

Analiza efektów wzbogacania węgla w osadzarkach przy zmianach składu ziarnowego nadawy

Jednym z podstawowych procesów przeróbki węgla jest wzbogacanie w osadzarkach wodnych. Efekty tego procesu zależą od wzbogalności węgla surowego oraz od składu ziarnowego nadawy. Przy zmianie składu ziarnowego, aby zachować stałą zadaną jakość koncentratu, konieczna jest zmiana gęstości rozdziału w osadzarkach (poprzez zmianę natężenia przepływu produktu dolnego). W artykule podjęto próbę wstępnego oszacowania, w jakim stopniu analiza składu ziarnowego nadawy (w trybie on-line) do układów technologicznych – jednej osadzarki oraz dwóch osadzarek wzbogacających posobnie – może poprawić efektywność wzbogacania, uwzględniając własności dynamiczne osadzarki. Osadzarka ma charakter obiektu inercyjnego z opóźnieniem czasowym – transportowym. Przedstawione zostały dynamiczne efekty wzbogacania przy zmianach składu ziarnowego nadawy.

Słowa kluczowe: wzbogacanie węgla w osadzarkach, skład ziarnowy węgla, sterowanie on-line, dynamika sterowania.

1. WSTĘP

Wynikiem procesów przeróbki węgla może być różna ilość i jakość produktów, które zależą od wzbogalności węgla surowego, składu ziarnowego (szczególnie przy wzbogacaniu węgla w osadzarkach obserwowany jest istotny wpływ zmian składu ziarnowego na efektywność wzbogacania [6]), rodzaju operacji przerobczych w układzie technologicznym przeróbki węgla, parametrów rozdziału tych operacji oraz niedokładności wzbogacania. Niedokładność wzbogacania jest spowodowana nieidealnym przebiegiem procesu. Skutkiem tego jest nieidealny kształt krzywych rozdziału [7, 15], które służą do modelowania procesów wzbogacania we wzbogalnikach grawitacyjnych. Na kształt krzywych rozdziału ma wpływ, zwłaszcza w osadzarkach, wielkość ziarn – im mniejsze ziarna, tym kształt krzywych jest gorszy, gdyż bardziej odbiega od kształtu idealnego. Kształt krzywych rozdziału pozwala prognozować ilość i jakość koncentratów.

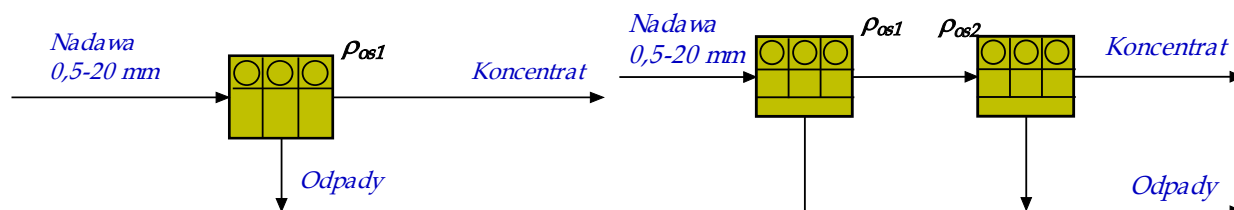
Niniejszy artykuł jest kontynuacją pracy [1], a jednocześnie wstępnym rozeznaniem wpływu własności dynamicznych osadzarek na efekty wzbogacania w warunkach zmienności składu ziarnowego nadawy. Porównane zostały w nim dynamiczne efekty wzboga-

kania oraz dokonana została wstępna ocena reakcji układu wzbogacania przy odpowiednich zmianach sterowań w przypadku symulowanych zmian składu ziarnowego węgla surowego. W dalszych pracach będą uwzględnione bardziej zróżnicowane przypadki zmian składu ziarnowego w różnych układach technologicznych. Zamiarem docelowym prac prowadzonych w Katedrze Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa jest wizyjna identyfikacja on-line zmienności składu ziarnowego [8, 9], dzięki której możliwe będzie wymuszenie w układach sterowania bezpośredniego (z wykorzystaniem warstw optymalizacji i sterowania nadrzędnego [16] oraz algorytmów regulacji adaptacyjnej) zmian gęstości rozdziału w taki sposób, aby stabilizować jakość koncentratu, co powinno skutkować zwiększeniem wartości produkcji.

2. ROZPATRYWANE UKŁADY TECHNOLOGICZNE

W pracy [10] przedstawiony został wpływ zmian składu ziarnowego na efekty wzbogacania w pojedynczej osadzarce oraz w układach równoległego wzbogacania w dwóch i trzech osadzarkach, natomiast

w pracy [1] – w dwóch układach wzbogacania posobnego w dwóch i trzech osadzarkach, w których ponownie wzbogacane są koncentraty przejściowe, oraz w układzie z recyrkulacją produktu przejściowego. Przedstawione analizy dotyczyły tylko stanów statycznych, bez uwzględniania stanów przejściowych podczas zmian sterowań w układzie. Tutaj zaprezentowany został wpływ zmian składu ziarnowego na wybrane wskaźniki jakości sterowania przy nastawach regulatora PI dobranych dwiema metodami.



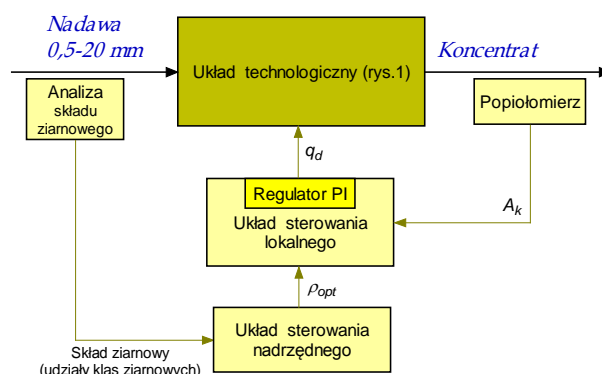
Rys. 1. Rozpatrywane układy wzbogacania

Obecnie, jakość koncentratu określa się poprzez pomiar zawartości popiołu w trybie on-line, a wynik tego pomiaru służy do korekty gęstości rozdziału – jest to podstawowy sposób stabilizacji jakości koncentratu. Przez gęstość rozdziału rozumiana jest gęstość frakcji wzbogacanego węgla, przechodzącej w połowie do koncentratu i w połowie do odpadów.

W przypadku wzbogacania w osadzarkach pojęcie gęstości rozdziału jest pojęciem teoretycznym, zasadniczym parametrem mającym wpływ na gęstość rozdziału w osadzarce jest natężenie przepływu produktu dolnego [3]. Zamiast gęstości rozdziału należy wyznaczyć gęstość warstwy rozdziału produktów wzbogacania [4]. W rozwiązaniach praktycznych położenie warstwy materiału o zadanej gęstości określa się za pomocą pływaka, będącego czujnikiem w układzie automatycznej regulacji odbioru produktu dolnego. W najnowszych układach regulacji pracy osadzarek stosuje się dodatkowo gęstościomierz izotopowy zainstalowany w strefie odbioru produktów wzbogacania, który służy do korekcji błędów pomiarowych pływaka przy niestabilnej pracy osadzarki [3]. Z uwagi jednak na charakter artykułu, którego celem jest zaprezentowanie potencjalnych efektów sterowania przy zastosowaniu analizy składu ziarnowego w trybie on-line, uzasadnione jest posługiwanie się teoretycznym pojęciem gęstości rozdziału¹.

Na rys. 2. przedstawiono schemat blokowy układu regulacji pracy osadzarki albo dwóch osadzarek wzbogacających posobnie. Z układu analizy wizyjnej

uzyskiwana jest informacja o aktualnym składzie ziarnowym nadawy [8, 9]. W układzie sterowania nadrzędnego dobierana jest (zależna od składu ziarnowego) optymalna gęstość rozdziału ρ_{opt} dla zadanej zawartości popiołu w koncentracie. Równocześnie na podstawie pomiaru zawartości popiołu w koncentracie A_k regulator dokonuje zmian natężenia przepływu produktu dolnego, co skutkuje zmianą wartości gęstości rozdziału w osadzarce lub w dwóch osadzarkach. Nadmienić należy, że w układach wzbogacania posobnego w dwóch (albo w trzech) wzbogacalnikach optymalne gęstości rozdziału w poszczególnych wzbogacalnikach są zawsze identyczne, dzięki czemu niedokładność wzbogacania przyjmuje minimalną wartość, a kształt krzywych rozdziału jest najbardziej zbliżony do kształtu idealnego [15].



Rys. 2. Schemat blokowy układu regulacji dla jednej z dwóch osadzarek (jak na rys. 1)

Wykorzystanie analizy składu ziarnowego nadawy w trybie on-line umożliwi znacznie szybszą reakcję układów sterowania, nawet o kilka minut w porównaniu do sposobu podstawowego, tylko z wyko-

¹ W przypadku ewentualnych realizacji praktycznych z wykorzystaniem układu analizy składu ziarnowego gęstość rozdziału zostanie zastąpiona gęstością warstwy rozdziału produktów wzbogacania lub zostaną przeprowadzone badania dotyczące wzajemnej korelacji tych wielkości.

rzystaniem popiołomierza. W efekcie szybszych zmian sterowań osadzarek produkowane koncentraty mogą mieć stabilniejsze w czasie parametry jakościowe, co może prowadzić do zwiększenia wartości produkcji.

Do obliczeń symulacyjnych przyjęte zostały charakterystyki węgla surowego trudno wzbogacalnego. W tab. 1. podana jest charakterystyka składu ziarnowego, a w tab. 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

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

Gęstość frakcji g/cm ³	Wychód frakcji %	Zawartość popiołu %	Zawartość siarki całkowitej %	Wartość opałowa 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

Tabela 2.

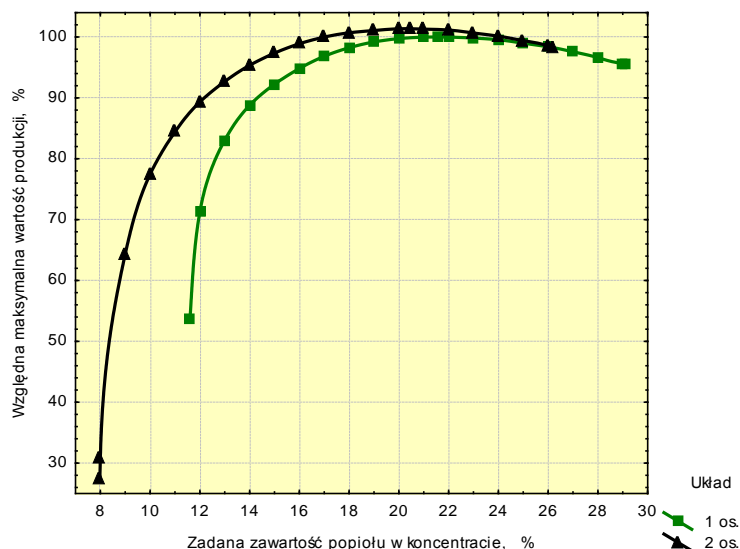
3. ANALIZA PORÓWNAWCZA EFEKTÓW WZBOGACANIA

Do prognozowania efektów wzbogacania węgla w osadzarkach wykorzystane zostały modele krzywych rozdziału zidentyfikowane dla różnych klas ziarnowych nadawy [7]. Na rys. 3. przedstawiono maksymalne, możliwe do uzyskania, wartości produkcji przy stałym składzie ziarnowym nadawy i różnej zadanej jakości koncentratów [1, 15]. W obliczeniach optymalizacyjnych wykorzystano algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości [15]. Układ z jedną osadzarką jest układem odniesienia, dlatego maksymalnej wartości produkcji, możliwej do uzyskania w tym układzie, przypisano wartość względną 100%².

² W układach wzbogacania posobnego poprawa dokładności wzbogacania skutkuje lepszą jakością koncentratu przy takich samych gęstościach rozdziału jak w układzie z jedną osadzarką. Aby więc uzyskać zadaną zawartość popiołu w koncentracie, należy zwiększyć gęstości rozdziału, co powoduje zwiększenie ilości koncentratu i wartości produkcji w stosunku do wartości uzyskiwanych w układzie z jedną osadzarką. W pracy [2] wykazano, że przy dobrej jakości koncentratu przyrost wartości produkcji przewyższa koszty inwestycyjne i eksploatacyjne drugiej osadzarki, która może być ponadto maszyną o mniejszej wydajności z racji wzbogacania mniejszej ilości materiału.

3.1. Zmiany składu ziarnowego węgla surowego

Wzbogacalność, skład ziarnowy i natężenie przepływu węgla surowego są parametrami zmiennymi. Jeśli nadawa do zakładu przeróbki węgla gromadzona jest w zbiorniku buforowym, wtedy stabilizowane jest natężenie przepływu oraz zachodzi pewne uśrednianie parametrów jakościowych. W artykule założono, że natężenie przepływu nadawy jest stałe, a charakterystyka gęstościowo-jakościowa jest niezmienna; uwzględnione zostały jedynie prognozy wpływu zmian składu ziarnowego [13, 14]. Przyjęto, że zmiany składu ziarnowego polegają na zmianach udziałów poszczególnych klas ziarnowych w węglu surowym. Z tego powodu nadawa została rozdzielona na dwie nadawy, N1 oraz N2, o różnym składzie ziarnowym (Tab. 3), ale takiej samej charakterystyce gęstościowo-jakościowej (Tab. 2). Różne udziały poszczególnych klas ziarnowych skutkują innymi warunkami wzbogacania, co modelowane jest w ten sposób, że przyjmowane są różne krzywe rozdziału dla różnych klas ziarnowych nadawy [7, 15].



Rys. 3. Względna maksymalna wartość produkcji koncentratu końcowego dla całego możliwego do uzyskania zakresu zawartości popiołu

Tabela 3.
Charakterystyka składu ziarnowego nadaw N1 oraz N2

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

Aby zbadać wpływ zmian składu ziarnowego, na jakość produktu, założono, że nadawa składa się z dwóch nadaw, N1 i N2 (tab. 3), mieszanych w takich proporcjach, że ich sumaryczny udział jest zawsze równy 100% [1, 15]. Wzrost udziału nadawy N1 od 0 do 100% odpowiada równoczesnemu zmniejszaniu się udziału nadawy N2 od 100 do 0%. W przypadku, gdy udziały obydwu nadaw, N1 i N2, są równe 50%, wtedy udziały wszystkich trzech klas ziarnowych są w przybliżeniu równe – takie jak w tab. 1; jest to więc przypadek odzwierciedlający sytuację wyjściową i jest traktowany jako wzbogacanie bez zakłóceń składu ziarnowego. Ponieważ charakterystyka gęstościowo-jakościowa jest identyczna dla wszystkich klas ziarnowych (tab. 2), więc zmiany udziałów nadaw N1 i N2 skutkują tylko zmianami składu ziarnowego bez zmian charakterystyki gęstościowo-jakościowej [1].

Wyniki wszystkich niżej podanych prognoz symulacyjnych zostały zrealizowane przy stałej całkowitej masie obydwu nadaw, ale zmiennych udziałach ilościowych nadaw N1 i N2. Wzrost udziału nadawy N1 (przy jednoczesnym zmniejszaniu się udziału nadawy

N2) oznacza większą ilość ziarn największych (klasa 3), wzbogacanych dokładniej; oznacza jednocześnie mniejszą ilość ziarn najdrobniejszych (klasa 1), wzbogacanych z gorszą dokładnością. 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 [1].

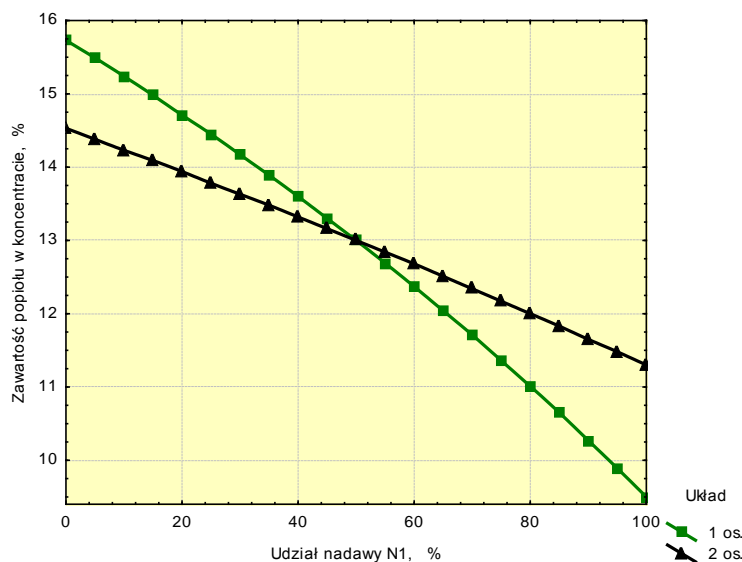
Na rys. 4. zilustrowany jest wpływ zmian udziału nadaw N1 i N2 na zawartość popiołu w koncentracie przy niezmiennych, optymalnych gęstościach rozdziału, dobranych dla równych udziałów obydwu nadaw, N1 i N2 (w warunkach braku zakłóceń składu ziarnowego), przy zadanej zawartości popiołu w koncentracie, równej 13%. Zmianom udziału nadawy N1 w zakresie 0÷100% odpowiadają jednoczesne zmiany udziału nadawy N2 w zakresie 100÷0%.

3.2. Porównanie dynamicznych efektów wzbogacania przy zmianach składu ziarnowego

W układach technologicznych wzbogacania węgla kamiennego jakość koncentratu określana jest za pomocą pomiaru w trybie on-line zawartości popiołu w koncentracie. Ponieważ proces wzbogacania w osadzarce jest jednak wrażliwy na zmiany składu ziarnowego węgla surowego (rys. 4), wskazana jest szybka reakcja układów sterowania pracą osadzarek na takie zmiany. Pomiar zawartości popiołu

w koncentracji jest oczywiście informacją miarodajną dla wypracowania zmian gęstości rozdziału, jest to jednak informacja opóźniona o kilka minut z racji czasów transportu wzbogacanego materiału w osadzarkach i przesiewaczach. Z tego względu zastosowanie analizy składu ziarnowego w trybie on-line nadawcy do wzbogacania umożliwia szybszą o kilka minut reakcję układów sterowania na zmiany składu ziarnowego. Przyrosty wartości produkcji

wyznaczone w opracowaniach [1, 10] dotyczą właśnie porównania wartości produkcji w układach bez analizy składu ziarnowego i z analizą on-line składu ziarnowego. Wyniki te zostały uzyskane dla stanów statycznych, z uwzględnieniem czasu transportu wzbogacanego węgla w jednej osadzance (2 min), jednak z pominięciem inercji osadzarek i układów regulacji.



Rys. 4. Zawartość popiołu w koncentracie w układach z rys. 1. przy różnych proporcjach nadaw N1 i N2; $A_{zad} = 13\%$

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej dynamicznych efektów wzbogacania przyjęto model osadzarki jako obiektu inercyjnego z opóźnieniem czasowym – transportowym [3, 19]. Procesy przeróbki kopaliny, również wzbogacanie w osadzarkach, są procesami nieliniowymi i parametry zastępcze obiektu są różne dla dodatnich i ujemnych zmian wartości zadanej [12]. Parametry obiektu dla dodatnich (wzrost udziału nadawy N1) i ujemnych (zmniejszenie udziału nadawy N1) zmian sygnału wejściowego dobrano na podstawie opracowania [5]. Dokonano porównania efektów działania układów regulacji w rozpatrywanych układach technologicznych z jedną i dwiema osadzarkami.

Jako algorytm regulacji przyjęto przyrostowy regulator PI, opisany wzorami:

$$u[n] = u[n-1] + \Delta u[n] \text{ (Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.)}$$

$$\Delta u[n] = k_p \left\{ e[n] - e[n-1] + \frac{T_s}{T_i} e[n] \right\} \text{ (Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.)}$$

gdzie:

q_d – natężenie przepływu produktu dolnego,
 e – błąd regulacji,

k_p – wzmacnienie regulatora,
 T_s – okres próbkowania, $T_s=1$ s
 T_i – czas zdwojenia regulatora.

W obydwu układach technologicznych przyjęto skokowe zmiany składu ziarnowego, wyrażone w procentowych udziałach dwóch nadaw, N1 i N2, o różnym składzie ziarnowym, przedstawione w tab. 4.

Na zmiany składu ziarnowego nadawcy powinny reagować układy sterowania (warstwy optymalizacji, sterowania nadrzędnego i sterowania bezpośredniego [16, 18]) i w efekcie tego wymuszać odpowiednie zmiany gęstości rozdziału.

Tabela 4.

Zmiany składu ziarnowego nadawy

Lp.	Udziały nadaw	
	N1	N2
1.	50%→75%	50%→25%
2.	50%→100%	50%→0%
3.	25%→50%	75%→50%
4.	100%→50%	50%→100%
5.	75%→50%	25%→50%
6.	50%→25%	50%→75%

Przyjęto, że zawartość popiołu w koncentratkach z obydwu układów technologicznych $A_k = 13\%$. Wykorzystując algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości [15], wyznaczono optymalne gęstości rozdziału w osadzarkach przy różnych udziałach nadaw N1 i N2. Zmiany gęstości rozdziału, konieczne do ponownego uzyskania zadanej zawartości popiołu w koncentratkach (13%), przedstawiono w tab. 5. (dla układu z jedną osadzarką) oraz w tab. 6. (dla układu z dwiema osadzarkami).

Dla podanych zmian gęstości rozdziału przyjęto nastawy regulatora dobrane według dwóch metod:

- A. metody bezpośredniej z warunkiem na zapas fazy, opisanej w [11];
- B. metody zmodyfikowanej, w której zwiększono wzmocnienie regulatora o połowę i ponownie przeprowadzono prognozy symulacyjne dla tych samych zmian składu ziarnowego.

Na podstawie otrzymanych przebiegów wyznaczono wskaźniki jakości regulacji, opisane w normie [17]:

- czas ustalania (regulacji);
- czas narastania;
- całkę z kwadratu błędu regulacji (ISE).

W tab. 7. zestawione zostały wartości nastaw regulatora oraz trzech wyżej wymienionych wskaźników jakości regulacji w obydwu rozpatrywanych układach przy wykorzystaniu dwóch metod, A i B. Wartość odniesienia (100%) odpowiada całce z kwadratu błędu regulacji (ISE) dla przypadku zmian udziału nadawy N1 z 50 do 100% w układzie odniesienia z jedną osadzarką.

Tabela 5.

Wymagane zmiany gęstości rozdziału w układzie z jedną osadzarką

Zmiana składu ziarnowego (jak w tab. 4)	ρ_{os1} g/cm ³
1.	1,541→1,630
2.	1,541→1,710
3.	1,425→1,541
4.	1,710→1,541
5.	1,630→1,541
6.	1,541→1,425

Tabela 6.

Wymagane zmiany gęstości rozdziału w układzie z dwiema osadzarkami

Zmiana składu ziarnowego (jak w tab. 4)	ρ_{os1} g/cm ³	ρ_{os2} g/cm ³
1.	1,701→1,739	1,700→1,739
2.	1,701→1,779	1,700→1,779
3.	1,664→1,701	1,663→1,700
4.	1,779→1,701	1,779→1,700
5.	1,739→1,701	1,739→1,700
6.	1,701→1,664	1,700→1,663

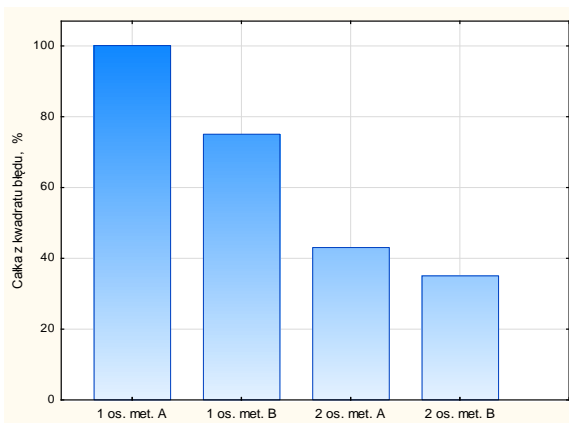
Tabela 7.

Nastawy oraz wskaźniki jakości regulacji dla rozpatrywanych układów

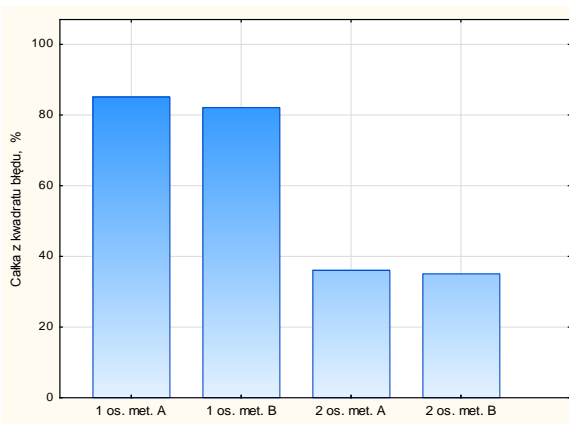
Zmiana składu ziarnowego (jak w tab. 4)	Układ	k_p	T_i s	Czas regulacji s	Czas narastania s	ISE %
Nastawy dobrane według metody doboru A						
1.	1 os.	195	30	194	70	117
1.	2 os.	195	30	380	140	43
2.	1 os.	195	30	200	71	100
2.	2 os.	195	30	388	140	43
3.	1 os.	195	30	196	71	199
3.	2 os.	195	30	384	140	43
4.	1 os.	208	10	26	8	85
4.	2 os.	208	10	52	16	36
5.	1 os.	208	10	25	7	99
5.	2 os.	208	10	52	16	36
6.	1 os.	208	10	26	8	167
6.	2 os.	208	10	52	16	36

Zmiana składu ziarnowego (jak w tab. 4)	Układ	k_p	T_i s	Czas regulacji s	Czas narastania s	ISE %
Nastawy zmodyfikowane – metoda B						
1.	1 os.	292,5	30	230	32	96
1.	2 os.	292,5	30	376	82	35
2.	1 os.	292,5	30	247	47	75
2.	2 os.	292,5	30	374	82	35
3.	1 os.	292,5	30	235	34	96
3.	2 os.	292,5	30	374	82	35
4.	1 os.	312	10	42	4	82
4.	2 os.	312	10	48	10	35
5.	1 os.	312	10	43	5	96
5.	2 os.	312	10	48	12	35
6.	1 os.	312	10	42	5	163
6.	2 os.	312	10	48	10	35

Na rys. 5. oraz 6. przedstawiono względne wartości całki z kwadratu błędu dla jednej ze zmian składu ziarnowego nadawy. Rys. 5. ilustruje wartości dla zmiany udziału nadawy N1 z 50 do 100%, natomiast rys. 6. – dla zmiany tej samej nadawy ze 100 do 50%.



Rys. 5. Wartości całki z kwadratu błędu dla zmiany udziału nadawy N1 50%→100%



Rys. 6. Wartości całki z kwadratu błędu dla zmiany udziału nadawy N1 100%→50%

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz symulacyjnych można stwierdzić, że:

- lepsze efekty wzbogacania uzyskuje się poprzez zastosowanie układu dwóch osadzarek wzbogacających posobnie; wartość produkcji jest większa, a zastosowanie drugiej osadzarki może być ekonomicznie opłacalne (patrz przypis 2.);
- wskaźniki czasowe regulacji w układzie dwóch osadzarek mają większą wartość niż w przypadku układu z jedną osadzarką; wynika to z zastosowania dwóch maszyn o podobnych parametrach, przez co czas wykonywania operacji przerobowej wydłuża się;
- wartość całki z kwadratu błędu dla zmian zadanej gęstości rozdziału dla dwóch osadzarek jest znacząco mniejsza niż w przypadku jednej osadzarki;
- opisana modyfikacja nastaw regulatora (metoda B) powoduje nieznaczny wzrost czasu regulacji, lecz zarazem skrócenie czasu narastania; wartość całki z kwadratu błędu znacząco maleje tylko w przypadku dodatnich zmian zadanej gęstości rozdziału;
- przedstawione wyniki pozwalają na podjęcie prac nad określeniem wpływu zmian składu ziarnowego nadawy na parametry dynamiczne osadzarki oraz układu osadzarek, jako obiektów regulacji, a tym samym nad opracowaniem adaptacyjnego algorytmu regulacji osadzarek pulsacyjnych.

Literatura

1. Boron S., Heyduk A., Pielot J.: *Application of on-line visual analysis of feed particle size distribution to the multiple coal enrichment systems – evaluation of economic efficiency*, Materiały XIX Międzynarodowej Konferencji Przeróbki Kopalini, Istebna, 15-18 września 2014.
2. Boron S., Pielot J., Wojaczek A.: *Coal cleaning in jig systems – profitability assessment*, Mineral Resources Management, 30(2), 2014, s. 67-82.
3. Cierpisz S.: *Automatyczna regulacja procesu wzbogacania węgla w osadzarkach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012.
4. Cierpisz S.: *Maksymalizacja produkcji w układach sterowania procesami grawitacyjnego wzbogacania węgla*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EMTECH 2016, Katowice 7-8 kwietnia 2016, s. 206-212.
5. Cierpisz S., Kaula R.: *Dobór parametrów regulatora dla obiektu inercyjnego z opóźnieniem na przykładzie osadzarki pulsacyjnej*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicwa, 3 (517), 2014, s. 5-13.
6. Głowiak S.: *Wpływ składu ziarnowego nadawy na skuteczność wzbogacania w osadzarkach*, Materiały XV Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalini, Szczyrk, 2-4 czerwca 2009, s. 37-50.
7. Goodman F., McCreery J.: *Coal Preparation Computer Model*, v.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington 1980.
8. Heyduk A.: *Topograficzna analiza dwuwymiarowych obrazów materiału ziarnistego*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicwa, 2 (456), 2009, s. 5-10.
9. Heyduk A.: *Teksturalne (niesegmentacyjne) metody wizyjnej oceny składu ziarnowego*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicwa, 3 (469), 2010, s. 16-24.
10. Heyduk A., Pielot J.: *Economical Efficiency Assessment of an Application of On-line Feed Particle Size Analysis to the Coal Cleaning System in Jigs*, Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2 (34), 2014, s. 217-228.
11. Kaula R.: *Dobór nastaw regulatora PI w układach regulacji procesów wzbogacania węgla*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 31(1), 2005, s. 141-154.
12. Kaula R., Pielucha W.: *Układ regulacji procesu produkcji mieszanki węgla z regulatorem cyfrowym – studium przypadku*, III Polski Kongres Górniczy „Górnictwo wczoraj – dziś – jutro”, Wrocław 2015.
13. Pielot J.: *An analysis of effects of coal jigging after changes in the grain composition of a feed*, Archives of Mining Sciences, 4 (55), 2010, pp. 827-846.
14. Pielot J.: *Wpływ zmian składu ziarnowego nadawy na efekty wzbogacania węgla w układach osadzarek*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicwa, 10 (488), 2011, s. 32-39.
15. Pielot J.: *Wielokryterialna optymalizacja produkcji układów technologicznych grup wzbogacalników grawitacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
16. Pielot J.: *Wybrane zagadnienia hierarchicznego sterowania i zarządzania w zakładzie przeróbki węgla – cz. I*, Mechanizacja i Automatykacja Górnicwa, 3 (517) 2014, s. 37-44.
17. PN-88/ M-42000: *Automatyka i pomiary przemysłowe. Terminologia*.
18. Tatjewski P.: *Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
19. Trybalski K.: *Analiza właściwości dynamicznych procesów i układów technologicznych przeróbki surowców mineralnych*. Rozprawy, Monografie, nr 83, UW AGH, Kraków 1999.

JOACHIM PIELOT
WOJCIECH PIELUCHA
Politechnika Śląska
joachim.pielot@polsl.pl;