

Ireneusz BAIC*, Wiesław BLASCHKE**

Analiza możliwości wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania węglowych paliw kwalifikowanych i substytutów kruszyw

STRESZCZENIE. Wydobywany z dołu kopalń urobek węglowy stanowi mieszaninę ziaren węglowo-odpadowych, która nie posiada praktycznie na rynku zbytu żadnej wartości użytkowej. W celu uzyskania węglowego produktu handlowego urobek poddawany jest procesom wzbogacania w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. W warunkach przemysłowych proces ten opiera się na wykorzystaniu grawitacyjnych metod wzbogacania w ośrodku powietrznym, wodnym bądź w cieczy ciężkiej magnetytowej.

W prezentowanym artykule opisano możliwości zastosowania w warunkach krajowych metody suchej separacji urobku węglowego na powietrznym stole koncentracyjnym typu FGX-1. Urządzenie to zostało zakupione w Chinach przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. W artykule opisano zasadę działania powietrznego stołu koncentracyjnego oraz zbudowanego na terenie jednego z zakładów górniczych stanowiska badawczego. Zaprezentowano parametry techniczne i technologiczne wpływające na proces rozdziału. Przytoczono także przykładowe wyniki wzbogacania węgla metodą suchej separacji w celu uzyskania czystych produktów odpadowych oraz paliw kwalifikowanych.

SŁOWA KLUCZOWE: wzbogacanie powietrzne, powietrzne stoły koncentracyjne, węgiel kamienny, paliwa kwalifikowane, substytuty kruszyw naturalnych

* Dr inż., ** Prof. dr hab. inż. – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, Oddział Zamiejscowy w Katowicach, Katowice; e-mail: i.baic@imbigs.pl, viesbla@min-pan.krakow.pl

Wprowadzenie

W ostatnich ośmiu latach wydobycie węgla kamiennego w Polsce zmalało o ponad 20 mln Mg by osiągnąć w 2012 r. poziom 79,5 mln Mg. Zmniejszające się wydobycie węgla kamiennego nie spowodowało jednak proporcjonalnego zmniejszania się ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych i przeróbczych. Corocznie ten sektor przemysłu wytwarza blisko 30 mln Mg odpadów. Dodatkowo szacuje się, że około 600 mln Mg tego rodzaju odpadów jest już zdeponowane w środowisku (Ochrona środowiska 2012; Rocznik Statystyczny RP 2012).

Urobek węgla kamiennego składa się z ziaren węglowych, skały płonnej, przerostów węglowo-kamiennych i frakcji łupkowych (łupki rozmywalne, ogniotrwałe i inne). Rozdział tych składników odbywa się w procesach nazywanych wzbogacaniem, a całość niezbędnych procesów nazywamy przeróbką mechaniczną.

Procesy wzbogacania prowadzone mogą być w ośrodku powietrznym, wodnym lub w cieczach ciężkich. W Polsce wydzielenie skały płonnej (kamienia), jako niepożądanego składnika urobku węgla kamiennego, odbywa się głównie w procesach mokrych. I tak dla klas ziarnowych 200–20 mm stosuje się głównie płuczki z cieczą ciężką, dla klas 20–0,5 mm płuczki osadzkowe miałowe, natomiast w przypadku klas ziarnowych w zakresie 0,5–0 mm stosuje wzbogacanie flotacyjne (dla węgla koksowych, rzadziej energetycznych) (Baic, Góralczyk 2009). W niektórych zakładach stosowane jest suche wzbogacanie urobku węglowego w tzw. kruszarkach Bradforda. Zasada ich działania polega na selektywnym kruszeniu surowego urobku węglowego i wydzieleniu frakcji węglowej i odpadowej (węgiel ulega rozdrobnieniu, skała płonna (kamień) pozostaje w zasadzie nieskruszona). Metoda ta stosowana jest głównie dla klas ziarnowych powyżej 50 mm lub 100 (120) mm.

Proces wzbogacania suchego z wykorzystaniem powietrznych stołów koncentracyjnych popularny był w wielu krajach w okresie międzywojennym i stosowany do rozdziału węgla łatwo wzbogacanych (duże różnice gęstości pomiędzy składnikami użytecznymi i nieużytecznymi, mała ilość frakcji pośrednich). Proces ten był również prowadzony w Polsce. Zakład przeróbczy KWK „Rozbark” w Bytomiu był ostatnim zakładem wykorzystującym proces wzbogacania powietrznego (w wariacie wialnika) (Blaschke 1976).

W ostatnich kilku latach obserwuje się renesans procesów wzbogacania powietrznego. Wykorzystuje się go w kilku krajach do wstępnego usuwania części ziaren kamienia (skały płonnej) z urobku węglowego przed podaniem go do mokrych procesów wzbogacania w zakładach przeróbczych. Usunięcie większej części skały płonnej pozwala bowiem uprościć schemat technologiczny zakładu przeróbczego. Zmniejsza się ilość nadawy, a więc zmniejsza się ilość niezbędnych maszyn i urządzeń, ogranicza się zużycie energii oraz obniża się koszty wzbogacania. Wydzielone produkty odpadowe, z uwagi brak kontaktu z wodą, mogą być z powodzeniem wykorzystywane jako substytut kruszyw naturalnych w pracach drogowych i inżynierskich oraz jako materiał do wypełniania pustek poeksploatacyjnych.

1. Technologia suchego odkamieniania węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych typu FGX

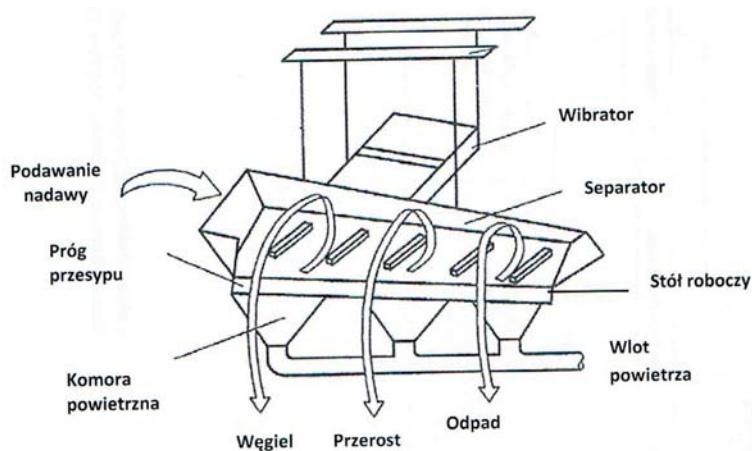
Urządzenia FGX są to złożone, pod względem wiedzy technologicznej, maszyny do suchego wzbogacania węgla. Składają się z perforowanego stołu roboczego, urządzenia wibracyjnego, komory powietrznej oraz napędu i mechanizmu pozwalającego zmieniać kąt nachylenia stołu i częstotliwość wibracji. Nadawa surowego węgla jest podawana poprzez wibrujący zasilacz na stół roboczy pochylony pod różnymi kątami w osi poprzecznej i podłużnej, wprawiany w ruch wibracyjny przez wibrator.

Pod spodem stołu znajduje się kilka komór powietrznych zasilanych przez wentylator odśrodkowy. Zawierane powietrze przechodzi przez otwory w stole tworząc wznoszący prąd powietrza. Pod wpływem połączonych sił: odśrodkowej i prądu powietrza złoża węgla surowego unosi się i różnicuje w zależności od gęstości ziaren materiału. I tak materiał lżejszy znajduje się na powierzchni złoża zawieszinowego, a bardziej gęste frakcje znajdują się w dolnej jego partii. Materiał drobny w nadawie wraz z powietrzem stanowi autogeniczny ośrodek (medium), tzn. tworzy z powietrzem zawiesinę (suspensję) „powietrze–ciało stałe” nazywane czasami złożem fluidalnym. Medium to tworzy w rezultacie warunki do skrzepowanego opadania cząstek złoża w zależności od ich wielkości i gęstości.

W powietrznych stołach koncentracyjnych wykorzystuje się efekt upłynnienia, który powstaje w wyniku interakcji pomiędzy gęstością drobnych cząstek, stanowiących zawiesinę a bardziej gruboziarnistymi cząstkami złoża, co doprowadza do poprawy rozdziału frakcji gruboziarnistych.

Proces wzbogacania przebiega podobnie do procesu wzbogacania w cieczy ciężkiej. Z uwagi na to, że powietrzny stół koncentracyjny pochylony jest w kierunku poprzecznym, materiał o małej gęstości znajdujący się na powierzchni złoża fluidalnego ma tendencję do przesuwania się po tej powierzchni i spadania w sposób ciągły, pod wpływem sił grawitacji, poprzez przegrodę usytuowaną na brzegu stołu (tzw. przesypem węgla wzbogaconego). Materiał o wyższej gęstości koncentruje się w dolnej części złoża fluidalnego i przesuwa się w kierunku wylotu odpadów, poprzez płytę kierującą do zsypu odpadów. W zależności od rodzaju nadawy i sposobu ustawienia urządzenia może być wytwarzanych wiele rodzajów produktów dostosowanych do wymogów użytkowników. Mając na uwadze ochronę środowiska przed zapyleniem – stół przykryty jest zadaszeniem wraz z zabudowanym odpylaczem, gdzie utrzymywane jest ujemne ciśnienie. Zgodnie z danymi podawanymi przez producenta 75% zapyłonego powietrza cyркуluje w obiegu, tzn. za pomocą wentylatora przechodzi przez odpylacz cyklonowy i jest powtórnie używane. Natomiast 25% powietrza po odpyleniu przez odpylacz workowy ze sprawnością 99,5%, uchodzi do atmosfery. W ten sposób urządzenie spełnia surowe wymogi standardów ochrony środowiska. Szkic powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX pokazuje rysunek 1 (Honaker, Luttrell, Mohanty 2010; Orhan, Ergun Altıpasamak 2010; de Korte 2010).

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, po dogłębnych analizach jakości krajowych węgla kamiennych i wymagań jakościowych producentów energii, podjął



Rys. 1. Szkic powietrznego stołu koncentracyjnego FGX

Fig. 1. Draft of the air concentrating tables type FGX

decyzję o sprowadzeniu z Chin z firmy Tangshan Shenzou Machinery Co Ltd. powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX dla swego Oddziału Zamiejscowego – Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego w Katowicach.

Firma Tangshan Shenzou Machinery Co Ltd. produkuje serię dziesięciu modeli o wydajności od 10 Mg/h do 480 Mg/h. W świecie w takich krajach jak Chiny, USA, RPA, Indie, Australia, Indonezja, Mongolia i Turcja pracuje obecnie łącznie już ponad 1500 sztuk tego typu urządzeń o różnej wydajności. Instytut zakupił model FGX-1 o najniższej wydajności (10 Mg/h), przeznaczając go do badań ćwierć- i półprzemysłowych odkamieniania urobku węglowego z krajowych kopalń. Rysunek 2 przedstawia zakupioną przez Instytut instalację do suchego odkamieniania typu FGX-1 (Prospekt firmy... 2013).



Rys. 2. Instalacja typu FGX-1 do suchego odkamieniania węgla kamiennego

Fig. 2. Dry coal deshalting installation type FGX-1

2. Czynniki wpływające na efektywność procesu suchego odkamieniania na powietrznych stołach koncentracyjnych typu FGX-1

Proces rozdziału wzbogacanego materiału na powietrznych stołach koncentracyjnych typu FGX zależy od wielu czynników (szczegółowo omówiono je w pracach Blaschke 1976, 2013). Do najważniejszych z nich zaliczyć należy:

- ✧ wstępne przygotowanie nadawy uwzględniające zjawisko równopadania ziaren,
- ✧ wielkość ziaren,
- ✧ gęstość ziaren,
- ✧ ilość podawanego powietrza,
- ✧ wysokość listw,
- ✧ kąt nachylenia (poprzeczny i podłużny) płyty roboczej,
- ✧ liczba wahnięć płyty roboczej,
- ✧ obciążenie (wydajność) wzbogacalnika.

Czynniki te określa się na podstawie badań surowego urobku węglowego, uwzględniając także żadaną jakość produktów rozdziału. Na ich podstawie ustala się reżim technologiczny procesu wzbogacania. Podkreślić tu należy, że ścisłe przestrzeganie ustalonego reżimu technologicznego jest niezbędnym warunkiem osiągania założonych parametrów jakościowych produktów rozdziału. Producent powietrznych stołów koncentracyjnych typu FGX na podstawie własnych badań, a także doświadczeń przemysłowych zebranych z funkcjonujących zakładów przerobczych, wykorzystujących technologię suchego odkamieniania opracował ogólne zalecenia dotyczące prowadzenia procesu separacji. W zaleceniach tych producent zwraca uwagę na możliwość regulacji następujących parametrów technicznych powietrznego stołu koncentracyjnego:

- ✧ wysokość położenia progu przesypowego w strefie odbioru produktu lekkiego (węglowego),
- ✧ wysokość położenia progu przesypowego w strefie odbioru produktu pośredniego, wysokość położenia progu przesypowego w strefie odbioru produktu ciężkiego (odpadowego),
- ✧ kąt podłużny ustawienia płyty roboczej w zakresie od 0° do -2° ,
- ✧ kąt poprzeczny ustawienia płyty roboczej w zakresie od 0° do -10° ,
- ✧ ilość doprowadzonego powietrza pod poszczególne strefy rozdziału badanego materiału,
- ✧ ustawienia klap regulujących kierowanie rozdzielonych strug materiału do określonych zdefiniowanych produktów rozdziału.

Regulacja poszczególnych ww. parametrów technicznych odbywać się musi w trakcie badań próbnych (wstępnych) tak, aby otrzymać najkorzystniejszy rozdział nadawy na poszczególne produkty. Doświadczenia zagraniczne pokazują, że skuteczność rozdziału zależy także od parametrów technologicznych kierowanej do wzbogacania nadawy.

Zauważono, że wpływ na dokładność rozdziału mają następujące parametry nadawy:

- ✧ wilgoć całkowita,
- ✧ wymiar rozdzielanego materiału badawczego,
- ✧ zakres klasy ziarnowej,
- ✧ udział klasy ziarnowej 6–0 mm,
- ✧ relacja ilości kamienia do ilości węgla,
- ✧ zawartość popiołu w materiale badawczym,
- ✧ zawartość siarki pirytowej w materiale badawczym,
- ✧ zawartość produktu pośredniego (przerostu) w nadawie.

W Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego w Oddziale Zamiejscowym Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w wymienionych zaleceniach oraz przeprowadzonych próbach technologicznych opracowana została metoda badawcza dla suchego odkamieniania urobku węglowego na urządzeniu typu FGX-1 (Baic i in. 2013).

3. Próby badawcze odkamieniania węgla energetycznych pochodzących z polskich kopalń

Próba I (Sprawozdanie... 2013)

Wzbogacaniu poddano nadawę zawierającą 29,8% popiołu i 0,69% siarki o wilgoci całkowitej – 10,18%. Wartość opałowa wynosiła 18 030 kJ/kg. Materiał rozdzielono na trzy produkty: nadawę, produkt pośredni i odpady. Z wydzielonych produktów pobrano próbki w celu oznaczenia parametrów jakościowych. Wyniki analiz zestawiono w tabeli 1.

Badania prowadzone były w celu otrzymania czystych produktów odpadowych. Uzyskany odpad (o wychodzie 8%) charakteryzował się wartością opałową 496 kJ/kg, zawartością popiołu 83,29%, zawartością siarki 0,12% i wilgotnością 4,03%. Prowadząc proces tak, aby uzyskać czyste odpady nie uzyskuje się czystych koncentratów (nie jest to cel odkamieniania). I tak, wartość opałowa koncentratów nieznacznie wzrosła w stosunku do nadawy: osiągnęła poziom 19 081 kJ/kg. Podobnie nieznacznie zmieniła się wartość opałowa produktu pośredniego (18 384 kJ/kg).

Zawartości popiołu w tych produktach różniły się niewiele w stosunku do nadawy. W koncentracie wzrosła zawartość siarki – prawdopodobnie ze względu na występowanie związków siarki w masie organicznej węgla. Przeprowadzona seria badań pokazała, że z urobku węglowego można uzyskać czyste produkty odpadowe. Uzyskuje się więc efekt odkamieniania (deshalingu).

Próba II (Sprawozdanie... 2013)

Badaniom poddano urobek węglowy bardzo zanieczyszczony. Zawartość popiołu wynosiła 41,5%, a wartość opałowa tylko 14 475 kJ/kg. Postanowiono rozdzielić urobek na

TABELA 1. Zbiorcze zestawienie wyników suchej separacji klasy ziarnowej 20–0 mm – rozdział na trzy produkty

TABLE 1. Summary of the results of dry coal separation of grain class 20–0 mm – separation on three products

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Symbol	Jednostka	Wynik	Wychód [%]
NADAWA					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	10,18	100
2.	Popiół	A^r	%	29,8	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,69	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	18 030	
KONCENTRAT					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	6,79	81,8
2.	Popiół	A^r	%	30,70	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,75	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	19 081	
PRODUKT POŚREDNI					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	10,61	7,2
2.	Popiół	A^r	%	28,8	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,58	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	18 384	
ODPAD					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	4,03	8,0
2.	Popiół	A^r	%	83,29	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,12	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	496	
PYŁ					3,0

pięć produktów analizując, podobnie jak uprzednio, możliwość wydzielenia czystych frakcji odpadowych. Z poszczególnych produktów pobrano próbki w celu dokonania analiz parametrów jakościowych. Wyniki analiz zestawiono w tabeli 2.

Analizując dane zestawione w tabeli 2 stwierdzono ponownie możliwość skutecznego odkamieniania urobku węglowego, w tym przypadku bardzo zanieczyszczonego skałą płoną.

TABELA 2. Zbiorcze zestawienie wyników separacji suchej klasy ziarnowej 20–0 mm – rozdział na pięć produktów

TABLE 2. Summary of the results of dry coal separation of grain class 20–0 mm – separation on five products

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Symbol	Jednostka	Wynik	Wychód [%]
1	2	3	4	5	6
NADAWA					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	8,53	100,0
2.	Popiół	A^r	%	41,5	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,49	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	14 475	
KONCENTRAT I ¹					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	7,22	78,0
2.	Popiół	A^r	%	34,47	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,55	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	17 479	
KONCENTRAT II ²					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	8,39	81,8
2.	Popiół	A^r	%	36,86	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,59	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	16 412	
PRODUKT POŚREDNI I ³					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	5,57	7,0
2.	Popiół	A^r	%	41,3	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,44	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	15 664	
PRODUKT POŚREDNI II ⁴					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	3,56	10,0
2.	Popiół	A^r	%	79,05	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,21	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	2 997	

TABELA 2 cd.

TABLE 2 cont.

1	2	3	4	5	6
ODPAD					
1.	Wilgoć całkowita	W_i^r	%	3,23	8,0
2.	Popiół	A^r	%	85,86	
3.	Siarka całkowita	S_i^r	%	0,12	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	423	
PYŁ					5,0

¹ Koncentrat I – pierwsza połowa strefy odbioru produktu węglowego.

² Koncentrat II – druga połowa strefy odbioru produktu węglowego.

³ Produkt pośredni I – 2/3 strefy odbioru produktu pośredniego.

⁴ Produkt pośredni II – 1/3 strefy odbioru produktu pośredniego.

Wydzielony produkt odpadowy posiadał wartość opałową na poziomie 423 kJ/kg przy zawartości popiołu 85,86%. Zawartość siarki kształtowała się na poziomie 0,12%, co świadczy, że nie była ona związana ze skałą płonną. Prawdopodobnie w badanej nadawie nie występowały czyste ziarna pirytu.

Otrzymany produkt pośredni II również cechuje się wysoką zawartością popiołu (79,05%) i niską zawartością siarki. Wartość opałowa jest wyższa niż w produkcie odpadowym (2997 kJ/kg), co może świadczyć, że do tego produktu trafiła niewielka ilość zrostów węglowo-kamiennych. Produkt pośredni II należy jednak traktować jako odpad. Łączny wychód produktu odpadowego i produktu pośredniego II wynosi 10%. Produkt pośredni I posiada wartość opałową i zawartość popiołu, a także siarki na poziomie zbliżonym do parametrów jakościowych nadawy (są nieco korzystniejsze). Koncentrat I i koncentrat II charakteryzują się nieco wyższą wartością opałową niż wartość opałowa nadawy. Zawartości popiołu są nieco (kilka procent) niższe niż w nadawie. Natomiast wzrosła zawartość siarki, potwierdzając uprzednie spostrzeżenia co do powiązania minerałów siarki z masą węglową. Próba II potwierdziła skuteczność procesu odkamieniania.

Próba III (Sprawozdanie... 2013)

Próba ta obejmowała wtórne wzbogacanie wydzielonych w próbie II produktów: koncentratu I, koncentratu II i produktu pośredniego I. Badanie to miało na celu zbadanie możliwości wtórnego oczyszczania na powietrznym stole koncentracyjnym typu FGX wyżej wymienionych produktów. Po uśrednieniu nadawa zawierała 35% popiołu, 0,54% siarki i wartość opałową na poziomie 17 329 kJ/kg. Materiał ten rozdzielono na cztery produkty i oznaczono w nich parametry jakościowe. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Wtórna separacja pokazała, że istnieje możliwość dodatkowego oczyszczania otrzymanych wcześniej produktów o podwyższonej wartości opałowej. Wydzielono odpady o zawartości popiołu na poziomie 83,39% i małej wartości opałowej (1311 kJ/kg). Obniżono

TABELA 3. Zbiorcze zestawienie wyników wtórnej suchej separacji (po usunięciu odpadów i produktu pośredniego II) klasy ziarnowej 20–0 mm – rozdział na pięć produktów

TABLE 3. Summary of results of secondary dry coal separation (after removal of the waste and the middling II) of grain class 20–0 mm – separation on five products

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Symbol	Jednostka	Wynik
NADAWA = KONCENTRAT I i II + PRODUKT POŚREDNI I ¹				
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	7,08
2.	Popiół	A^r	%	35,0
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,54
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	17 329
KONCENTRAT I				
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	6,37
2.	Popiół	A^r	%	23,94
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,59
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	21 641
PRODUKT POŚREDNI I				
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	7,04
2.	Popiół	A^r	%	31,42
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,56
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	18 700
PRODUKT POŚREDNI II				
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	4,28
2.	Popiół	A^r	%	61,12
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,45
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	8 992
ODPAD				
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	2,84
2.	Popiół	A^r	%	83,39
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,16
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	1 311

¹ Przeliczone wartości średnie z uwzględnieniem następujących produktów: koncentrat I, koncentrat II i produkt pośredni I (dane wg tabeli 2).

zawartość popiołu w koncentracji do poziomu 23,94% i podniesioną wartością opałową do 21 641 kJ/kg. Otrzymany produkt pośredni II jest produktem w zasadzie odpadowym o zawartości popiołu 61,12% i wartości opałowej 8992 kJ/kg. Zawartość siarki nieco się obniżyła w porównaniu do zawartości siarki w nadawie. Produkt pośredni I posiada parametry jakościowe zbliżone do parametrów jakościowych nadawy.

Proces wtórnego odkamieniania umożliwił poprawę jakości koncentratu o 4 klasy w górę.

Próba IV (Sprawozdanie... 2013)

Badania przeprowadzono na materiale o uziarnieniu 25–8 mm. Z urobku węglowego usunięto ziarna poniżej 8 mm. Badania miały na celu określenie wpływu drobnych ziaren na uzyskiwane rezultaty rozdzału. Proces rozdzału przebiegał bardzo stabilnie. Materiał, poddany wzbogaceniu, charakteryzował się małą ilością frakcji pośrednich. Zaobserwowano brak tworzenia się produktu pośredniego lub wydzielal się on w minimalnych ilościach.

Z wydzielonych produktów pobierano próby, które poddano analizom. Zestawienie wyników analiz przedstawiono w tabeli 4.

Procesowi odkamieniania poddano nadawę, w której zawartość popiołu wynosiła 39,5%, zawartość wilgoci 8,7%, zawartość siarki całkowitej 0,52% oraz o wartości opałowej 16 291 kJ/kg. W wyniku rozdzału uzyskano koncentrat o wychodzie 84,4% i wartości opałowej 21 914 kJ/kg przy zawartości popiołu na poziomie 25%. Zawartość siarki wyniosła 0,7%. Wydzielony produkt węglowy zawierał 6,9% wilgoci całkowitej. Uzyskano wzrost jakości produkowanego węgla o 5 klas w górę. Produkt pośredni wydzielany był w minimalnych ilościach (1,6% wychodu). Posiadał on wartość opałową wynoszącą 5494 kJ/kg, przy zawartości popiołu na poziomie 69,8%. Zawartość siarki w produkcie pośrednim wyniosła 0,33%. Produkt po wydzieleniu zawierał 3,8% wilgoci całkowitej. Odpad I wydzielony z płyty roboczej posiadał wartość opałową wynoszącą 948 kJ/kg, przy zawartości popiołu na poziomie 84,1% i zawartości siarki całkowitej 0,39%. Wilgoć całkowita odpadu I wyniosła 2,3%. Odpad II wydzielony w instalacji FGX-1 posiadał wartość opałową na poziomie 968 kJ/kg, przy zawartości popiołu na poziomie 83,1%. W odpadzie II oznaczono siarkę całkowitą na poziomie 0,36% oraz wilgoć całkowitą o wartości 3,3%. Produkty odpadowe stanowiły w sumie około 14% ilości nadawy. W przeprowadzonym procesie badawczym ułowiono minimalną ilość pyłu węglowego, z uwagi na rozdzielaną nadawę klasy ziarnowej 25–8 mm.

Badana próba charakteryzowała się występowaniem związków siarki w masie organicznej. Skutkiem tego zawartość siarki w koncentracji wzrosła z 0,52% (nadawa) do 0,70% (koncentrat). Charakterystykę występowania siarki, w badanej próbie, potwierdza obniżenie zawartości siarki w produkcie pośrednim i w odpadach.

Otrzymane wyniki pokazują, że prowadząc odkamienianie urobku klasy ziarnowej 25–8 mm można uzyskać czyste produkty odpadowe o bardzo wysokiej zawartości popiołu i niskiej wartości opałowej.

TABELA 4. Zbiorcze zestawienie wyników wtórnej suchej separacji klasy ziarnowej 25–8 mm

TABLE 4. Summary of results of secondary dry coal separation of grain class 25–8 mm

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Symbol	Jednostka	Wynik	Wychód [%]
NADAWA					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	8,7	100,0
2.	Popiół	A^r	%	39,5	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,52	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	16 291	
KONCENTRAT					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	6,9	84,4
2.	Popiół	A^r	%	25,0	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,70	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	21 914	
PRODUKT POŚREDNI					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	3,8	1,6
2.	Popiół	A^r	%	69,8	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,33	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	5 494	
ODPAD I ¹					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	2,3	14,0
2.	Popiół	A^r	%	84,1	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,39	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	948	
ODPAD II ²					
1.	Wilgoć całkowita	W_t^r	%	3,3	
2.	Popiół	A^r	%	83,1	
3.	Siarka całkowita	S_t^r	%	0,36	
4.	Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	968	

¹ Produkt odpadowy I – 1/3 strefy odbioru produktu odpadowego.

² Produkt odpadowy II – 2/3 strefy odbioru produktu odpadowego.

Podsumowanie

W ostatnich kilku latach obserwuje się renesans procesów suchego wzbogacania opartych na nowej konstrukcji powietrznych stołów koncentracyjnych. Wykorzystuje się je w kilku krajach (m./in. Chiny, USA, RPA) do wstępnego usuwania części ziaren kamienia (skały płonnej) z urobku węglowego przed podaniem go do mokrych procesów wzbogacania w zakładach przerobczych. Zaletą procesu suchego wzbogacania jest znaczne uproszczenie schematu technologicznego zakładu przerobczego, a zwłaszcza możliwość ograniczenia gospodarki wodno-mułowej, otrzymywanie produktów suchych, małe zużycie energii oraz małe koszty wzbogacania. Doświadczenia światowe pokazują, że metoda ta jest odpowiednia dla usuwania zanieczyszczeń nadawy, redukcji zapozielenia, odsiarczania węgla zawierających piryty, odpylania produktów wzbogacania, zwiększania wartości opałowej węgla handlowego.

Wzbogacanie powietrzne może być także stosowane dla odzysku węgla z odpadów znajdujących się na hałdach, a także do otrzymywania substytutów kruszyw (Blaschke, Baic 2013).

Przeprowadzone przez Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego Oddział Zamiejscowy Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego badania na stanowisku wyposażonym w powietrzny stół koncentracyjny typu FGX-1 pokazały, że można w skuteczny sposób odkamieniać urobek węgla kamiennego w klasach ziarnowych 20–0 mm i 25–8 mm. Pokazały one również, że korzystniejsze rezultaty w zakresie odkamieniania otrzymuje się przy zmniejszonym udziale klas drobnych < 8 mm w nadawie.

W celu sprawdzenia możliwości wykorzystania urządzenia typu FGX-1 do uzyskania węgla handlowego przeprowadzono dodatkową próbę wtórnego wzbogacania wydzielonych w pierwszym cyklu produktów. Badania te pokazały, że możliwe jest dwustopniowe wzbogacanie urobku węglowego. W pierwszym stopniu można wydzielać czyste produkty odpadowe. Produkty pozostałe, tzn. koncentrat i produkt pośredni, można oczyszczać w następnych stopniach (równoległa praca drugiego stołu powietrznego). W zależności od parametrów jakościowych można poprawiać na drugim stopniu jakość koncentratu lub oczyszczać z domieszek kamienia produkt pośredni. Rozwiązanie powyższe należy wybrać alternatywnie w zależności od możliwości sprzedaży tych produktów.

Literatura

- Ochrona środowiska 2012 – Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2013.
Rocznik Statystyczny RP 2012 – Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2013.
BAIC I., GÓRALCZYK S., 2009 – Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2; Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
BLASCHKE W., 1976 – Wzbogacanie powietrzne. *Poradnik Górnika* t. V. Wyd. Śląsk. Katowice, s. 556–563
HONAKER R.Q., LUTTRELL G., MOHANTY M., 2010 – Coal preparation research in the USA. *Proceedings of XVI International Coal Preparation Congress*. Lexington. USA 2010, s. 864–874.

- ORHAN E.C., ERGUN L., ALTIPASMAK, 2010 – Application of the FGX Separator in the enrichment of Catalozi Coal: A simulation study. Proceedings of XVI International Coal Preparation Congress. Lexington. USA 2010, s. 562–570.
- de KORTE G.J., 2010 – Coal preparation research in South Africa. Proceedings of XVI International Coal Preparation Congress. Lexington. USA, s. 859–863.
- Prospekt firmy Tangshan Shenzou Machinery Co Ltd., Chiny 2012.
- BAIC I., BLASCHKE W., GÓRALCZYK S., SOBKO W., SZAFARCZYK J., 2013 – Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji; KOMEKO 2013 – Innowacyjne i Przyjazne dla Środowiska Techniki i Technologie Przeróbki Surowców Mineralnych, Bezpieczeństwo–Jakość–Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, marzec 2013, ISBN 978-83-60708-71-2, s. 99–108.
- Sprawozdanie z badań odkamieniania węgla surowego Nr 02/CGOiZŚ/2013: IMBiGS, Katowice 2013.
- BLASCHKE W., 2013 – Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. Zeszyty Naukowe Instytutu GSMiE PAN nr 84.
- BLASCHKE W., BAIC I., 2013 – Wykorzystanie powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania substytutów kruszyw metodą deshalingu. *Kruszywa* z. 3, s. 48–50.

Ireneusz BAIC, Wiesław BLASCHKE

Analysis of the possibility of using air concentrating tables in order to obtain clean coal fuels and substitute natural aggregates

Abstract

Spoil mined from the bottom of coal mines is a mixture of particles of carbon waste that has no value on the market. In order to obtain commercial coal product, the mining output is subjected to enrichment processes in coal preparation plants. Under industrial conditions, this process is based on the use of gravity methods of enrichment in a water environment or in a magnetite heavy liquid.

This article presents the application of a dry separation method for excavated coal on air concentrating tables of the type FGX-1. This equipment was purchased in China by the Institute of Mechanised Construction and Rock Mining. The analysis covers the employed operating techniques of the table and research stand created set up under active mining conditions. The article presents the technical and technological parameters influencing the separation process. It also provides examples of the results of using the coal dry separation method in order to obtain clean coal fuels and substitute natural aggregates.

KEY WORDS: coal, dry separation method, air concentrating tables, deshaling, coal sludge, deposits, fuel carbon, substitute natural aggregates