

Wpływ zmian składu ziarnowego nadawy na efekty wzbogacania węgla w układach osadzarek

W artykule przedstawiono analizy maksymalnej wartości produkcji w dziewięciu różnych układach technologicznych osadzarek dwuproduktowych w przypadku węgla surowego trudno wzbogacalnego. zilustrowany został wpływ zmian składu ziarnowego nadawy na jakość koncentratu oraz uzyskiwaną wartość produkcji w poszczególnych układach.

1. WSTĘP

Parametry produktów wzbogacania zależą od wzbogacalności węgla surowego, konfiguracji układu technologicznego przeróbki węgla i parametrów rozdziału operacji przerobczych. Porównanie efektów wzbogacania węgla surowego w różnych układach technologicznych, zwłaszcza porównanie wartości produkcji o zadanej jakości pozwala określić jej przyrost względem wartości produkcji uzyskiwanej z jednej osadzarki. Przyrost wartości produkcji może być ekonomiczną przesłanką rozbudowy układu wzbogacania.

W przedstawionych tutaj analizach do obliczeń przyjęto charakterystyki węgla surowego trudno wzbogacalnego. W tabeli 1 podana jest charakterystyka składu ziarnowego, a w tabeli 2 charakterystyka gęstościowo-jakościowa – taka sama w przypadku wszystkich klas ziarnowych.

Tabela 1
Charakterystyka składu ziarnowego nadawy węgla surowego

Numer klasy	Wymiary ziarn [mm]	Udziały klas ziarnowych nadawy [%]
1	0,5 – 1	35
2	2 – 5	30
3	8 – 20	35

Tabela 2
Charakterystyka gęstościowo-jakościowa nadawy (0,5-20 mm)

Gęstość frakcji [g/cm ³]	Wychód frakcji [%]	Zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki całkowitej [%]	Wartość opalowa [kJ/kg]
< 1,30	12,15	4,67	0,84	30 680
1,30 - 1,35	17,96	7,40	0,86	29 630
1,35 - 1,40	10,95	10,99	0,97	27 300
1,40 - 1,50	8,47	17,92	1,10	25 750
1,50 - 1,60	7,43	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	2,57	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

W modelu osadzarki [4] dla trzech klas ziarnowych: 0,5-1 mm, 2-5 mm oraz 8-20 mm obowiązuje pięć uogólnionych krzywych rozdziału, które przedstawione są na rysunku 1. Dwie pierwsze krzywe dotyczą wzbogacania ziarn w klasie 0,5-1 mm (ważona wartość $E_p = 0,177$), kolejne dwie – w klasie 2-5 mm (ważona wartość $E_p = 0,082$), a ostatnia krzywa – w klasie 8-20 mm ($E_p = 0,062$). Kształt krzywych rozdziału potwierdza zatem znany efekt łatwiejszego wzbogacania ziarn o większych wymiarach.

Prognozy wzbogacania dotyczą dziewięciu układów technologicznych przedstawionych na rysunku 2. W pierwszym układzie (1 os.) węgiel jest wzbogacany w pojedynczej osadzarkie, kolejne dwa (2 os. równ. I i 2 os. równ. II) to układy równoległego wzbogacania węgla w dwóch osadzarkach, które różnią się między sobą wielkością otworów sita przesiewacza: w układzie 2 os. równ. I w pierwszej osadzarkie wzbogacane są ziarna dwóch najdrobniejszych klas nadawy (1 i 2 w tabeli 1), a w drugiej osadzarkie ziarna największe (klasa 3), natomiast w układzie 2 os. równ. II w pierwszej osadzarkie wzbogacane są ziarna najdrobniejszej klasy nadawy (1), a w osadzarkie drugiej dwie pozostałe klasy (2 i 3). W czwartym układzie (3 os. równ.) ziarna każdej klasy nadawy są oddzielnie wzbogacane w trzech równoległych osadzarkach. Układ 2 os. wt. K jest układem z wtórnym wzbogacaniem koncentratu przejściowego. W dwóch następnych układach wykorzystane jest selektywne, wtórne wzbogacanie koncentratu przejściowego, uzyskiwanego ze wzbogacania ziarn dwóch najdrobniejszych klas nadawy (2 os. wt. s. K I) albo dwóch najgrubszych klas nadawy (2 os. wt. s. K II). W dwóch ostatnich układach zastosowana jest recyrkulacja produktu pośredniego.

2. OPTIMALIZACJA PRODUKCJI PRZY RÓŻNEJ JAKOŚCI KONCENTRATU

W obliczeniach optymalizacyjnych wykorzystano algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości [2]. Do obliczania wartości produkcji wykorzystana została 4. wersja formuły sprzedażnej z 2002 roku [1].

Wartość produkcji (WP), która jest funkcją celu algorytmu maksymalizacji, określona jest w kolejnych układach z rysunku 2 jedną z zależności:

$$WP_i(\delta_{os1}) = M_{Ki}(\delta_{os1}) \cdot C_{Ki}(\delta_{os1}) \quad (1a)$$

$$WP_i(\delta_{os1}, \delta_{os2}) = M_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{os2}) \cdot C_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{os2}) \quad (1b)$$

$$WP_i(\delta_{os1}, \delta_{os1}, \delta_{os3}) = M_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{os1}, \delta_{os3}) \cdot C_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{os1}, \delta_{os3}) \quad (1c)$$

Poszukiwane jest więc maksimum funkcji WP_i ($\max WP_i$) przy ograniczeniu równościowym zawartości popiołu w koncentracie końcowym:

$$A_K = A_{Ki} \quad (2)$$

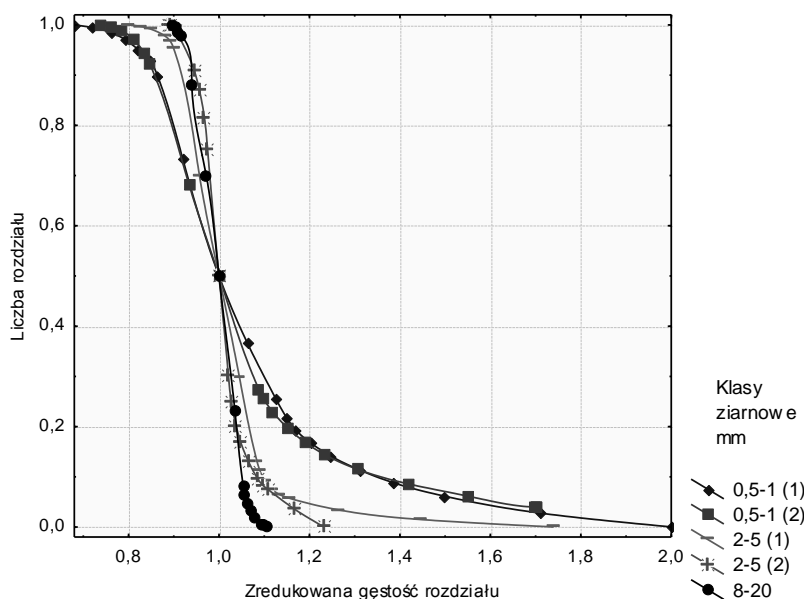
przy kolejnych wartościach A_{Ki} zadawanych z krokiem 1%,

gdzie:

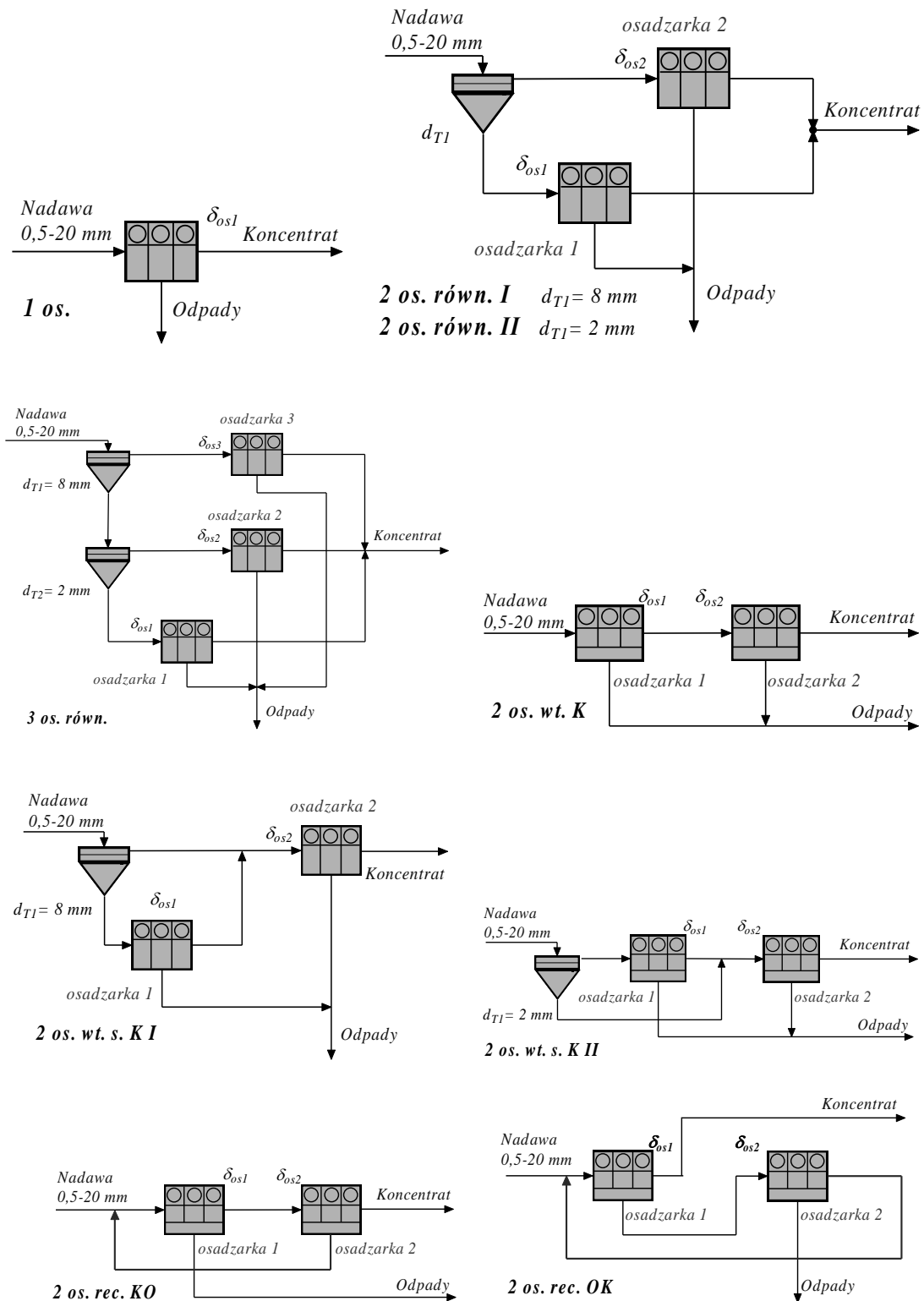
$\delta_{os1}, \delta_{os2}, \delta_{os3}$ – gęstości rozdziału w osadzarkach [g/cm^3],

M_K – masa koncentratu [Mg],

C_K – cena jednostkowa koncentratu obl. z formuły sprzedażnej [$\text{zł}/\text{Mg}$].



Rys. 1. Wybrane uogólnione krzywe rozdziału osadzarki dwuproduktowej



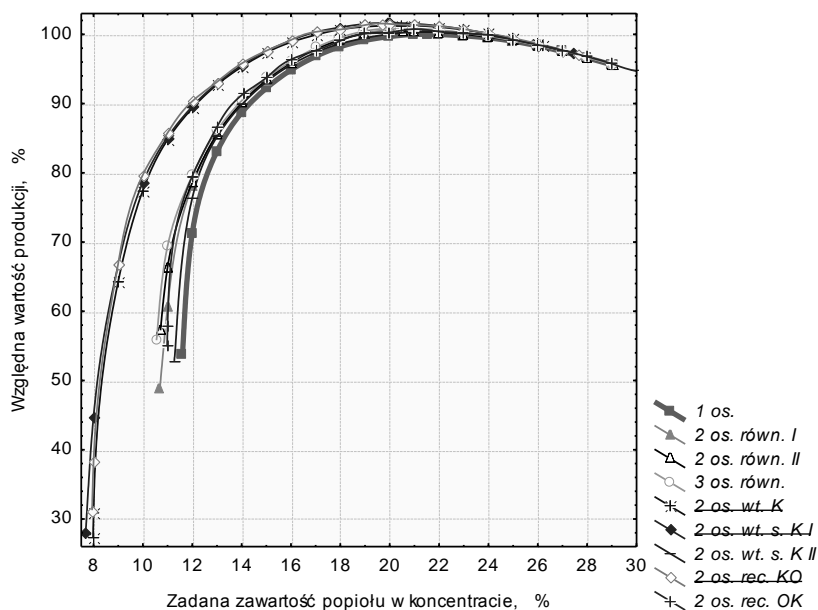
Rys. 2. Schematy rozpatrywanych układów technologicznych

Na rysunku 3 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. Jako poziom odnie-

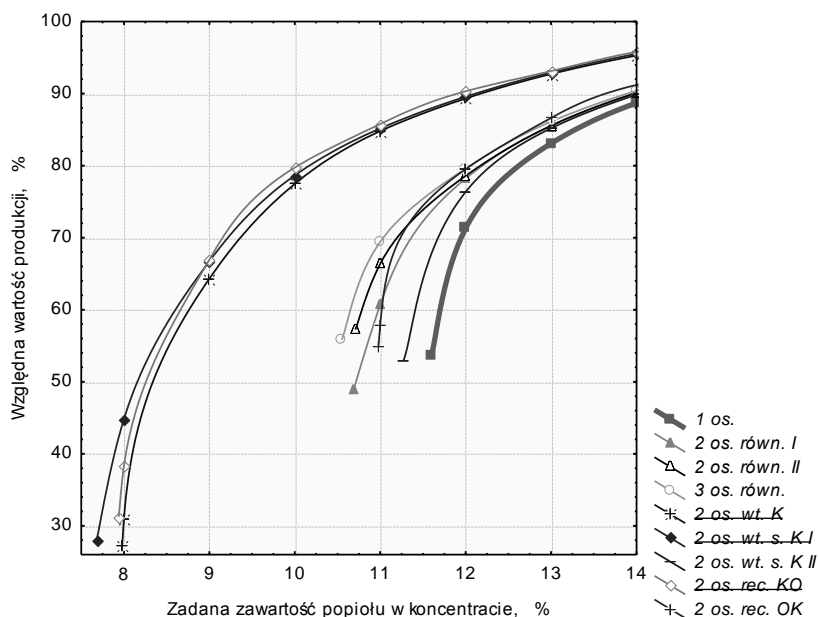
sienia przyjęta została maksymalna wartość produkcji (traktowana jako 100%), uzyskiwana w układzie z pojedynczą osadzarką. Kształt krzywych maksymalnej wartości produkcji ilustruje charakter układów technologicznych, które są nieliniowymi obiektami ekstremalnymi.

Wartość produkcji w układach z osadzarkami jest zawsze większa niż w przypadku pojedynczej osadzarki przy tej samej zawartości popiołu w koncentracie. Przyrost wartości produkcji jest szczególnie istotny w trzech układach: 2 os. wt. K, 2 os. wt. s. K I oraz 2 os. rec. KO. Ze wstępnych szacunków kosztów wzbogacania wynika, że nawet w układach wzbogacania równoległego 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 odpowiednie ich wykorzy-

stanie. Szczegółowych analiz wymaga rozstrzygnięcie kwestii, czy w odpowiednio krótkim czasie możliwe jest zrekompensovanie kosztów inwestycyjnych zakupu i instalacji nowej osadzarki – nadmienić należy, że może to być z reguły osadzarka o mniejszej wydajności, gdyż kierowana do niej byłaby mniejsza ilość materiału do wzbogacania. Oczywiście wydaje się również wzbogacanie w układzie równoległym z rozdzielaniem klas ziarnowych, w przypadku gdy jedna osadzarka ma zbyt małą wydajność w stosunku do ilości węgla surowego.



b)



Rys. 3. Maksymalna, względna wartość produkcji koncentratu końcowego w różnych układach:
 a) dla całego możliwego do uzyskania zakresu zawartości popiołu,
 b) dla zawężonego zakresu zawartości popiołu

Układ technologiczny to obiekt ekstremalny, więc możliwy jest dobór optymalnego punktu pracy. Optymalna jakość koncentratu, wynikająca z określonej wzbogacalności 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 zrekompensowania kosztów eksploatacyjnych) stosowanie układów dwóch (lub trzech) osadzarek. W przypadku wymaganej, gorszej od optymalnej jakości koncentratu stosowanie więcej niż jednej osadzarki nie jest celowe, gdyż wzrost wartości produkcji jest nieznaczny.

3. WZBOGACANIE PRZY STAŁYCH GĘSTOŚCIACH ROZDZIAŁU I ZMIENNYM SKŁADZIE ZIARNOWYM WĘGLA SUROWEGO

Wzbogacalność, skład ziarnowy i natężenie przepływu węgla surowego charakteryzują się pewną zmiennością, która wynika z różnych przyczyn. Jeśli nadawa do zakładu przeróbki węgla gromadzona jest w zbiorniku buforowym, wtedy następuje pewne uśrednianie parametrów jakościowych, ale przede wszystkim można ustabilizować natężenie przepływu. Wpływ zmian wzbogacalności na efekty wzbogacania był podejmowany w różnych publikacjach – tutaj podane są prognozy wpływu zmian jedynie składu ziarnowego, przy założeniu niezmiennych charakterystyk wzbogacalności i stałego natężenia przepływu [5, 6].

W celu przesłedzenia wpływu zmian udziałów poszczególnych klas ziarnowych w węglu surowym nadawa została rozdzielona na dwie nadawy N1 oraz N2 o różnym składzie ziarnowym, co przedstawione jest w tabeli 3, ale takiej samej charakterystyce gęstościowo-jakościowej (tabela 2). Można założyć, że obie nadawy są mieszane, ale znajdują się w osobnych zbiornikach i mogą być zadawane w różnych wzajemnych proporcjach i ze stałym natężeniem przepływu wypadkowej nadawy.

Tabela 3
Charakterystyka składu ziarnowego nadaw N1 oraz N2

Numer klasy	Wymiary ziarn [mm]	Udziały klas	
		Nadawa N1	Nadawa N2
1	0,5 – 1	0	70
2	2 – 5	30	30
3	8 – 20	70	0

Połączenie obydwu nadaw N1 i N2 w proporcjach 50% daje w efekcie tę samą charakterystykę składu ziarnowego jak w tabeli 1. Można więc powiedzieć, że wszystkie wyżej przedstawione wyniki obliczeń dotyczą takiego właśnie przypadku – łączenia obydwu nadaw N1 i N2 w identycznych proporcjach.

W obliczeniach, których wyniki zostały niżej podane, całkowita masa obydwu nadaw pozostawała zawsze bez zmian, zmieniały się jedynie proporcje ilościowe nadaw N1 i N2 w zakresach od 0:100% do 100:0%. Wzrost udziału nadawy N1 (przy jednoczesnym zmniejszaniu się udziału nadawy N2) oznacza większą ilość ziarn największych (klasa 3) wzbogacanych dokładniej (z mniejszą niedokładnością E_p). Oznacza jednocześnie mniejszą ilość ziarn najdrobniejszych (klasa 1), wzbogacanych z większą niedokładnością. Udział ziarn pośrednich (klasa 2) pozostawał każdorazowo niezmienny. Przy wzroście udziału nadawy N1 – i jednoczesnym zmniejszaniu się udziału nadawy N2 – można więc mówić o poprawie składu ziarnowego nadawy, w sensie poprawy dokładności wzbogacania. W dalszym ciągu pod pojęciem zmian składu ziarnowego rozumiane są tak określone zmiany wzajemnych udziałów nadaw N1 i N2.

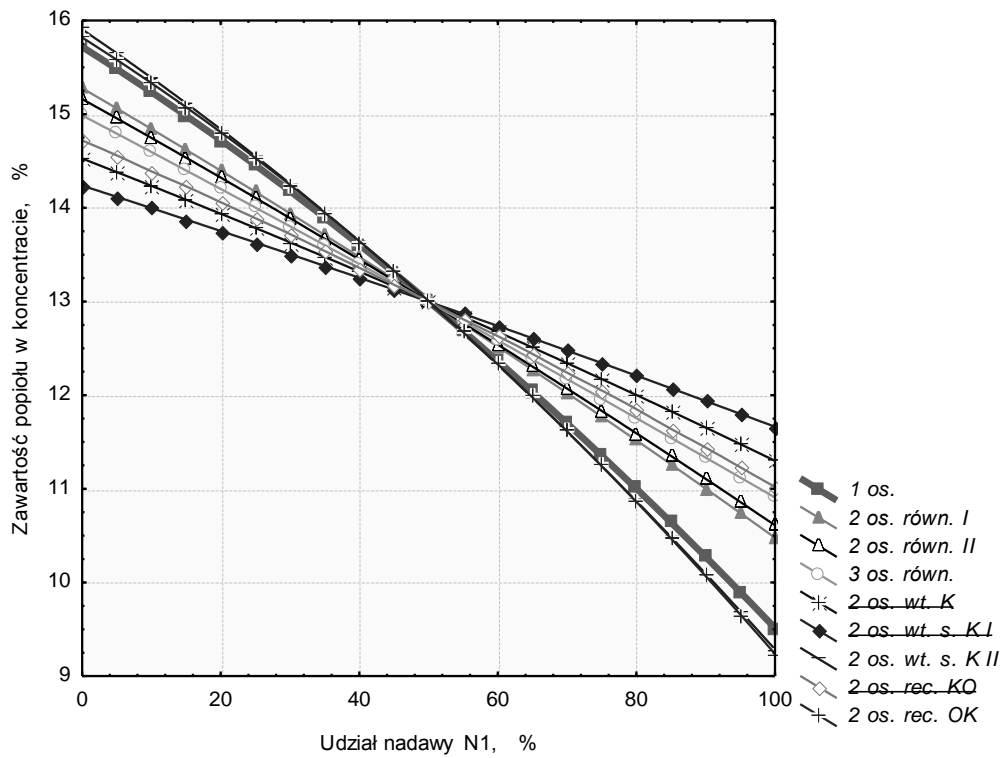
W obliczeniach do poprzedniego punktu wyznaczone zostały optymalne gęstości rozdziału w osadzarkach w poszczególnych układach wzbogacania z rys. 2, zapewniające uzyskanie zadanej jakości koncentratu końcowego, w warunkach niezmiennego składu ziarnowego (uzyskane wartości produkcji są przedstawione na rys. 3). Poniżej zostały rozpatrzone tylko dwa przypadki zadanej jakości koncentratu końcowego. Założono mianowicie, że zawartość popiołu ma być:

- mniejsza od optymalnej ($A_K = 13\%$),
- optymalna (różna w poszczególnych układach, od 19,7% do 21,4%).

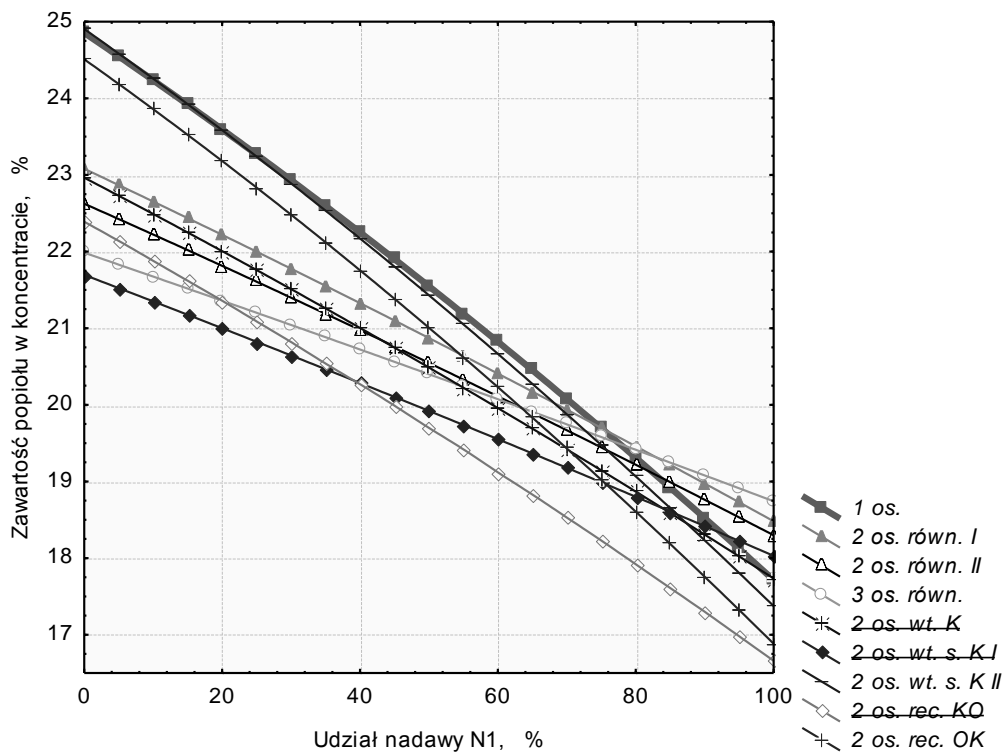
Na rysunkach 4 i 5 pokazany jest wpływ zmian udziału nadaw N1 i N2 na zawartość popiołu w koncentracie oraz wartości produkcji. Wszystkie punkty przy równych udziałach obu nadaw (50%) dotyczą sytuacji wyjściowej, przy wyznaczonych wcześniej – w pkt. 2 – optymalnych gęstościach rozdziału. Punkty położone na lewo dotyczą gorszego, a na prawo lepszego składu ziarnowego – w sensie wyżej określonym.

Zawartość popiołu w koncentracie końcowym przy zmianach proporcji nadaw N1 i N2 w przypadku $A_{K_{zad}} = 13\%$ zmienia się najmniej (rys. 4a) w trzech wymienionych w pkt.1. układach (na rys. 3-5 nazwy tych układów są podkreślone), w których osiągnięta jest największa wartość produkcji, a najbardziej w układach *1 os., 2 os. wt. s. K II* oraz *2 os. rec. OK*.

a)

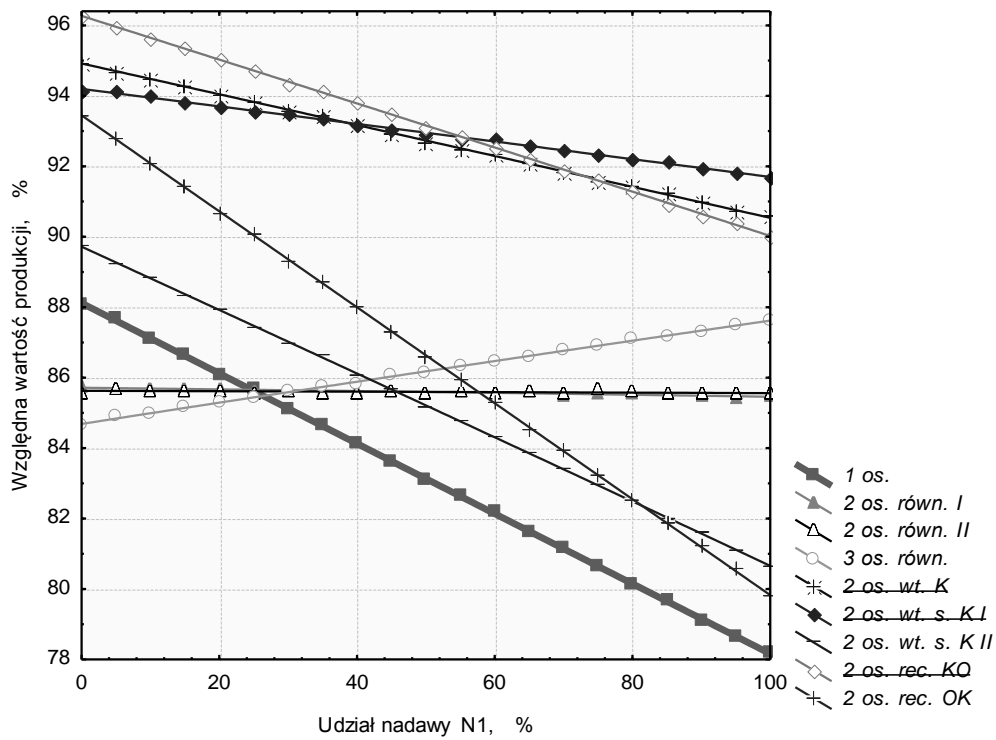


b)

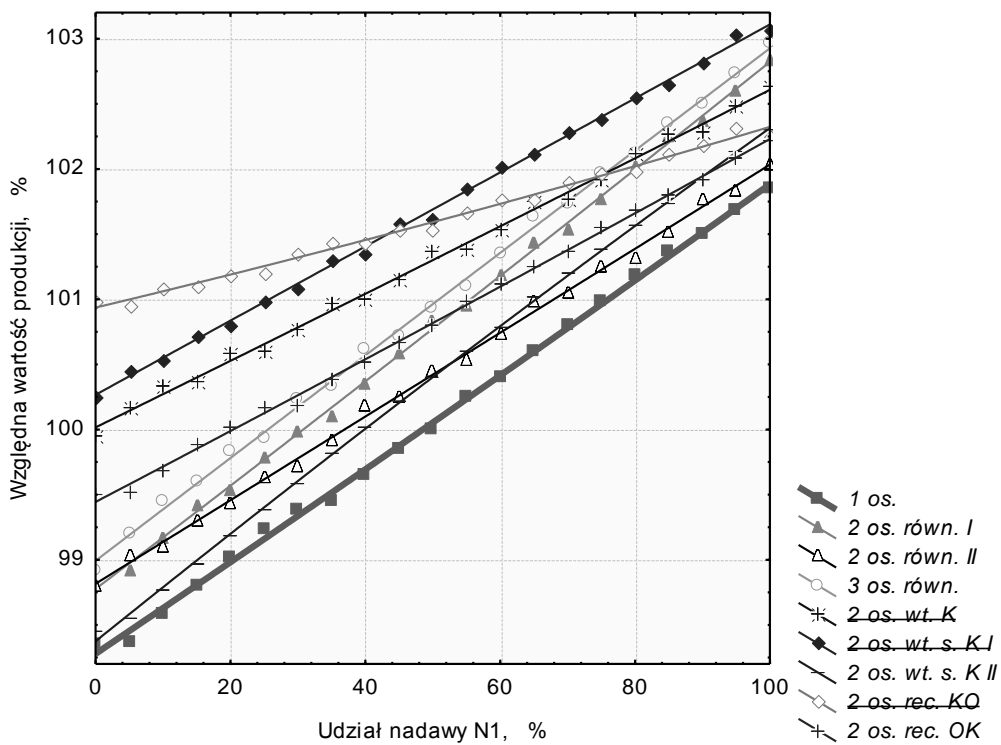


Rys. 4. Zawartość popiołu w koncentracie w układach z rysunku 2 przy różnych proporcjach nadaw N1 i N2:
 a) $A_{zad} = 13\%$, b) $A_{zad} = A_{opt}$

a)



b)



Rys. 5. Wartość produkcji koncentratu w układach z rysunku 2 przy różnych proporcjach nadaw N1 i N2:
 a) $A_{zad} = 13\%$, b) $A_{zad} = A_{opt}$

Podobnie w przypadku optymalnych zadanych (przy 50% udziałach obydwu nadaw) zawartości popiołu w koncentracie z każdego układu, przy zmianach proporcji nadaw N1 i N2 zawartość popiołu zmienia się najbardziej (rys. 4b) w tych samych trzech układach jak przy $A_{K_{zad}} = 13\%$ oraz w układzie 2 os. rec. KO. W najmniejszym stopniu zmienia się zawartość popiołu w układach 3 os. równ. oraz 2 os. wt. s. KI.

Na rysunku 5 przedstawione są zmiany wartości produkcji, obliczonej według zależności (1a–1c). Zmiany zawartości popiołu (oraz wartości opałowej i zawartości siarki) zostały uwzględnione tylko przy wyznaczaniu ceny jednostkowej koncentratu z formuły sprzedażnej. Nie rozpatrywano przypadków płacenia ewentualnych kar umownych, wskutek gorszej jakości koncentratu od zakontraktowanej lub strat finansowych, wynikających ze stałej kontraktowej ceny koncentratu w przypadku lepszej jego jakości.

Z rysunku 5 wynika, że poprawa składu ziarnowego w przypadku optymalnych zadanych zawartości popiołu w koncentracie z każdego układu skutkuje zawsze wzrostem wartości produkcji (rys. 5b). W przypadku $A_{K_{zad}} = 13\%$ (rys. 5a) wzrost wartości produkcji przy poprawie składu ziarnowego ma miejsce tylko w układzie z trzema równoległymi osadzarkami 3 os. równ., we wszystkich pozostałych układach wartość produkcji się zmniejsza – minimalnie w układach z dwiema równoległymi osadzarkami 2 os. równ.I i 2 os. równ.II, a w największym stopniu w układach 2 os. rec. OK., 1 os., oraz 2 os. wt. s. KII. Ten bardzo niekorzystny efekt wynika z tego, że przy dobrej jakości koncentratu gęstości rozdziału są względnie małe – wzrost cen koncentratu, wynikający z poprawy jego jakości (rys. 4a), nie rekompensuje zmniejszania się jego wychodu [6].

4. WNIOSKI

Procesy wzbogacania mają decydujący wpływ na zbyt produktów handlowych. Ważnym zagadnieniem jest uzyskiwanie maksymalnej wartości produkcji z węgla surowego przy różnych kontraktach handlowych. Istotne jest więc poszukiwanie nowych sposobów zwiększenia wartości produkcji.

W układach osadzarek możliwe jest uzyskanie mniejszej zadanej zawartości popiołu w koncentracie niż w przypadku pojedynczej osadzarki (rys. 3). Jest to szczególnie wyraźne w trzech układach: 2 os. wt. K, 2 os. wt. s. KI oraz 2 os. rec. KO (na rys. 3-5 nazwy tych układów są podkreślone).

Przy tej samej zadanej zawartości popiołu w koncentracie z grupy dwóch osadzarek w tych trzech układach: 2 os. wt. K, 2 os. wt. s. KI oraz 2 os. rec. KO możliwe jest uzyskanie znacząco większej wartości produkcji niż w przypadku pojedynczej osadzarki – szczególnie w przypadku małej zadanej zawartości popiołu.

Poprawa składu ziarnowego w przypadku optymalnych zadanych zawartości popiołu w koncentracie skutkuje wzrostem wartości produkcji (rys. 5b) we wszystkich układach. W przypadku lepszej zadanej jakości koncentratu wartość produkcji może się zmniejszać [6].

Literatura

1. Blaschke W., Grudziński Z., Lorenz U.: Koncepcja formuły sprzedażnej węgla kamiennego energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Inżynieria mineralna, z. spec. 3 (10) 2003, str. 185-193.
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. Głowiak S.: Wpływ składu ziarnowego nadawy na skuteczność wzbogacania w osadzarce. XV APPK, Szczyrk, 2-4 czerwca 2009, s. 37-50.
4. Goodman F., McCreery J.: Coal Preparation Computer Model. Vol.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington 1980.
5. Pielot J.: Analiza maksymalnej wartości produkcji przy wzbogacaniu różnych klas ziarnowych węgla energetycznego w osadzarkach. Kwartalnik Górnictwo i Geoinżynieria, z. 4/1. Kraków 2010, s. 217-230.
6. Pielot J.: Wielokryterialna optymalizacja produkcji układów technologicznych grup wzbogacalników grawitacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Monografia nr 306. Gliwice 2011.
7. Yagun H., Shan L., Maixi L.: A Profit-Oriented Expert System for Coal Washery Optimization. Coal Preparation 2002, 22, p. 93-107.

Recenzent: prof dr hab. inż. Stanisław Cierpisz