Zeszyty Naukowe

Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

nr 78, rok 2010

Wiesław BLASCHKE*, Ireneusz BAIC**, Józef SZAFARCZYK***

Prognozowanie parametrów jakościowych odpadów powstających podczas grawitacyjnego wzbogacania węgli kamiennych

Streszczenie: W artykule zasygnalizowano problem przewidywania parametrów jakościowych odpadów wydzielanych w trakcie wzbogacania węgli kamiennych. Odpady są źródłem surowców skalnych powszechnie wykorzystywanych w różnych gałęziach gospodarki. Jakość odpadów ma znaczenie dla poszczególnych ich użytkowników. W obecnych warunkach przemysłowych nie prognozuje się zawartości poszczególnych składników trafiających do odpadów. Ogranicza to możliwości ich oferowania poszczególnym zainteresowanym. Autorzy stwierdzają możliwość opracowania metody prognozowania określonych parametrów jakościowych odpadów.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, wzbogacanie, jakość odpadów

Forecasting of quality parameters of wastes generated during hard coal gravity separation

Abstract: Paper deals with a problem of forecasting the quality parameters of wastes separated during hard coal preparation. Wastes are a source of rock materials commonly used in several branches of economy. Wastes quality is important for their users. In current industrial conditions the content of particular components in those wastes is not forecasted. This fact limits the possibilities of offering the wastes to potential users. Authors state that it is possible to elaborate a method of forecasting particular quality parameters of wastes.

Key words: hard coal, preparation, quality of wastes

* Prof. dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; Centrum Gospodarki Odpadami IMBIGS, Katowice; e-mail: viesbla@min-pan.krakow.pl

** Dr inż., *** Mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Centrum Gospodarki Odpadami, Katowice

Wprowadzenie

W Centrum Gospodarki Odpadami, Oddział Zamiejscowy Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Katowicach podjęto, w ramach działalności statutowej, prace mające na celu opracowanie metody prognozowania parametrów jakościowych produktów odpadowych wytwarzanych w górnictwie węgla kamiennego w trakcie wzbogacania miałów energetycznych.

Produkty odpadowe (mimo ich w zasadzie nieprawidłowej nazwy) są poszukiwanym materiałem skalnym wykorzystywanym w wielu gałęziach przemysłu. Jakość tych produktów różni się bardzo nawet wśród tych pochodzących z tej samej kopalni (zakładu przeróbczego). Ich parametry jakościowe można regulować wydzielając produkt pośredni. Takiej technologii jeszcze się nie prowadzi, gdyż w zakładach przeróbczych nie zwraca się uwagi na możliwość dostosowania parametrów jakościowych produktów odpadowych do wymagań poszczególnych użytkowników. Wynika to też z faktu, że dotychczas nie opracowano metody prognozowania parametrów jakościowych produktów odpadowych.

W dostępnej literaturze krajowej i światowej problemy prognozowania jakości produktów wzbogacania są niezmiernie rzadko poruszane. Spotyka się prace prognozujące rezultaty wzbogacania węgla pod kątem możliwych do otrzymania w koncentracie zawartości popiołu. Zawartość popiołu jest w dużym przybliżeniu związana z gęstością ziarn węglowych. Nie jest to zależność liniowa, lecz najczęściej jest to krzywa będąca fragmentem paraboli lub hiperboli (spotyka się też inne rozkłady funkcyjne). Wszystkie znane autorom niniejszej pracy publikacje analizują wyłącznie zawartość popiołu możliwą do otrzymania w koncentracie w warunkach przemysłowych.

W praktyce przemysłowego wzbogacania węgla nie prognozuje się zarówno jakości koncentratów jak i odpadów w zależności od dokładności procesów wzbogacania. Jakość tych produktów bada się po fakcie przeprowadzenia rozdziału na koncentrat i odpady. Wówczas też określa się ich kierunki gospodarczego wykorzystania. Parametry jakościowe koncentratów wskazują potencjalnych odbiorców, których układy nawęglania i parametry grawitacyjne są przystosowane do użytkowania węgla tej jakości. Parametry jakościowe odpadów są rezultatem wynikającym z przyjętej gęstości rozdziału (właściwej dla uzyskania koncentratu), dokładności wzbogacania oraz charakterystyki technologicznej węgla surowego podawanego do procesów rozdziału.

W niniejszym artykule autorzy prezentują pierwsze rozważania na temat prognozowania jakości odpadów.

1. Składniki urobku węglowego

Urobek węglowy składa się z mieszaniny ziarn węglowych o różnej zawartości popiołu, przerostów ziarn węglowych ze skałą płonną, łupków, surowców skalnych. Badania jakości urobku prowadzi się najczęściej określając zawartość popiołu, zawartość siarki, wartość opałową. Są to bowiem składniki, które decydują o cenie węgla. Pozostałe minerały są rzadko badane, a analizuje się je głównie na żądanie niektórych użytkowników węgla. Część niepożądanych w koncentratach węglowych składników podaje się w ofertach sprzedaży.

Składniki interesujące potencjalnych użytkowników produktów odpadowych w zasadzie nie są analizowane. Należy tu przypomnieć, że w węglu (urobku węglowym) występują minerały, które można ująć w następujące grupy [1]:

I. Krzemiany
- — Kwarc SiO_2
- — Chalcedon SiO_2
- — Opal $SiO_2 \cdot nH_2O$

II. Glinokrzemiany sodu i potasu (skalenie)
- — Ortoklaz K ($AlSi_3O_8$)
- — Albit Na ($AlSi_3O_8$)

III. Glinokrzemiany uwodnione (minerały ilaste)
- — Kaolinit $Al_4 \cdot [(OH)_8Si_4O_{10}]$
- — Montmorillonit $Al_2 \cdot [(OH)_2Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$
- — Illit $K_2(Al_2Fe^{3+}Mg_5) \cdot [(OH)_2(AlSi_3O)10]$
- — Alofan $xAl_2O_3 \cdot ySi_2O_2 \cdot zH_2O$

IV. Węglany
- — Kalcyt $CaCO_3$
- — Dolomit $CaMg(CO_3)_2$
- — Ankeryt (CaMg, Fe, Mn) $(CO_3)_2$
- — Syderyt $FeCO_3$
- — Smitsonit $ZnCO_3$
- — Cerusyt $PbCO_3$

V. Siarczki
- — Melnikowit FeS_2
- — Piryt FeS_2 (układ krystalograficzny – regularny)
- — Markasyt FeS_2 (układ krystlograficzny – rombowy)
- — Sfalerytyt ZnS
- — Galena PbS
- — Chalkozyn Cu_2S
- — Chalkopiryt $CuFeS_2$

VI. Siarczany
- — Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
- — Epsomit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
- — Melanteryt $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
- — Jarosyt $K_2SO_4 \cdot 3Fe_2O_6 \cdot 6H_2O$
- — Celestyn $SrSO_4$
- — Anhydryt $CaSO_4$
- — Baryt $BaSO_4$

VII. Wodziany i wodorotlenki
- — Limonit $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$
- — Getyt $Fe_2O_3 \cdot H_2O$
- — Lepidokrokoit FeO(OH)
- — Hydrargilit $Al(OH)_3$
- — Diaspor $Al_2O_3 \cdot H_2O$
- — Hematyt Fe_2O_3

VIII. Chlorki
— Halit NaCl
— Sylwin KCl
IX. Fosforany
— Apatyt Ca_5 [(F, Cl, OH) $(PO_4)_3$]
— Fosforyt (podolit) $3Ca_3(PO_4)_2$
X. Huminiany i siarczany sodu, potasu, wapnia, magnezu i żelaza
XI. Siarka elementarna S

Wymienione powyżej związki stanowią przeważnie część substancji mineralnych wszystkich węgli i są źródłem popiołu. Oprócz wymienionych związków w węglu, w śladowych ilościach występują jeszcze różnorodne pierwiastki. Wymienić tutaj należy: ind (In), kadm (Cd), tal (Tl), beryl (Be), lit (Li), rubid (Rb), cez (Cs), skand (Sc), tytan (Ti), chrom (Cr), kobalt (Co), itr (Y), nikiel (Ni), gal (Ga), german (Ge), lantan (La), cyrkon (Zr), molibden (Mo), cyna (Sn), wolfram (W), ołów (Pb), lutet (Lu), niob (Nb), miedź (Cu), srebro (Ag), tantal (Ta), uran (U), cynk (Zn), bor (B).

Wymienione powyżej składniki trafiają do produktów wzbogacania (koncentrat, produkt pośredni, odpady) w zależności od głębokości wzbogacania. Przez głębokość wzbogacania rozumie się gęstość ośrodka, w którym przebiega proces rozdziału na wymienione powyżej produkty.

Zawartości tych składników w produktach zależą także, a może przede wszystkim, od ich zawartości w poszczególnych frakcjach gęstościowych urobku. Badania rozkładu składników nazywa się analizą gęstościową lub analizą densymetryczną.

2. Analiza densymetryczna urobku węglowego

Analiza densymetryczna polega na rozdziale urobku (o określonej względami praktycznymi klasie ziarnowej) na frakcje gęstościowe w warunkach laboratoryjnych. Można tu przypomnieć, że rozdział ten odbywa się w kadziach wypełnionych roztworami (najczęściej) chlorku cynku.

Kadzie ustawia się w szeregu w kolejności wzrastających gęstości roztworów. Roztwory chlorku cynku posiadają kolejno gęstość 1,30; 1,35; 1,40; 1,45; 1,50; 1,60; 1,80; 2,00 g/cm^3. Czasami przygotowuje się roztwory o pośrednich gęstościach lub też opuszcza się niektóre gęstości.

Badany urobek węglowy umieszcza się w koszu wykonanym z siatki o oczkach mniejszych od 1,0 mm, a następnie zanurza w kolejnych kadziach począwszy od najniższej gęstości. Ziarna lżejsze wypływają na powierzchnię roztworu i są zbierane. Następnie kosz przenosi się do kolejnej kadzi i zbiera się wypływające ziarna.

Proces powtarza się, a w ostatniej kadzi pozostają na dnie kosza najcięższe ziarna urobku, którymi są czyste ziarna kamienia. Zebrane frakcje przemywa się (w celu usunięcia chlorku cynku), a następnie kieruje do analiz chemicznych, mających na celu określenie zawartości interesujących nas składników.

W tabelach 1 i 2 zestawiono, wykorzystując dane z publikacji [18], przykładowe wyniki rozdziału próby węgla surowego w laboratoryjnych cieczach ciężkich o podanych w pierw-

szej kolumnie gęstościach. Następnie określono wychód każdej frakcji i przeprowadzono analizy na zawartości następujących składników:

— Q_i^a – wartość opałowa w stanie powietrzno-suchym,
— A^a – zawartość popiołu w stanie powietrzno-suchym,
— S_t^a – siarka całkowita w stanie powietrzno-suchym,
— S_p^a – siarka pirytowa w stanie powietrzno-suchym,
— Cl^a – chlor w stanie powietrzno-suchym,
— P^a – fosfor w stanie powietrzno-suchym,
— SiO_2 – tlenek krzemu,
— Al_2O_3 – tlenek glinu,

TABELA 1. Rozdział próbki węgla surowego na frakcje gęstościowe i określenie w nich wybranych składników (modyfikacja danych zamieszczonych w pracy [18])

TABLE 1. Separation of raw coal sample into density fractions and determination of selected components concentration (modification of the data published in the work [18])

Frakcja gęstościowa g/cm³	Wychód frakcji %	Q_i^a MJ/kg	Zawartość składników				
			A^a %	S_t^a %	S_p^a %	Cl^a %	P^a %
>2,00	18,00	4,0	74,72	1,39	1,07	0,287	0,0228
2,00–1,60	16,00	15,8	43,79	1,09	0,59	0,285	0,0478
1,60–1,50	11,00	22,2	27,46	1,11	0,46	0,267	0,0744
1,50–1,45	6,00	25,6	18,71	1,01	0,36	0,202	0,0874
1,45–1,40	9,00	27,0	15,01	0,94	0,33	0,170	0,0859
1,40–1,35	16,00	28,4	11,43	0,90	0,27	0,184	0,0714
1,35–1,30	21,00	31,4	4,36	0,63	0,13	0,104	0,0282
<1,30	3,00	32,8	2,60	0,45	0,08	0,154	0,0069

Frakcja gęstościowa g/cm³	Wychód frakcji %	Zawartość składników						
		SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	Na_2O %	K_2O %
>2,00	18,00	41,32	20,40	4,99	1,27	1,70	0,20	2,53
2,00–1,60	16,00	21,58	13,72	2,43	1,23	1,13	0,16	1,39
1,60–1,50	11,00	13,01	8,80	1,60	0,90	0,69	0,11	0,80
1,50–1,45	6,00	8,71	6,05	1,08	0,62	0,43	0,09	0,51
1,45–1,40	9,00	6,82	4,79	0,91	0,57	0,37	0,08	0,41
1,40–1,35	16,00	5,10	3,50	0,75	0,51	0,30	0,07	0,29
1,35–1,30	21,00	1,83	1,27	0,32	0,26	0,12	0,04	0,10
<1,30	3,00	1,07	0,68	0,25	0,17	0,08	0,03	0,05

— Fe_2O_3 – tlenek żelaza,
— CaO – tlenek wapnia,
— MgO – tlenek magnezu,
— Na_2O – tlenek sodu,
— K_2O – tlenek potasu.

Frakcje >2,0 g/cm^3 powinny być czystymi produktami odpadowymi (zawartość popiołu w zakresie 74,72–80,90%), natomiast frakcje 2,0–1,6 g/cm^3 są frakcjami odpadowymi zawierającymi także łupki przywęgłowe oraz zrosty węglowo-kamienne (zawartość popiołu w zakresie 41,14–43,79%).

TABELA 2. Rozdział próbki węgla surowego na frakcje gęstościowe i określenie w nich wybranych składników (modyfikacja danych zamieszczonych w pracy [18])

TABLE 2. Separation of raw coal sample into density fractions and determination of selected components concentration (modification of the data published in the work [18])

Frakcja gęstościowa g/cm^3	Wychód frakcji %	Q_i^a MJ/kg	Zawartość składników				
			A^a %	S_t^a %	S_p^a %	Cl^a %	P^a %
>2,00	28,00	2,4	80,90	0,87	0,81	0,138	0,0389
2,00–1,60	14,00	15,8	41,14	0,86	0,52	0,266	0,0719
1,60–1,50	8,00	21,7	26,00	0,71	0,27	0,195	0,0477
1,50–1,45	4,00	24,4	17,53	0,57	0,25	0,164	0,0375
1,45–1,40	6,00	25,5	14,58	0,56	0,23	0,159	0,0401
1,40–1,35	17,00	27,2	9,33	0,55	0,19	0,138	0,0403
1,35–1,30	22,00	29,0	4,27	0,50	0,10	0,093	0,0449
<1,30	2,00	29,0	2,50	0,49	0,09	0,090	0,0449

Frakcja gęstościowa g/cm^3	Wychód frakcji %	Zawartość składników						
		SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	Na_2O %	K_2O %
>2,00	28,00	49,64	18,83	4,67	0,85	1,62	0,32	2,65
2,00–1,60	14,00	22,03	10,68	2,37	1,35	1,23	0,20	1,28
1,60–1,50	8,00	14,46	6,89	1,41	0,57	0,57	0,14	0,76
1,50–1,45	4,00	9,63	4,82	0,94	0,34	0,37	0,11	0,50
1,45–1,40	6,00	7,77	4,12	0,86	0,32	0,32	0,09	0,41
1,40–1,35	17,00	4,73	2,69	0,58	0,27	0,22	0,06	0,23
1,35–1,30	22,00	1,82	1,30	0,32	0,20	0,12	0,03	0,08
<1,30	2,00	1,07	0,76	0,18	0,12	0,07	0,02	0,05

Frakcje poniżej 1,35 g/cm^3 są praktycznie czystymi ziarnami węglowymi o niedużej zawartości wewnętrznej popiołu. Frakcje 1,4–1,6 g/cm^3 zawierają ziarna o podwyższonej zawartości popiołu.

Analizując przykładowe tabele łatwo zauważyć, że są one ułożone (kolejne wiersze) w inny sposób niż tradycyjne tabele danych krzywych wzbogacalności. Z punktu widzenia użytkowników odpadów wiersze ustawiono w kolejności malejących gęstości poszczególnych frakcji.

Zestawione w tabelach 1 i 2 wyniki rozdziału gęstościowego są rezultatami najdokładniejszego rozdziału w warunkach laboratoryjnych. W warunkach przemysłowych nie ma możliwości uzyskania produktów, które będą prostą sumą (średnie ważone) frakcji uzyskanych jako koncentrat, odpady czy produkt pośredni. Powodem tego jest mniejsza dokładność procesów rozdzielczych w przemysłowych urządzeniach wzbogacających.

Na skutek niedokładności pracy maszyn wzbogacających, niedokładności ich obsługi, przeciążeniem lub niedociążeniem wzbogacalników, czasem przebywania materiałów we wzbogacalniku, zmiennym składem gęstościowym nadawy, różnicami w wielkości i kształcie wzbogacanych ziarn, czasowego uszkodzenia maszyn czy konstrukcją wzbogacalników do poszczególnych produktów trafiają ziarna niewłaściwe. Oznacza to, że do koncentratu trafiają ziarna, które powinny znaleźć się w produktach odpadowych i odwrotnie. Im mniejsza dokładność rozdziału tym więcej ziarn niewłaściwych trafia do poszczególnych produktów. Zjawisko to jest nieuchronne, a ilość ziarn niewłaściwych w określonych produktach zmniejszyć można przez przestrzeganie reżimu wzbogacenia lub poprzez wymianę maszyn na urządzenia o większej dokładności wzbogacania [2]. Brak weryfikacji zmieniających się warunków (zmiana składu ziarnowego nadawy, zmiana głębokości wzbogacania, wymiana – w trakcie modernizacji zakładów – urządzeń wzbogacających itp.) powoduje w wielu przypadkach zaskoczenie kierownictwa zakładów uzyskiwanymi rezultatami technologicznymi i ekonomicznymi wzbogacania. Dotyczy to parametrów jakościowych otrzymywanych koncentratów. Parametrów jakościowych produktów odpadowych nikt nie prognozował. Z tego też powodu zdarzały się przypadki, że odbiorcy tych produktów odpadowych rezygnowali z ich zakupu.

Istnieją podstawy teoretyczne prognozowania jakości produktów wzbogacania, a w zasadzie prognozowania parametrów jakościowych odpadów.

3. Prognozowanie parametrów jakościowych

Przewidywanie wyników wzbogacania węgla kamiennego w warunkach przemysłowych powinno być jednym z najważniejszych problemów wymagających rozwiązania w trakcie projektowania zakładów przeróbczych, wymiany maszyn wzbogacających, zmiany reżimu prowadzenia procesu wzbogacania czy zmiany charakterystyk technologicznych urobku węglowego (nadawy na zakład przeróbczych).

Zagadnienie przewidywania rezultatów wzbogacania węgla w warunkach przemysłowych jest problemem, który od wielu lat był przedmiotem wymienionych poniżej prac. W okresie międzywojennym spodziewane rezultaty procesu przemysłowego określano na podstawie złożonych przeliczeń tzw. trójkąta błędów (odchylenia rzeczywistych zawartości popiołu w produktach wzbogacania od teoretycznie zakładanych zawartości przy danym

wychodzie). Po opublikowaniu prac Trompa i Terry zarzucono metodę trójkąta błędów, opracowując szereg sposobów przeliczania krzywych wzbogacalności na krzywe wzbogacania wykorzystując założenie, że rozproszenie ziarn pomiędzy frakcjami ma charakter rozkładu Gaussa [3]. Zagadnieniu temu poświęcone były między innymi prace Budryka [4], Raineau i Belugou [3], Belugou, Soul'a i Ouyahia [3], Lemkego [5], Helfrichta i Pudły [6], Blaschke W. [7, 8]. Najczęściej stosowane sposoby opisano w pracach: Stępiński [9], Blaschke S. [10], Heidenreich [11], Kozak i Cagas [12], Muszlowin [13], Nawrocki [14], Razumow [15].

Ze względu na znaczną ilość obliczeń i wykresów, a także związanym z tym czasem przeliczania współrzędnych krzywych teoretycznych (wzbogacalności) na współrzędne krzywych rzeczywistych (wzbogacania), metody te nie są wykorzystywane w normalnej działalności ruchowej.

Metody prognozowania jakości produktów wzbogacania opracowane zostały wyłącznie do prognozowania parametrów jakościowych (popiołu) koncentratów. Jest kilka sposobów wyliczania parametrów jakościowych koncentratów (metoda Trompa-Terry, metoda Budryka, graficzna metoda W. Blaschke i inne).

Dotychczas nie opracowano metody przewidywania parametrów jakościowych odpadów otrzymanych z węgli surowych o danej charakterystyce technologicznej przy różnych wskaźnikach dokładności rozdziału w osadzarkach czy w cyklonach z cieczą ciężką. Wskaźnikami tymi są rozproszenie prawdopodobne lub imperfekcja. Istnieje, zdaniem autorów, możliwość opracowania metody prognozowania jakości odpadów w zależności od charakterystyki technologicznej węgla surowego, założonych gęstości rozdziału (grawitacyjnego) na poszczególne produkty wzbogacania oraz dokładności tego procesu określonej przez rozproszenie prawdopodobne. Opracowanie tej metody jest celem podjętej pracy statutowej [19].

Podsumowanie

Proces wzbogacania grawitacyjnego można prowadzić dwuproduktowo – wydzielając koncentrat i odpady lub trójproduktowo – wydzielając dodatkowo produkt pośredni. Można więc regulować parametry jakościowe odpadów wydzielając lub niewydzielając produkt pośredni. Zależeć to będzie od charakterystyki technologicznej węgla surowego. Węgle z różnych kopalń lub z różnych pokładów różnią się swymi charakterystykami technologicznymi w bardzo znacznym stopniu. Przez charakterystyki technologiczne rozumie się związki pomiędzy parametrami jakościowymi a gęstościami frakcji ciężarowych badanych węgli. Charakterystyki te nazywa się krzywymi wzbogacalności określanymi dla interesujących nas parametrów jakościowych (zawartość popiołu, siarki, fosforu, chloru, tlenków MgO, CaO, SiO_2 i innych, a także wartości opałowej, zawartości części lotnych, pierwiastków promieniotwórczych itd.).

Celem następnych etapów pracy będzie określenie możliwości prognozowania jakości odpadów powstających w wyniku wzbogacania miałów energetycznych w warunkach przemysłowych. W warunkach krajowych miały węgla kamiennego wzbogacane są metodami grawitacyjnymi w osadzarkach (najczęściej) lub w cyklonach z cieczą ciężką (sporadycznie – 3 przypadki). Urządzenia te charakteryzują się różną dokładnością wzbogacania.

Dokładność wzbogacania (separacji koncentratu węglowego od odpadu) jest cechą charakterystyczną każdego urządzenia wzbogacającego. Przez dokładność wzbogacania rozumie się stopień trafiania ziarn niewłaściwych do poszczególnych finalnych produktów tego procesu. Oznacza to, że ziarna skały płonnej trafiają do koncentratu i odwrotnie – ziarna węglowe trafiają do odpadów. Zjawisko to powoduje, że koncentraty węglowe są zanieczyszczone skałą płonną (lub przerostami węglowo-kamiennymi), a do odpadów trafiają ziarna węglowe zmieniając ich parametry jakościowe. Proces ten może powodować zmianę średnich parametrów jakościowych odpadów przeróbczych, a także wpływać w ten sposób na kierunki ich gospodarczego wykorzystania (zagospodarowania). Zawartość substancji palnej w odpadzie może być niekorzystna, np. w trakcie ich składowania może spowodować powstanie zagrożenia pożarowego i w konsekwencji zjawisko palenia się hałd.

Realizacja dalszych etapów pracy będzie miała także znaczenie praktyczne. Umożliwi bowiem przewidywanie parametrów jakościowych odpadów dla różnych gęstości rozdziału i różnych dokładności procesów wzbogacania. Dla uzyskania pożądanych parametrów jakościowych odpadów będzie można podejmować decyzje o ilości wydzielanych produktów, gęstości rozdziału lub do koniecznych zmian urządzeń wzbogacających na urządzenia o pożądanych wskaźnikach dokładności wzbogacania.

Literatura

[1] Górska L., Mokrzycki E., Suwała W., 1986 – Kontrola procesów technologicznych. Laboratorium z analizy technicznej węgla kamiennego. Skrypt AGH nr 1045. Kraków.

[2] Blaschke W., 2009 – Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wyd. IGSMIE PAN. Kraków.

[3] NOTES TECHNIQUES CHERCHAR. Paryż. 1948 nr 3 – Etude experimentale du lavage des fines au bac, 1948 nr 6 – Representation d'une separation effectuee sur un charbon, 1948 nr 11 – Etude du fouctionnement du cyclone epurateur, 1949 nr 3 – Etudes effectuees dans lavoir de bassins, 1949 nr 4 – Representation practiąue des resultats d'une epuration de charbon, 1949 nr 11 – Lavage par centrifugation en milieu dense – Essai semi-industriel a Góttelborn (Sarre), 1950 nr 5 – Possibilite theoretiąue de lavage. 1951 nr 14 – Influence la courbe de lavabilite sur la fobctiomement d'un bać a piston, 1952 nr 1 – Application de la theorie des possibilites de lavage a l'etude de la valorisation du charbon, 1953 nr 3 – Machinę a calculer les possibilites de lavage.

[4] Budryk W., 1949 – Wyniki działania płuczek i wialni w świetle teorii. Przegląd Górniczy nr 9 i 10, Katowice, Wybór pism W. Budryka Tom II. 1977, PWN. Kraków.

[5] Lemke K., 1958 – Determining the Optimum Ash Content of Blast – Furnace Coke and the Optimum Moisrure of Coking Coal. III Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, ref. A-2, Bruksela–Liege.

[6] Helfricht R., Pudło W., 1965 – Korelacja rozkładów ziarn mineralnych występujących w procesach przeróbczych z rozkładami Gaussa i Persona. Mat Konf.: Problemy naukowe w przeróbce mechanicznej kopalin, s. 31–42, AGH, Wyd. SITG, Katowice.

[7] Blaschke W., 1977 – Przewidywanie rezultatów wzbogacania węgla. Zeszyty naukowe AGH nr 551, Kraków.

[8] Blaschke W., 1981 – Metoda prognozowania ekonomicznych efektów grawitacyjnego wzbogacania węgli koksowych. Zeszyty naukowe AGH nr 106. Kraków.

[9] Stępiński W., 1964 – Wzbogacanie grawitacyjne. PWN. Warszawa.

[10] Blaschke S., 1954/1955 – Technologia i technika przeróbki mechanicznej kopalin użytecznych tom I–II. Wyd. Górniczo-Hutnicze, Katowice.

[11] Heidenreich H., 1954 – Die Erfolgsrechnung im Aufbereitungsbetreib. Essen.

[12] Kozak J., Cagaś Z., 1965 – Hodnoceni upravitelnosti a zpusobu upravy nerostnych surovin. SNTL/SYTL, Praha.

[13] Muszłowin L.B., 1963 – Opriedelenije i ocenka riezultatow obogaszczenija na ugleobogatitielnych maszinach. Gosgortiechizdat, Moskwa.
[14] Nawrocki J., 1965 – Matematyczna i przybliżona metoda obliczeń krzywych płukania. Biuletyn Zag. Przer. Mech. Węgla. SEPARATOR nr 1i 2, Katowice.
[15] Razumow K.A., 1970 – Projektirowanije obogatitielnych fabrik. Niedra, Moskwa.
[16] Blaschke S., 1975 – Metoda kompleksowej oceny przydatności energetycznej węgli zasiarczonych. Zeszyty Naukowe AGH nr 473, Górnictwo z. 66, Kraków.
[17] Blaschke W., 1970 – Krzywe charakterystyki cieplnej węgla energetycznego. Biul. Zag. Przer. Mech. Węgla, SEPARATOR nr 3, Katowice.
[18] Róg L., 2009 – Możliwości wykorzystania zespołów krzywych wzbogacalności do oceny właściwości fizykochemicznych koncentratów węgli kamiennych. Przegląd Górniczy nr 7–8, s. 96–100, Wyd. SITG. Katowice.
[19] Opracowanie metody prognozowania parametrów jakościowych odpadów powstających w wyniku grawitacyjnego wzbogacania energetycznego węgla kamiennego. Praca statutowa IMBIGS Nr 14-70/411-01-10. Etap I. Katowice 2010.