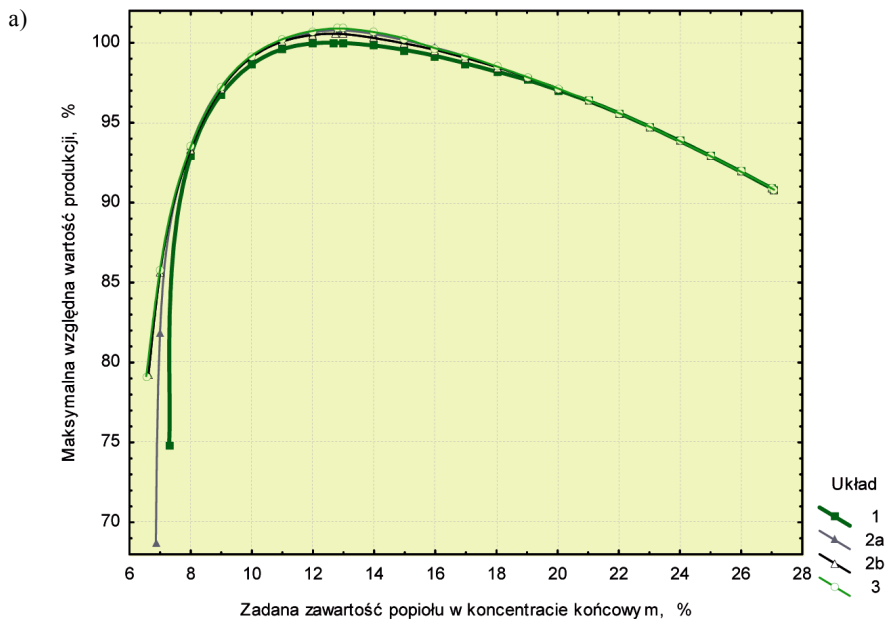
Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono uzyskane wyniki względnej maksymalnej wartości produkcji, uzyskanej przy różnych zadanych zawartościach popiołu w koncentracie końcowym. Każdy punkt na tych wykresach uzyskany został przy każdorazowo optymalnych gęstościach rozdziału w poszczególnych przypadkach. Poziomym odniesieniem była maksymalna wartość produkcji w układzie z jedną osadzarką. Kształt krzywych maksymalnej wartości produkcji ilustruje charakter układów technologicznych, które z punktu widzenia teorii sterowania są nieliniowymi obiektami ekstremalnymi.

Przyrosty maksymalnej wartości produkcji w układach z dwiema lub trzema osadzarkami w przypadku nadawy łatwo wzbogacalnej (A) wahają się poniżej jednego procenta. W przypadku nadawy trudno wzbogacalnej (B) przyrosty te są bardziej znaczące — zwłaszcza dla dobrej wymaganej jakości koncentratu — i przedstawione są na rysunku 9.

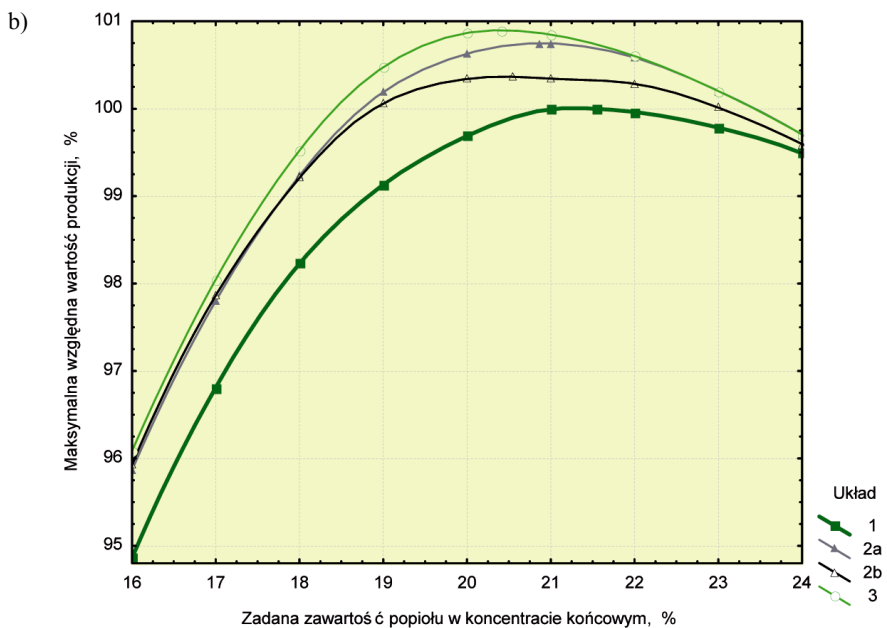
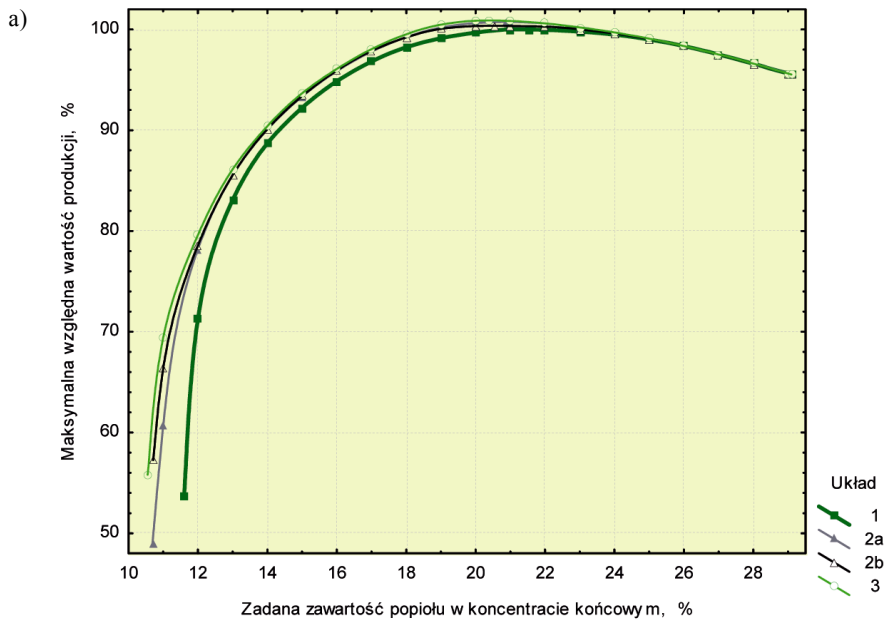
Przyrosty te zostały wyznaczone poprzez odniesienie wartości produkcji uzyskiwanej w układach z dwiema lub trzema osadzarkami do wartości produkcji uzyskiwanej w układzie z jedną osadzarką.

Ze wstępnych szacunków kosztów wzbogacania wynika, że w przypadku układów równoległych przyrost wartości produkcji rekompensuje z nadwyżką koszty eksploatacyjne osadzarek. W przypadku więc, gdy w zakładzie wzbogacania znajdują się dwie (trzy) osadzarki, to celowym działaniem jest skierowanie do nich różnych klas ziarnowych nadawy.

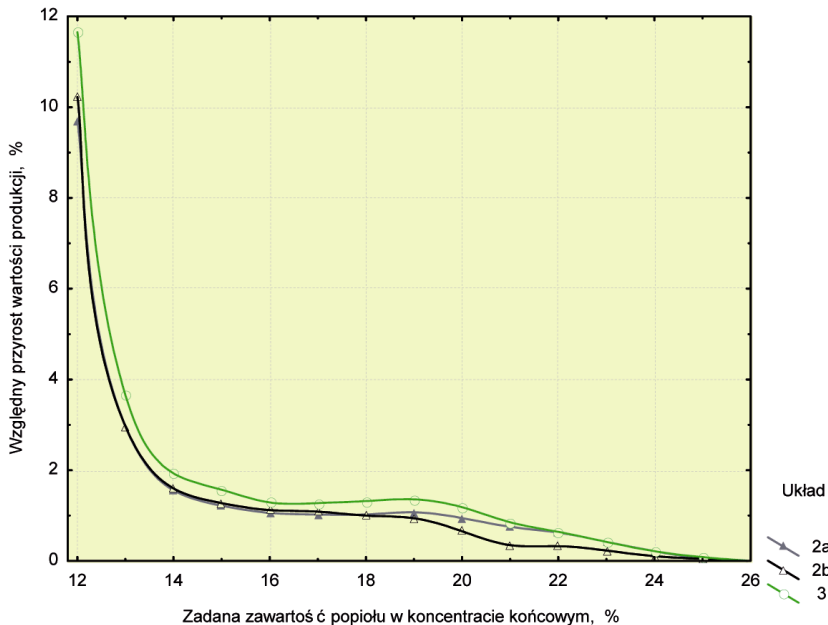
Szczegółowych analiz wymaga natomiast rozstrzygnięcie kwestii, czy możliwe jest w odpowiednio krótkim czasie zrekompensowanie ewentualnych kosztów inwestycyjnych zakupu i instalacji nowej osadzarki — nadmienić należy, że może to być jednak mniejsza osadzarka o mniejszej wydajności, gdyż kierowana do niej byłaby tylko część nadawy. Oczywiście wydaje się również wzbogacanie w układzie równoległym z rozdzieleniem klas ziarnowych w przypadku, gdy jedna osadzarka ma zbyt małą wydajność w stosunku do ilości węgla surowego.



**Rys. 7.** Maksymalna względna wartość produkcji koncentratu końcowego w poszczególnych układach: a) dla całego możliwego do uzyskania zakresu zawartości popiołu, b) dla zawężonego zakresu zawartości popiołu — nadawa A



**Rys. 8.** Maksymalna względna wartość produkcji koncentratu końcowego w poszczególnych układach: a) dla całego możliwego do uzyskania zakresu zawartości popiołu, b) dla zawężonego zakresu zawartości popiołu — nadawa B



**Rys. 9.** Przyrost względnej wartości produkcji koncentratu końcowego w poszczególnych układach — nadawa B

## 7. Wnioski

- 1) Krzywe rozdziału osadzarek mają kształt odbiegający od idealnej krzywej, co powoduje, iż w procesie wzbogacania grawitacyjnego pojawiają się ziarna błędne. Ponieważ w przypadku różnych klas ziarnowych nadawy krzywe rozdziału mają różny kształt (wymiernym wskaźnikiem jakości tych krzywych jest niedokładność wzbogacania  $E_p$ ), dlatego efekty wzbogacania są różne w poszczególnych klasach ziarnowych. Możliwy jest dobór gęstości rozdziału w osadzarkach, maksymalizujący wychód koncentratu o zadanej jakości (w więc maksymalizujący wartość produkcji).
- 2) Układ technologiczny jest obiektem ekstremalnym a zatem możliwy jest dobór optymalnego punktu pracy. Optymalna jakość koncentratu, wynikająca z określonej charakterystyki wzbogalności węgla surowego i zastosowanego układu technologicznego, powinna być znana osobom zawierającym kontrakty handlowe. Zawartość popiołu w ramach kontraktów powinna jak najmniej odbiegać od optymalnej. W przypadku małej wymaganej zawartości popiołu opłacalne jest (przynajmniej w kwestii zrekomensowania kosztów eksploatacyjnych) stosowanie układu dwóch lub trzech osadzarek. Ponieważ efekty uzyskiwane w układzie IIa są nieznacznie gorsze niż w układzie III, wydaje się zasadne wykorzystanie układu z dwiema osadzarkami. W przypadku wy-

- maganej gorszej od optymalnej jakości koncentratu stosowanie więcej niż jednej osadzarki nie jest celowe, gdyż wzrost wartości produkcji jest nieznaczny.
- 3) Układ dwóch osadzarek (IIa) jest szczególnie godny polecenia, w przypadku gdy pojedyncza osadzarka (układ I) ma zbyt małą wydajność. Wtedy zastosowanie dwóch (trzech) mniejszych osadzarek daje wymierne efekty ekonomiczne — oczywiście najistotniejsze w przypadku nadawy trudno wzbogacalnej. Rozpatrzenie takiego sposobu wzbogacania powinno być szczególnie istotne w przypadku zadań projektowych lub modernizacyjnych w zakładzie wzbogacania węgla.
  - 4) Możliwy do uzyskania — oczywiście tylko w niektórych przypadkach założeń produkcyjnych — wzrost wartości produkcji jest wartością godną zainteresowania dla technologów w zakładach wzbogacania węgla. Może to przyczynić się do poprawy poziomu efektywności dyspozytorskiego sterowania układów technologicznych przeróbki węgla.

#### 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, str. 185–193
- [2] *Blaschke W., Tarnawska K.*: Wpływ dokładności wzbogacania w zakładach przerobczych na wyniki ekonomiczne kopalń węgla kamiennego. Polityka Energetyczna, tom 10, zeszyt specjalny 2, Kraków, 2007, str. 623–632
- [3] *Cierpisz S., Pielot J.*: Metoda wyznaczania optymalnych wartości parametrów rozdziału procesów przerobczych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, Katowice, 1997, nr 6–7 (323), s. 101–105
- [4] *Cierpisz S., Pielot J.*: Computer simulation of complex control systems in coal preparation plants. Archives of Mining Sciences 44 (3, 1999), Katowice, 1999, s. 387–394
- [5] *Cierpisz S., Pielot J.*: Komputerowy model symulacyjny procesów przeróbki węgla — zastosowanie w systemach dyspozytorskiego sterowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Wydawnictwo IGSMiE PAN, tom 15, 1999, zeszyt specjalny, s. 265–282
- [6] *Cierpisz S., Pielot J.*: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 28, Gliwice 2001
- [7] *Głowiak*: Wpływ zmian charakterystyki nadawy na jakość produktów wzbogacania w osadzarce. Materiały X Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk, 2–4 czerwca 2004
- [8] *Głowiak*: Wpływ składu ziarnowego nadawy na skuteczność wzbogacania w osadzarce. Materiały XV Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk, 2–4 czerwca 2009
- [9] *Goodman F., McCreery J.*: Coal Preparation Computer Model. Vol. I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 1980
- [10] *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
- [11] *Krukowiecki W.*: Przeróbka mechaniczna rud, węgla, soli i innych kopalni. Warszawa, 1970
- [12] *Laskowski J., Luszczkiewicz A.*: Przeróbka kopalni: wzbogacanie surowców mineralnych. Wrocław, 1989
- [13] *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
- [14] *Nawrocki J.*: Analityczno-graficzne metody oceny pracy wzbogacalników grawitacyjnych. Katowice
- [15] *Niederliński A.*: Systemy komputerowe automatyki przemysłowej, t. 2. Zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985
- [16] *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
- [17] *Pielot J.*: Analiza wpływu niedokładności wzbogacania węgla na uzyskiwane efekty ekonomiczne. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 6 (401), Katowice, 2004, s. 34–43

- [18] *Pielot J.*: Maximization of Production in Technological System of Coal Preparation Process. IFAC Workshop — MMM' 2006, Automation in Mining, Mineral and Metal Industry, 20–22 September 2006, Cracov — Poland, pp. 193–196
- [19] *Sztaba K. (red.)*: Identyfikacja i ocena wybranych właściwości surowców mineralnych oraz procesów ich przeróbki. Kraków, 2003
- [20] *Tatjewski P.*: Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy. Warszawa, 2002
- [21] *Trybalski K.*: Optymalizacja w przeróbce kopalni. Archiwum Górnictwa t.41: 1996, z. 3, str. 371–392
- [22] *Tumidajski T., Gawenda T., Niedoba T., Saramak D.*: Kierunki zmian technologii przeróbki węgla kamiennego w Polsce. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 1/2, Kraków, 2008, str. 245–258