



Wtórne wzbogacanie węgla kamiennego w osadzarkach i cyklonach wodnych

Joachim PIELOT¹⁾

¹⁾ dr hab. inż. prof. nzw.; Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa, Akademicka 2, 41-100 Gliwice, email: joachim.pielot@polsl.pl

DOI: 10.29227/IM-2017-02-15

Streszczenie

Przedstawione zostały prognozy symulacyjne wtórnego wzbogacania węgla w dwóch osadzarkach dwuproduktowych i dwóch cyklonach wodnych w jednym układzie technologicznym (bez rozdrabniania koncentratu pośredniego). Do analiz wybrane zostały właśnie tego typu wzbogacalniki, gdyż kształt ich krzywych rozdziału odbiega od kształtu idealnego, a wtórne wzbogacanie poprawia dokładność rozdziału ziarn. Wtórne wzbogacanie koncentratów przejściowych w osadzarkach i cyklonach wodnych powoduje wzrost wartości produkcji koncentratów przy zadanej dobrej jakości. Aby ilościowo wykazać celowość stosowania wtórnego wzbogacania, odpowiednio analizy zostały przeprowadzone dla układu referencyjnego z jedną osadzarką i jednym cyklonem wodnym bez wtórnego wzbogacania.

Słowa kluczowe: wzbogacanie węgla w osadzarkach i cyklonach, wtórne wzbogacanie węgla, , maksymalizacja produkcji

Wstęp

Bardzo ważnym zagadnieniem techniczno-technologicznym w zakładzie przeróbki węgla jest uzyskanie maksymalnej wartości produkcji koncentratów i mieszanek z węgla surowego przy realizacji różnych kontraktów handlowych. Istotne jest więc poszukiwanie różnych sposobów zwiększenia wartości produkcji. Układy wzbogacania wtórnego produktów są wprawdzie znane w teorii i technice przeróbki surowców mineralnych, jednak w przypadku wzbogacania węgla są stosowane względnie rzadko.

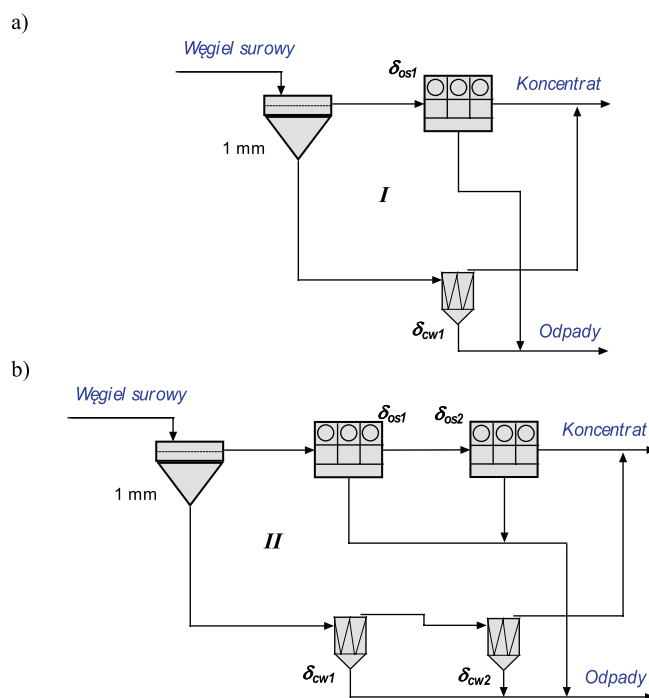
Wychody produktów wzbogacania oraz ich jakość – a zatem również wartość produkcji – zależą od wzbogacalności węgla surowego, stopnia złożoności i konfiguracji układu technologicznego przeróbki węgla oraz parametrów rozdziału operacji przerobczych. Porównanie efektów wzbogacania węgla surowego w różnych układach technologicznych, zwłaszcza porównanie wartości produkcji o zadanej jakości, pozwala ocenić przydatność poszczególnych wariantów wzbogacania. Dotychczas w kilku publikacjach wykazane zostało (Pielot 2009, Pielot 2010a, Pielot 2010b, Pielot 2010c, Pielot 2011), że w różnych układach grup wzbogacalników grawitacyjnych możliwe jest uzyskanie istotnego wzrostu wartości produkcji koncentratu w porównaniu do pojedynczego wzbogacalnika – wzrost ten występuje przy produkcji koncentratów o dobrych parametrach jakościowych i wtedy jest to ekonomicznie opłacalne (Boron i in. 2014).

Zastosowanie różnych wersji wzbogacania w grupach wzbogacalników – wzbogacania wtórnego w innym wzbogacalniku i wzbogacania z recyrkulacją może znaleźć zastosowanie w zagadnieniach po-

prawy jakości koncentratów węglowych. W zakładach przeróbki węgla zainstalowanie dodatkowych wzbogacalników (o ile nie ma przeszkód technicznych, jak brak miejsca) jest najprostszym sposobem poprawienia dokładności wzbogacania i mimo większych kosztów eksploatacyjnych może być opłacalne (Boron i in. 2014). Zastosowanie takich układów może mieć uzasadnienie w przypadku zmian wzbogacalności albo zmian wymaganej jakości produktów wzbogacania. Wydaje się, że szczególnie w przypadku samodzielnych zakładów przerobczych (Blaschke, Blaschke 2003), może to być efektywny sposób wzbogacania i elastycznego konfigurowania układu technologicznego przy określonej kombinacji charakterystyki wzbogacalności i wymaganej kontraktem handlowym jakości produktów. Ponieważ część miałow energetycznych nadal nie jest wzbogacana (Blaschke, Nycz, s.758), co ogranicza możliwości selektywnego kruszenia, możliwym sposobem poprawy efektywności może być wzbogacanie wtórne w osadzarkach i cyklonach wodnych.

Wzbogacanie wtórne węgla kamiennego

Wzbogacanie wtórne ma sens wtedy, gdy kształt krzywych rozdziału wzbogacalników odbiega od kształtu krzywej idealnej. Opłaca się więc stosowanie wzbogacania wtórnego koncentratów przejściowych w przypadku wzbogacania w osadzarkach i cyklonach wodnych. Nie opłaca się jego stosowanie w przypadku wzbogacania we wzbogacalnikach z cieczą ciężką (Pielot 2011, Pielot 2017). Nieco lepsze efekty wtórnego wzbogacania można uzyskać przy recyrkulacji pośredniego produktu przejściowego, chociaż pojawia się niebezpieczeństwo przeciążenia nadawą pierwsze-



Rys. 1. Rozpatrywane układy technologiczne

Fig. 1. Considered technological systems

go wzbogacalnika (Boron i in. 2016). Przykład takiego wykorzystania cyklonów wodnych jest podany w publikacji (Holuszko 2016). Analiza układów wzbogacania z recykulacją produktu przejściowego z cyklonami wodnymi będzie przedmiotem innego opracowania. W dotychczasowych publikacjach autor ograniczył się zasadniczo tylko do analizy efektów możliwych do osiągnięcia w układach grup osadzarek (Pielot 2009, Pielot 2010b, Pielot 2011), gdyż, zwłaszcza w warunkach krajowych, są one najczęściej stosowanymi maszynami wzbogacającymi.

Na rys. 1 przedstawione są schematy dwóch rozpatrywanych układów technologicznych. W układzie I koncentrat końcowy jest uzyskiwany z koncentratów z dwóch wzbogacalników pracujących równolegle – osadzarki dwuproduktowej i cyklonu wodnego. W układzie II łączone są koncentraty równolegle pracujących grup: dwóch osadzarek dwuproduktowych i dwóch cyklonów wodnych ze wzbogacaniem wtórnym koncentratów przejściowych.

Optymalna wartość produkcji przy zadanej jakości koncentratu

Wzbogacanie wtórne bez rozdrabniania ma sens zasadniczo przy węglu trudno wzbogacalnym, dlatego ograniczono się tylko do takiego przypadku. Charakterystyki gęstościowo-jakościowe nadawy podane są w tabeli 1.

Wszystkie prognozy symulacyjne zostały zrealizowane z wykorzystaniem modeli symulacyjnych

operacji przeróbczych (Goodman, McCreery 1980), opisanych w pracach (Cierpisz, Pielot 1999, Cierpisz, Pielot 2001, Pielot 2011). W obliczeniach optymalizacyjnych wykorzystano algorytm maksymalizacji produkcji o zadanej jakości (Cierpisz, Pielot 2001, s.97-110, Pielot 2011, s.82-90). Do obliczania ceny koncentratu wykorzystana została 4. wersja formuły sprzedażnej z 2002 roku (Lorenz i in. 2002). Przyjęto, że wartość produkcji jest iloczynem masy koncentratu i jego ceny jednostkowej. Jako poziom odniesienia przyjęto maksymalną wartość produkcji (100%), uzyskiwaną w układzie I. Wartość produkcji (WP), określona jest zatem w układach z rys. 1, odpowiednim wyrażeniem:

$$WP_i(\delta_{os1}, \delta_{cw1}) = M_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{cw1}) \cdot C_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{cw1}) \quad (1a)$$

$$WP_i(\delta_{os1}, \delta_{cw1}, \delta_{os2}, \delta_{cw2}) = M_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{cw1}, \delta_{os2}, \delta_{cw2}) \cdot C_{Ki}(\delta_{os1}, \delta_{cw1}, \delta_{os2}, \delta_{cw2}) \quad (1b)$$

Maksymalizowana jest funkcja (1a) albo (1b):

$$\max WP_i$$

przy ograniczeniu równościowym zawartości popiołu w koncentracie:

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

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

Tab. 1. Charakterystyka gęstościowo-jakościowa nadawy węgla surowego (0–20 mm)

Tab. 1. Density and quality characteristic of raw coal feed (0–20 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

gdzie:

δ_{os} – gęstości rozdziału w osadzarkach [g/cm³],

δ_{cw} – gęstości rozdziału w cyklonach wodnych [g/cm³],

M_K – masa koncentratu (np. w ciągu godziny lub zmiany) [Mg],

C_{Ki} – cena jednostkowa koncentratu [zł/Mg].

Zmiennymi decyzyjnymi w algorytmie maksymalizacji produkcji, opisanym w (Cierpisz, Pielot 2001, s. 97–110, Pielot 2011, s. 82–90), są jedna albo dwie gęstości rozdziału w osadzarkach oraz jedna albo dwie gęstości rozdziału cyklonach wodnych. Przyjęto dopuszczalny zakres gęstości rozdziału w osadzarkach w przedziale 1,300÷2,200 g/cm³, a w cyklonach wodnych w przedziale 1,300÷2,700 g/cm³.

Dobre optymalnie gęstości rozdziału wzbogacalników w układach I i II przy zadanych zawartościach popiołu są przedstawione na rys. 2. Jak należało się spodziewać, gęstości rozdziału przy ponownym wzbogacaniu koncentratów przejściowych w układzie II mają w obydwu osadzarkach każdorazowo (przy każdej zadanej zawartości popiołu w koncentracie) identyczną wartość oraz tak samo obie gęstości rozdziału w cyklonach wodnych są każdorazowo takie same i zawsze większe niż w przypadku pojedynczych wzbogacalników w układzie referencyjnym I. Dwie krzywe gęstości rozdziału w osadzarkach i dwie krzywe gęstości rozdziału w cyklonach wodnych w układzie II nakładają się na siebie.

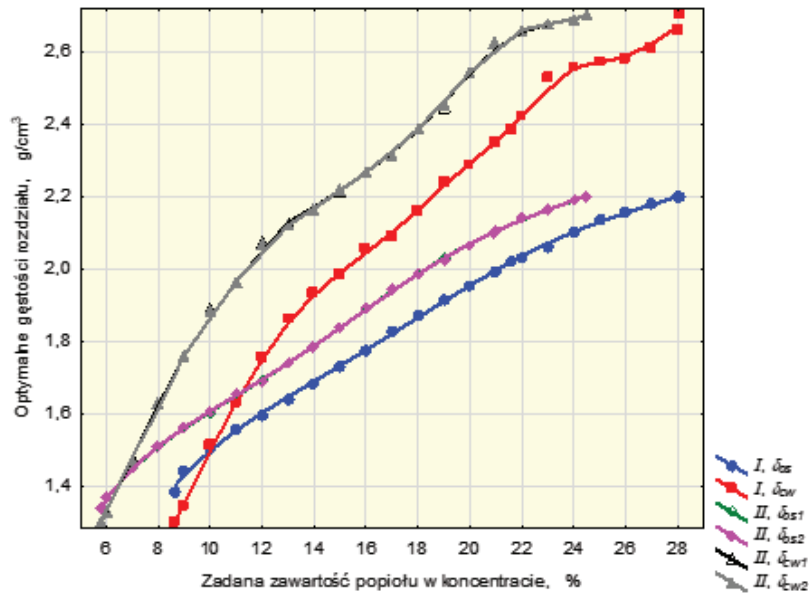
Dzięki równym sobie gęstościom rozdziału w osadzarkach oraz w cyklonach wodnych wypadkowe krzywe rozdziału przyjmują kształt bardziej zbliżony do idealnego i przesuwają się w lewo, w kierunku mniejszych gęstości – jest to efekt omówiony w innych publikacjach (Pielot 2011, Pielot 2017). Dzięki temu,

aby uzyskać zadaną zawartość popiołu w koncentracie w układzie II gęstości rozdziału w osadzarkach oraz w cyklonach są większe niż w układzie I, a zatem uzyskiwany jest większy wychód koncentratu i większa wartość produkcji. Maksymalne wartości produkcji przy różnych zadanych zawartościach popiołu w koncentracie końcowym są zilustrowane na rys. 3. Są to wartości względne – jako poziom odniesienia (100%) przyjęto maksymalną wartość produkcji w układzie I. Z zależności przedstawionych na rys. 3 można wnosić, że w układach wzbogacania wtórnego (II) przy zadanej dobrej jakości koncentratu możliwe jest uzyskanie znacznie większej wartości produkcji niż w układzie I bez wzbogacania wtórnego. Analizy ekonomiczne wzbogacania węgla w grupach osadzarek (Pielot), polegające na porównaniu przyrostów wartości produkcji i przyrostów kosztów eksploatacyjnych pozwalają stwierdzić, że ich zastosowanie jest ekonomicznie opłacalne przy dobrej jakości koncentratu. Ponadto ilość nadawy do drugiej osadzarki i drugiego cyklonu jest, zwłaszcza przy dobrej jakości koncentratu końcowego, istotnie mniejsza, a więc mogą to być maszyny o mniejszej wydajności.

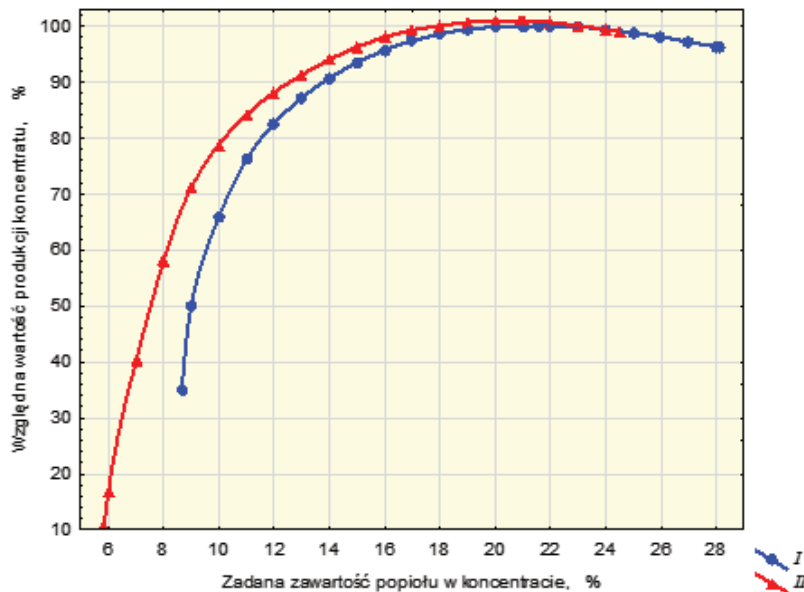
Optymalne gęstości rozdziału w układzie II wzbogacania wtórnego koncentratów przejściowych mają w obydwu osadzarkach i w obydwu cyklonach każdorazowo (przy każdej zadanej zawartości popiołu w koncentracie) identyczną wartość. Dlatego sterowanie pracą osadzarek (a ogólniej wzbogacalników tego samego typu) powinno być identyczne, dzięki czemu uzyskać można takie same warunki wzbogacania.

Wnioski

Procesy wzbogacania mają decydujący wpływ na realne możliwości zbytu węgla, dlatego bardzo ważne przy realizacji kontraktów handlowych jest uzyski-



Rys. 2. Optymalne gęstości rozdziału w rozpatrywanych układach wzbogacania
 Fig. 2. Optimal separation densities in considered technological systems



Rys. 2. Optymalne gęstości rozdziału w rozpatrywanych układach wzbogacania
 Fig. 2. Optimal separation densities in considered technological systems

wanie maksymalnej wartości produkcji koncentratów węglowych i mieszanek z węgla surowego. Istotne jest więc poszukiwanie różnych sposobów zwiększenia wartości produkcji, np. wykorzystanie układów wzbogacania wtórnego. Podane wyniki prognoz, przy maksymalnie szerokich zakresach zadanych zawartości popiołu w koncentracie, stanowią źródło wiedzy o fragmencie układu technologicznego przeróbki węgla i mogą być wykorzystane w planowaniu i zarządzaniu produkcją.

Przy wtórnym wzbogacaniu koncentratów przejściowych w układzie z osadzarkami i cyklonami wodnymi występuje wzrost wartości produkcji koncentratu końcowego przy zadanej dobrej jakości względem wartości produkcji uzyskiwanej w układzie z jedną osadzarką i jednym cyklonem wodnym bez wtórnego wzbogacania. Możliwe jest też uzyskanie mniejszej minimalnej zawartości popiołu w koncentracie końcowym.

Literatura – References

1. Blaschke W., Nycz R., 2003 – Problemy produkcji czystych energetycznych węgla kamiennych. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej z. 21, Inżynieria Środowiska, Koszalin, s. 755–766.
2. Blaschke Z., Blaschke W., 2003 – Ocena celowości wzbogacania węgla na potrzeby energetyki w samodzielnych zakładach przeróbczych. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków.
3. Boron i in., 2014 – Boron S., Pielot J., Wojaczek A., – Ocena opłacalności wzbogacania węgla w układach osadzarek. Coal cleaning in jig systems – profitability assessment. Mineral Resources Management – Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2014, tom 30, zeszyt 2, s. 67–82.
4. Boron i in., 2016 – Boron S., Heyduk A., Pielot J., –The effect of feed overload at secondary coal separation with product recirculation. Mineral Engineering Conference MEC2016, Świeradów-Zdrój, 25-28 września (E3S Web of Conferences; vol. 8 2267–1242).
5. Cierpisz S., Pielot J., 2001 – Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 28.
6. Cierpisz S., Pielot J., 1999 – Computer simulation of complex control systems in coal preparation plants. Archives of Mining Sciences 44 (3), Katowice, s. 387–394.
7. Goodman F., McCreery J., 1980 – Coal Preparation Computer Model. Vol.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
8. Holuszko M.E., 2016 – Coal Mining and Processing in Canada. Czasopismo Techniczne KTT nr 166–167, s. 9–17.
9. Lorenz i in., 2002 – Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z., – Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie, nr 112, Wydawnictwo IGSMiE, Kraków.
10. Pielot J., 2009 – Poprawa efektywności produkcji w strukturach o różnej konfiguracji wzbogacalników dwuproduktowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 1 (455), s. 32–40.
11. Pielot J., 2010a – Wielokryterialna analiza wartości produkcji w przykładowym układzie z wielokrotnym wzbogacaniem węgla. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 2 (468), s. 11–20.
12. Pielot J., 2010b – Wielokryterialna analiza wartości produkcji w układzie technologicznym wzbogacania węgla. Wiadomości Górnicze nr 9, Katowice, s. 529–534.
13. Pielot J., 2010c – Analiza maksymalnej wartości produkcji przy wzbogacaniu różnych klas ziarnowych węgla energetycznego w osadzarkach. Górnictwo i Geoinżynieria z. 4/1, Kraków, s. 217–230.
14. Pielot J., 2010d – An analysis of effects of coal jigging after changes in the grain composition of a feed. Archives of Mining Sciences 55 (4), Kraków, p. 827–846.
15. Pielot J., 2011 – Wielokryterialna optymalizacja produkcji układów technologicznych grup wzbogacalników grawitacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 306, Gliwice.
16. Pielot J., 2017 – Poprawa dokładności wzbogacania węgla kamiennego w cyklonach ze wzbogacaniem wtórnym. Inżynieria Mineralna nr 2 (40), s. 21–29.

Secondary Enrichment of Coal in Jigs and Water Cyclones

Simulation forecasts for secondary coal enrichment in two product mixers and two water cyclones in one technological system (without intermediate product grinding) were presented. This type of enrichment was selected for analysis because the shape of their separation curves differs from the ideal shape, and the secondary enrichment improves the separation accuracy. Secondary enrichment of intermediate concentrates in jigs and water cyclones results in an increase in the production value of concentrates at a given good quality. To quantify the suitability of secondary enrichment, appropriate analyzes were carried out for a reference system with one jig and one cyclone without secondary enrichment.

Keywords: coal enrichment in jigs and cyclones, coal secondary enrichment, production maximization