

Ekologiczna metoda usuwania zanieczyszczeń skałą płonną z urobku węgla kamiennego*

1. Wstęp

Eksploatowany w krajowych kopalniach urobek węgla kamiennego sprzedawany jest albo w postaci węgla surowego albo poddawany jest procesom oczyszczania z zanieczyszczeń w zakładach przeróbki mechanicznej. W pierwszym przypadku dotyczy to urobku, którego parametry jakościowe (wartość opałowa, zawartość popiołu, siarki, itp.) umożliwiają jego bezpośrednio wykorzystanie w procesach przetwarzania na energię elektryczną lub ciepłą. Jeżeli wspomniane parametry jakościowe nie odpowiadają użytkownikom urobek poddaje się procesom wzbogacania polegającym na rozdzieleniu ziaren węglowych od ziaren skały płonnej (kamienia, łupków, piryty).

Urobek węgla kamiennego składa się z ziaren bardzo zróżnicowanej wielkości: od ziaren o wielkości ułamków milimetrów do brył o średnicach nawet do metrowych rozmiarów. Urobek ten dzieli się w zakładach przeróbczych na węższe klasy ziarnowe krusząc ziarna duże do wymiarów poniżej 250 (200) mm. Poszczególne wyodrębnione klasy ziarnowe poddaje się wzbogacaniu metodami mokrymi. W praktyce ziarna o rozmiarach powyżej 20 (50) mm wzbogaca się w cieczach ciężkich zawieszinowych (mieszanka wody z magnezytem). Ziarna poniżej 50 (20) mm i większych od 1,0 (0,5) mm wzbogaca się w pulsacyjnych osadzarkach ziarnowych lub miałowych. Natomiast ziarna o wymiarach 1,0 (0,5) – 0 mm można wzbogacać metodą flotacji (dla węgla koksowych, rzadziej energetycznych).

Mokre metody oddzielania skały płonnej od ziaren węglowych skutkują między innymi powstawaniem dużej ilości mułów węglowych trudnych, a czasem niemożliwych, do bezpośredniego wykorzystania. Muły te najczęściej wyprowadzane są poza zakład przeróbczy i składowane w osadnikach ziemnych [1, 9, 18]. Po sedymentacji zagęszczone muły węglowe, jeżeli posiadają stosunkowo niską zawartość popiołu, mogą być wykorzystane jako składnik mieszanek energetycznych. Wydzielane w trakcie procesów muły mogą być poddawane procesom filtracji [14] i poprzez procesy przeróbcze (grudkowanie, granulowanie, peletyzacja) [7, 10] również mogą być domieszane do wzbogaconych uprzednio miałów (klasa ziarnowa +1,0 (0,5) mm), jako składnik mieszanek energetycznych.

Zagospodarowywanie mułów węglowych lub ich tylko składowanie wiąże się z koniecznością oczyszczania tzw. wód popłuczkowych pochodzących z mokrych procesów wzbogacania lub odsączonych po segmentacji drobnych ziaren. Część oczyszczonych wód jest

wykorzystywana ponownie w zakładach przeróbczych, część z nich odprowadzana jest do cieków powierzchniowych powodując w wielu przypadkach ich zanieczyszczenie. Procesy związane z mokrymi drobnymi ziarnami węgla i skały płonnej nazywane są gospodarką wodnomułową. Jest ona kosztowna i musi być uwzględniona w cenie rynkowej produktów handlowych węgla kamiennego energetycznego powodując zmniejszanie się ich konkurencyjności na rynku paliw.

Alternatywą mokrych sposobów wzbogacania jest możliwość prowadzenia procesów rozdzielania ziaren skały płonnej od ziaren węglowych na drodze suchej separacji. Istnieje szereg rozwiązań urządzeń do wzbogacania powietrznego [5, 11]. Niestety większość z nich cechuje się małą dokładnością wzbogacania i praktycznie nie są stosowane na dużą skalę [6]. Z tego względu były zastępowane mokrymi technologiami.

W pierwszych latach XXI wieku opracowano w Chinach nową konstrukcję powietrznych stołów koncentracyjnych [12, 17]. Stoły te mają na celu usunięcie możliwie największej ilości ziaren skały płonnej. Proces taki nazywa się odkamienianiem (ang. deshaling). W ciągu zaledwie kilku lat powietrzne stoły koncentracyjne spotkały się z ogromnym zainteresowaniem. Są testowane i wdrażane w USA [8], Indiach, Australii, RPA, Turcji [13], Indonezji, Mongolii, Filipinach, Brazylii, Rosji i Ukrainie [15], w Iranie, Kazachstanie w Wietnamie i innych krajach. W Chinach pracuje już prawie 1800 instalacji [16].

Ze względu na wymierne efekty ekonomiczne (w stosunku do mokrych sposobów wzbogacania koszty inwestycyjne są od pięciu do dziesięciu razy niższe a koszty operacyjne stanowią tylko od jednej trzeciej do jednej czwartej kosztów mokrych technologii) i inne, opisane w niniejszym artykule korzyści, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego zakupił dla swego Oddziału w Katowicach powietrzny stół koncentracyjny [2]. Zakupu u producenta – Tangshan Shenzhou Machinery Co. Ltd. – dokonała firma Warkop Sp. z o.o.

Chińskie stoły koncentracyjne produkowane są w jedenastu modelach różniących się niektórymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi dostosowanymi do potrzeb konkretnych użytkowników. Noszą one skrótową symbolikę FGX i różnią się wydajnością: FGX-1 (10 Mg/h), FGX-2 (20 Mg/h), FGX-3 (30 Mg/h), FGX-6 (60 Mg/h), FGX-9 (90 Mg/h), FGX-12 (120 Mg/h), FGX-18A (180 Mg/h), FGX-24 (240 Mg/h), FGX-24A (240 Mg/h), FGX-48 (48 Mg/h), FGX-100 (1000 Mg/h). Modele z literą „A” składają się z dwóch separatorów zabudowanych w jednym urządzeniu. Moduły wzbogacania i odpylania,

* Artykuł był opublikowany w Roczniku Ochrony Środowiska. Tom 17. Cz. 2. Wyd. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. Koszalin. 2015

w zależności od wydajności, posiadają wymiary (odpowiednio podano długość, wysokość i szerokość w metrach): FGX-1 ($5,7 \times 3,1 \times 6,0$), FGX-6 ($11,4 \times 10,7 \times 9,3$), FGX-24 ($23,1 \times 14,7 \times 9,6$), FGX-48 ($25,4 \times 20,9 \times 11,7$). Podano tu najczęściej kupowane modele.

Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego IMBiGS Oddział Zamiejscowy w Katowicach zakupił model FGX-1, który wykorzystywany jest w celach badawczych. Testowane są możliwości odkamieniania urobku pochodzącego z różnych kopalń węgla kamiennego [patrz artykuły w Czasopiśmie Technicznym KTT nr 154-161 (2014) i nr 166 (2016)].

2. Zasada działania powietrznego stołu koncentracyjnego

Rozwarstwienie ziaren urobku węglowego według gęstości poszczególnych składników przeprowadza się w ciągłym wznoszącym się strumieniu powietrza, przepływającym przez otwory w płycie roboczej stołu przy równoczesnym poddawaniu tej płyty poprzecznym wibracjom. Pod wpływem wznoszącego się strumienia powietrza następuje rozluźowanie, podniesienie i zawieszenie ziaren nadawy. Tworzy się autogeniczny ośrodek (medium), w którym drobny materiał tworzy z powietrzem zawiesinę (suspensję) „powietrze – ciało stałe” nazywane czasami złożem fluidalnym. W rezultacie powstają warunki do skrępowanego opadania wewnątrz złoża ziaren w zależności od ich wielkości i gęstości. Złoże to, jak już powyżej wspomniano, unosi się i różnicuje w zależności od gęstości materiału. Materiał (ziarna) lżejszy znajduje się na powierzchni złoża zawieszonowego, a frakcje o wyższej gęstości znajdują się w dolnej jego partii. Zasady te były wykorzystywane w starych (z początku XX wieku) rozwiązaniach ówczesnych stołów powietrznych [5, 15]. Stoły nowej konstrukcji różnią się od starych typów innymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi a zwłaszcza sposobem ulistwienia płyty roboczej oraz zastąpieniem ruchu posuwisto-zwrotnego wzdłuż długości stołu poprzecznymi wibracjami. Te różnice powodują, że złoże wprowadzane jest w ruch spiralny umożliwiający przesywywanie się ziaren do kolejnych odbiorników, a także

wymuszają ruch ziaren pomiędzy poszczególnymi listwami (grzebieniami). Pokazano to na rys. 1. Przedstawiona powyżej zasada działania powietrznego stołu koncentracyjnego jest bardzo uproszczonym opisem rozdziału ziaren urobku na poszczególne produkty różniące się gęstością (frakcje: kamienne, produktu pośredniego i produktu węglowego). Bardziej szczegółowy opis ruchu ziaren podano w pracy [4].

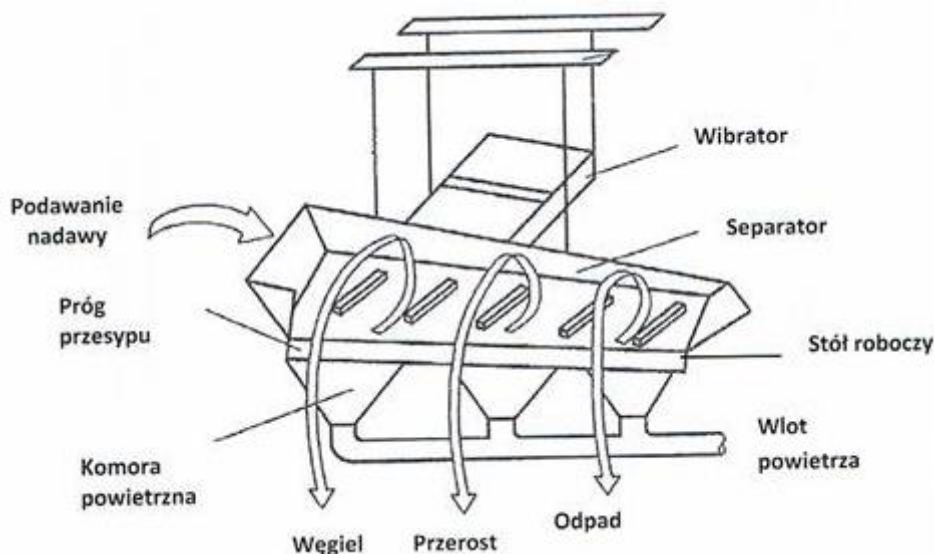
3. Budowa powietrznego stołu koncentracyjnego

Powietrzny stół koncentracyjny jest częścią instalacji pozwalającej na prowadzenie procesów odkamieniania urobku węglowego. Instalacja składa się z modułów: zasilania, wzbogacania, odpylania i sterowania. Może być uzupełniona o moduły klasyfikacji i rozdrabniania i o moduł badań laboratoryjnych.

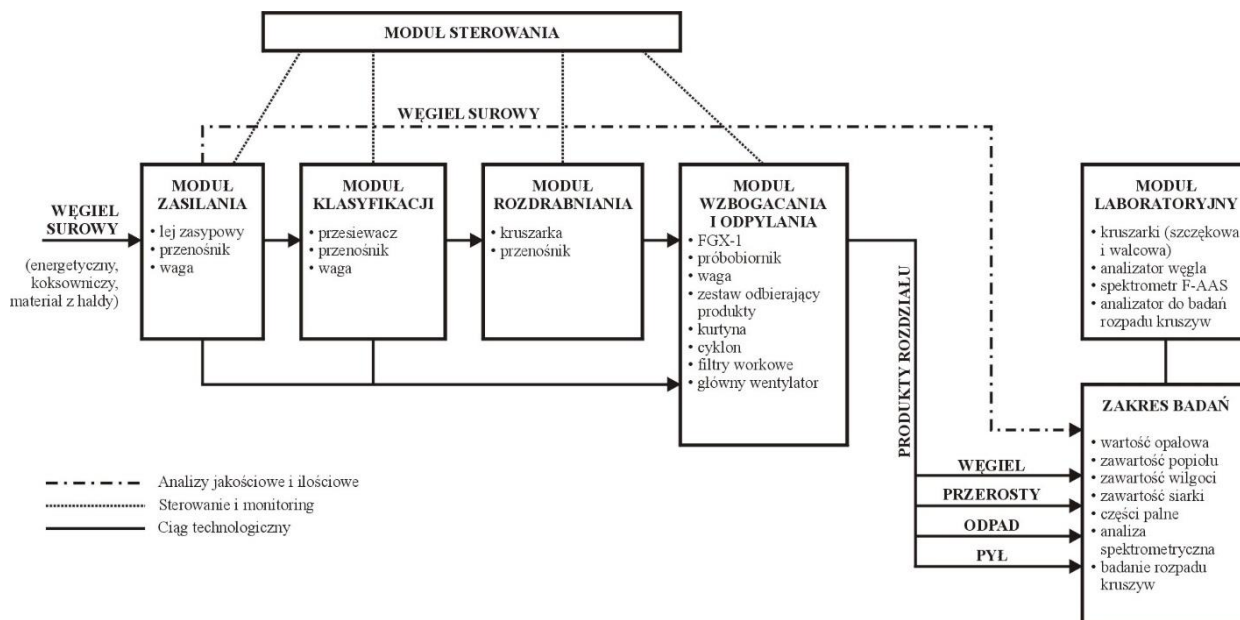
IMBiGS zakupił w Chinach jedynie moduł wzbogacania i odpylania (stanowią one jedną konstrukcję). Moduł ten został umieszczony w stanowisku badawczym do suchego odkamieniania, które to stanowisko zostało przez IMBiGS wyposażone w powyżej podane moduły. Schemat blokowy stanowiska badawczego pokazano na rys. 2.

Moduł wzbogacania składa się z: perforowanej i ulistwionej płyty roboczej posiadającej kształt trapezowy i zawieszanej na czterech stalowych linach; pod płytą znajdują się komory powietrzne doprowadzające sprężone powietrze pod płytę roboczą i są zasilane przez wentylator odśrodkowy; z wibratorów; z mechanizmu regulacji nachylenia poprzecznego i podłużnego płyty roboczej; podajnika nadawy z kosza zasypowego; zbiorników na wydzielane produkty w tym dodatkowego korytka odbioru końcowych frakcji kamiennych.

Stół koncentracyjny jest zadaszony i posiada zabudowany podciśnieniowy odpylacz. Około 75% zapyłonego powietrza przechodzi za pomocą wentylatora, przez odpylacz cyklonowy i jest powtórnie wykorzystywane w obiegu powietrza (komory powietrzne pod płytą roboczą). Pozostała część powietrza jest odpylana przez odpylacz workowy i uchodzi do atmosfery. Sprawność



Rys. 1. Szkic działania powietrznego stołu koncentracyjnego FGX [4]



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska badawczego do wstępnego suchego odkamieniania węgla kamiennego

zastosowanego procesu odpylania wg danych producenta wynosi 99,5%. Moduł odpylania ma na celu ochronę środowiska naturalnego przed zapyleniem. Należy tu także zwrócić uwagę, że wydzielony w filtrach workowych pył może być produktem handlowym np., jako składnik mieszanek węglowo-wodnych, może być dodawany do koncentratu węglowego (posiada, bowiem wysoką wartość opalową i niską zawartość popiołu) lub po zbrzykietowaniu może być produktem energetycznym.

4. Czynniki wpływające na dokładność rozdziału urobku wg gęstości

Wzbogacane powietrze jest najmniej dokładnym procesem separacji ziaren wg gęstości. Wiadomo, że najdokładniej proces rozdziału przebiega w cieczach ciężkich zawieszinowych, a następnie w osadzkach wodnych. Im gęstszy ośrodek rozdziału tym proces jest dokładniejszy.

Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne przystosowane są głównie do odkamieniania urobku a proces wydzielania koncentratów węglowych jest procesem drugorzędny. Rozdział ziaren odbywa się wewnątrz frakcji kamienniej (odpadowej), czyli przy gęstości powyżej $2,0 \text{ g/cm}^3$. Przypomnieć można, że wydzielanie produktów węglowych prowadzone jest przy gęstościach $1,4 - 1,6 \text{ g/cm}^3$.

Dokładność rozdziału jest stosunkowo niewielka a mierzona wskaźnikiem rozproszenia prawdopodobnego wynosi $E_p > 0,20$. Nie ma to większego znaczenia przy odkamienianiu urobku gdyż w procesie tym chodzi o możliwie największe (a nie całościowe) wydzielenie frakcji kamiennych. Aby jednak uzyskiwać możliwie korzystne warunki rozdziału należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- wstępne przygotowanie nadawy – rozdziela się ziarna poniżej 75 (50) mm dzieląc je na przykładowe klasy 75 – 50, 50 – 25, 25 – 6, 25 – 0 mm dobierane w sposób eksperymentalny,

- skład gęstościowy nadawy – powinno rozdzielać się nadawę łatwo wzbogacalną z małą ilością przerostów, łupków, frakcji pośrednich (wówczas można uzyskiwać dobry jakościowo handlowy produkt węglowy),
- reguluje się doświadczalnie: ilość podawanego powietrza, wysokość listew i ich usytuowanie na płycie roboczej, kąty nachylenia (podłużnego i poprzecznego) płyty roboczej, częstotliwość wibracji płyty roboczej, obciążenie materiałem płyty roboczej.

Wpływ na dokładność rozdziału ma także wilgoć całkowita, wymiar maksymalnych ziarn nadawy, udział klasy ziarnowej poniżej 6 mm, relacja ilości kamienia do ilości węgla. Prace powietrznego stołu koncentracyjnego dostosowuje się do charakterystyki nadawy w sposób eksperymentalny. Dobre uregulowanie może trwać, wg informacji producenta, nawet do dwóch tygodni (producent oferuje kupującym stoły przysyłanie swojego specjalisty). Jeżeli nie zmienia się charakterystyka nadawy nie wprowadza się dodatkowych regulacji parametrów pracy powietrznego stołu koncentracyjnego.

5. Korzyści zastosowania powietrznych stołów koncentracyjnych

Analizując zmieniające się warunki wydobywania węgla należy zwrócić uwagę na następujące fakty:

- wzrasta w urobku ilość zanieczyszczeń spowodowanych zmniejszającą się miąższością pokładów i głębszym zaleganiem pokładów,
- najlepsze jakościowo pokłady zostały w większości przypadków wyeksploatowane i coraz częściej podejmuje się wydobywanie węgla z pokładów o gorszych parametrach jakościowych,
- coraz dłuższe są odległości pomiędzy producentami a użytkownikami węgla, a więc należy

zmniejszyć ilość przewożonego balastu w handlowych produktach węgla,

- wymagania, co do ochrony środowiska są coraz ostrzejsze, odkamienianie urobku węglowego zmniejsza emisję polutantów podczas spalania węgla.

Zastosowanie suchej metody deshalingu z wykorzystaniem powietrznych stołów koncentracyjnych przynosi szereg korzyści. Korzyści te opisywane są w licznych (nie cytowanych w niniejszym artykule) publikacjach jak np. 32 artykuły zamieszczone w monografii *China Coal**, 18 artykułów w czasopiśmie *USA – Coal Preparation* (późniejszy tytuł *International Journal of Coal Preparation and Utilization**), referaty na Międzynarodowych Kongresach Przeróbki Węgla w RPA, Chinach, USA, Turcji*, a także w kilku krajowych referatach opracowanych przez autorów niniejszej publikacji*. Z najważniejszych korzyści należy wymienić:

- usuwanie skały płonnej z pominięciem mokrych procesów wzbogacania umożliwiające wykorzystanie jej jako substytutu kruszyw naturalnych,
- odpylanie urobku (usunięcie klasy ziarnowej poniżej 0,5 mm),
- usuwanie siarki pirytovej,
- zmniejszenie ilości frakcji odpadowych w urobku kierowanym do ewentualnego dalszego wzbogacania mokrymi technologiami,
- możliwość odzysku ziaren węgla ze składowisk odpadów wydobywczych i przerobczych,
- możliwość eliminacji węzła gospodarki wodno-mułowej,
- możliwość produkcji bardzo czystych (ekologicznych) koncentratów z jednoczesnym wykorzystaniem produktu pośredniego jako paliwa energetycznego,
- możliwość produkcji koncentratów węglowych o parametrach odpowiadających średnim parametrom jakościowym węgla nabywanego przez energetykę zawodową,
- pięciokrotnie, a w przypadkach dużych instalacji nawet dziesięciokrotnie niższe koszty inwestycyjne w porównaniu do kosztów budowy zakładów mokrego wzbogacania,
- trzy a nawet czterokrotnie niższe koszty eksploatacyjne (ruchowe) w porównaniu z mokrymi metodami wzbogacania.

6. Podsumowanie

Powietrzne stoły koncentracyjne skonstruowane zostały w celu odkamieniania (deshalingu) urobku węgla kamiennego. Odkamienianie, a więc usuwanie skały płonnej jest oczywiście metodą wzbogacania. Termin ten precyzuje jednak dokładniej prowadzony proces wzbogacania. Odkamienienie pozwala, jak pokazały przeprowadzone badania na instalacji przemysłowej, uzyskiwać czyste produkty odpadowe (skałę płonną).

W wielu przypadkach umożliwia on również wytworzenie handlowych produktów węglowych lub może być wykorzystywany jako wstępne wzbogacanie (prewashing).

W ostatnich kilkunastu latach uznano, że stoły powietrzne powinny pozwolić na możliwie maksymalne usunięcie skały płonnej z urobku węglowego. Skupiono się na rozwiązaniach pozwalających na wydzielenie czystej skały płonnej (kamienia) „niezanieczyszczonej” ziarnami węglowymi. Jakość koncentratów węglowych była problemem wtórnym.

Z tego rodzaju filozofią wzbogacania urobku (nazwaną deshalingiem – odkamienianiem) przemawiały następujące przesłanki:

- usunięcie części skały płonnej, bez straty substancji węglowej, pozwoli na zmniejszenie ilości nadawy do mokrych procesów wzbogacania zwiększając wydajność zakładu przerobczego, obniżając koszty, eliminując część ziaren drobnych z układu gospodarki wodno-mułowej,
- usunięcie części skały płonnej pozwoli na otrzymanie, bez dalszego wzbogacania, węglowego produktu handlowego dla odbiorców, którzy nie wymagają, ze względu na parametry pracy posiadanych kotłów, produktu węglowego o bardzo wysokiej czystości,
- wydzielenie kamienia z urobku węglowego metodą suchą znacznie rozszerzy możliwości jego gospodarczego wykorzystania.

Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne znajdują coraz szersze zastosowanie do odkamieniania urobku węglowego. Według informacji uzyskanych od producenta wyprodukowano już ponad 2000 instalacji typu FGX. Instalacje te pracują lub są testowane w 19 krajach, w tym także w Polsce.

Powietrzne stoły koncentracyjne uzyskały w Chinach certyfikat „National Key Environmental Protection Practical Technology A Class” przyznany w 2010 roku przez China Environmental Protection Industry Association [16]. Technologia suchego odkamieniania jest więc przyjazna środowisku.

Stany Zjednoczone i Australia zakupiły licencję technologii, na której oparte jest działanie powietrznych stołów koncentracyjnych typu FGX. Oznacza to w praktyce, że suche odkamienianie węgla przynosi wymierne efekty ekonomiczne, co poprawia konkurencyjność cenową oferowanych na rynkach międzynarodowych węgla kamiennych.

Technologia suchego odkamieniania urobku węglowego ze względu na liczne korzyści technologiczne, ekologiczne i ekonomiczne została nazwana w USA „technologią XXI wieku” [8]. Przeprowadzone przez Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego IMBiGS Oddział Zamiejskowy w Katowicach badania nad odkamienianiem niektórych krajowych węgla potwierdziły skuteczność tej metody wzbogacania.

* Wykaz artykułów zestawiono w *Czasopiśmie Technicznym KTT* nr 154-161 (2014) s. 2, 22, 30, 38

Wymienione w niniejszym artykule korzyści ze stosowania powietrznych stołów koncentracyjnych pozwalają sądzić, że technologia ta wkrótce zostanie wdrożona przez sektor wydobywczy i przetwórczy węgla kamiennego w Polsce.

Literatura

1. Baic I.: Analiza parametrów chemicznych, fizycznych i energetycznych depozytów mułów węglowych zinwentaryzowanych na terenie woj. śląskiego. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual set The Environment Protection), 15, s. 1525 – 1548 (2013),
2. Baic I., Blaschke W., Góralczyk S., Sobko W., Szafarczyk J.: Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji. Monografia – Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych – KOMEKO.2013, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, s. 99 – 108 (2013),
3. Baic I., Blaschke W., Sobko W.: Badania nad odkamienianiem energetycznego węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych, Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 17, Część 2, s. 958 – 972 (2015),
4. Baic I., Szafarczyk J., Blaschke W.: Matematyczny model pracy powietrznego stołu koncentracyjnego. Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN Kraków, nr 90, s. 51 – 66 (2015),
5. Blaschke W.: Wzbogacanie powietrzne. Poradnik Górnika, Tom V, Wyd. Śląsk, s. 556 – 563 (1976),
6. Blaschke W.: Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN Kraków, nr 84, s. 67 – 74 (2013),
7. Fraś A., Przysaś R., Hycnar J.J.: Ekonomiczne aspekty gospodarki odpadami w zakładach górniczych Południowego Koncernu Węglowego S.A. XXVII Konferencja Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane, s. 45 – 59 (2013),
8. Ghosh T., Honaker R.Q., Patil D., Parekh B.K.: Up grading low rank coal using a dry density – based separator technology. Proceedings of the 17th International Coal Preparation Congress, Istambul, s. 295 – 300 (2013),
9. Hlavata M., Cablik V.: Application of Fine Tailings from Coal Preparation in the Ostrava – Karvina District. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 14, s. 285 – 298 (2012),
10. Hycnar J.J., Fraś A., Przysaś R., Foltyn R.: Stan i perspektywy podwyższenia jakości mułów węglowych dla energetyki. XXVII Konferencja Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane, s. 61 – 74 (2013),
11. Improving Power Plant Performance Through Dry Gravity Separation of Low Rank Coal Materiały firmowe Allmineral LLC,
12. Li Gongamin: Coal compound dry cleaning technique-study and practice. Proceedings of XV International Coal Preparation Congress. Pekin. Chiny, Vol 11, s. 439 – 447 (2006),
13. Orhan E.C., Ergun L., Altipasmak: Application of the FGX Separator in the enrichment of Catalozi Coal: A simulation study. Proceedings of XVI International Coal Preparation Congress. Lexington. USA, s. 562 – 570, (2010),
14. Piecuch T.: Technika wodno-mułowa, urządzenia i procesy. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne Warszawa (2010),
15. Połulach A.D., Berlin A.M., Pieriewa A.J., Szawarskij J.T., Połulach O.W.: Obogaszczanie uгля s primieniem pnevmaticzeskich separatorów. Monografia, Wyd. Nacionalnyj gornyj uniwersytet, Dniepropietrowsk, s. 568, (2014),
16. Prospekt firmy Tangshan Shenzou Machinery Co Ltd., Chiny 2012.
17. Shen L.: The compound dry cleaning machine and its application. Proceedings of the XIV International Coal Preparation Congress and Exhibition. Johannesburg Sandton, RPA, s. 419 – 423 (2002),
18. Sobko W., Baic I., Blaschke W.: Depozyty mułów węglowych – inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa; Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, Część 2, s. 1405 – 1417, (2011).