



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

### **Matematyczny model pracy powietrznego stołu koncentracyjnego typu FGX**

Streszczenie: Nowe konstrukcyjne rozwiązania powietrznych stołów koncentracyjnych znajdują powszechne zastosowanie w Chinach oraz są badane i wykorzystywane w kilkunastu innych krajach m.in. w USA, RPA, Turcji, Mongolii, Brazylii, Indonezji i Rosji. W Polsce badania prowadzone są w Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Prace te pokazały możliwość efektywnego odkamieniania węgla kamiennych pochodzących z krajowych kopalń. Proces rozdziału ziarn wg gęstości na powietrznych stołach koncentracyjnych jest złożony technologicznie. Różni się od procesu wzbogacania na tradycyjnych stołach. Teoretyczne podstawy procesu nie były dotychczas wystarczająco opracowane. Analizowano jedynie rozdział ziarn analogicznie do procesu klasyfikacji we wznoszącym się strumieniu powietrza. Pierwszą próbę dokładniejszego opisu ruchu ziarn w nowych rozwiązaniach stołów koncentracyjnych podjął prof. He Jianing z Instytutu w Kunming (Yunan – Chiny).

W artykule przytoczono rozważania nad siłami działającymi na ziarno mineralne spoczywające na płycie roboczej oraz na ziarno zawieszane w warstwie fluidalnej dotykające tylną płytę roboczą separatora. Wyprowadzono równania ruchu tych ziarn w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi podłużnej płyty roboczej.

Słowa kluczowe: powietrzny stół koncentracyjny, ruch ziarn mineralnych, matematyczny model pracy

### **Mathematical Model of the Fgx Type Compound Air Concentrating Table**

Abstract: New construction solutions air concentrating tables are widely used in China and have been tested and used in several other countries. In Poland, the study has been conducted at the Institute of Mechanised Construction & Rock Mining - Center of Waste & Environmental Management. This work demonstrated the ability for the effective deshaling of hard coal from Polish coal mines. The process of particles' separation by air concentrating tables density is technologically complicated.

It differs from the enrichment process on conventional tables. The theoretical basis of the process has not yet been sufficiently developed. We analysed only the grain distribution analogous to the classification process of

\* Dr inż., \*\* Mgr inż., \*\*\* Prof. dr hab. inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego; e-mail: viesbla@min-pan.krakow.pl

the rising air stream. The first attempt to accurately describe the motion of particles in new construction solutions air concentrating tables were made by Professor He Jianing from the Institute in Kunming (Yunan - China). The article quoted reflections on the forces acting on the mineral grain resting on the table deck and grain suspended in a fluidized bed touching the back plate of a table deck. Moreover, there were derived equations of motion of particles in a vertical plane perpendicular to the longitudinal axis of the table deck.

Keywords: air concentrating table, movement of mineral grains, a mathematical work model

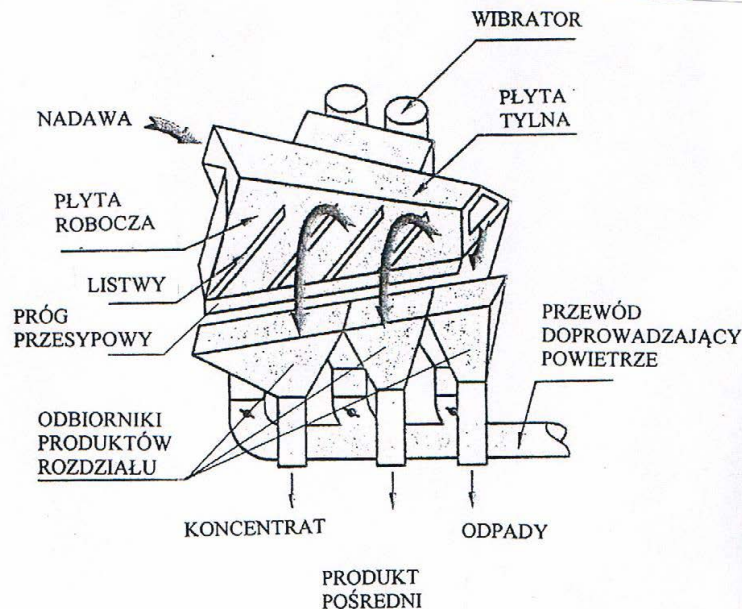
## 1. Wprowadzenie

Powietrzne stoły koncentracyjne znajdują coraz szersze zastosowanie w procesach wzbogacania węgla kamiennego. Nowoczesne konstrukcje stołów różnią się od tradycyjnych rozwiązań (Blaschke 2013, 2014), w których perforowana płyta robocza była ulistwiona i wykonywała ruch posuwisto-zwrotny. Nowoczesne stoły posiadają wprawdzie listwy, ale jest ich kilka i są zamocowane w poprzek płyty roboczej pod pewnym kątem. W tradycyjnych stołach listwy są zamocowane w zasadzie równolegle do osi płyty roboczej, choć spotykane są ulistwienia pod kątem. Przykłady takich rozwiązań pokazano w pracy (Baic i in. 2014C). Listwy w tych rozwiązaniach ułożone są do siebie równolegle i jest ich kilkanaście bądź kilkadziesiąt. W tradycyjnych rozwiązaniach i jak już wspomniano, płyta robocza wprawiana jest w ruch posuwisto-zwrotny. W nowoczesnych rozwiązaniach płyta tylna umocowana pod pewnym kątem do płyty roboczej, otrzymuje drgania (wibracje) od wibratora.

Schemat powietrznego stołu koncentracyjnego pokazano na rysunku 1. Przedstawiony jest na nim jedynie moduł wzbogacania. Szczegółowy opis instalacji powietrznej separacji składający się z modułów: zasilania, klasyfikacji, rozdrabniania, wzbogacania i sterowania, opisano w pracach (Sobko i in. 2014; Baic i in. 2013B). Zasadę rozdziału ziarn wg gęstości opisano w artykułach (Szafarczyk i in. 2014B; Baic i in. 2015A; Blaschke 2014).

Powietrzne stoły koncentracyjne wdrożone w kilkunastu krajach, nazywane są technologią XXI wieku (Ghost i in. 2013). Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne powstały na przełomie XX i XXI wieku. Konstrukcję opracowała chińska firma Tangshan Shenzhou Manufacturing Group (Tangshan 2012). Wykonano już ponad 2000 egzemplarzy o różnej wydajności (od 10 t/h do 1000 t/h). Większość tych instalacji pracuje w Chinach (ponad 1800). Prostota rozwiązań, system skutecznego odpylania urobku, niskie koszty inwestycyjne a także bardzo niskie koszty ruchowe spowodowały, że otworzono ośrodki badawcze w USA i w Australii (Tangshan 2015). W Polsce, pierwsza w Unii Europejskiej (Szafarczyk i in. 2014A) instalacja została zakupiona przez IMBiGS i zmontowana na terenie ZG „Sobieski”, gdzie prowadzono pilotowe badania nad możliwością implementacji stołów w krajowych kopalniach węgla kamiennego (Baic i in. 2013A, 2014A; 2014B; Szafarczyk i in. 2014B; Blaschke i in. 2015; Baic i in. 2015B; prace IMBiGS 2012). Obecnie instalacja znajduje się na terenie ZG „Janina”. Oba zakłady górnicze wchodzi w skład Tauron Wydobywanie SA.

Mimo prostoty urządzenia, sam proces rozdziału ziarn według gęstości jest złożony technologicznie. Podstawy teoretyczne procesu wzbogacania oparte były dotychczas na rozważaniach prędkości opadania ziarn w powietrzu (Blaschke 2014). Bardziej szczegółowe rozważania nad zachowaniem się ziarn w procesie separacji prowadzono w Electromechanical Engineering College w University of Science and Technology w Kunming City prowincji Yunnan w Chinach.



Rys. 1. Schemat powietrznego stołu koncentracyjnego

Fig. 1. Sketch map of compound dry coal clearing machine

W niniejszym artykule przytoczono rozważania nad ruchem ziarna mineralnego znajdującego się na powierzchni płyty roboczej i ziarna zawieszonoego w warstwie sfludyzowanej nad powierzchnią płyty roboczej. Analizowano siły działające na ziarna oraz opracowano modele matematyczne (równania) ruchu ziarn mineralnych. Prace w tym zakresie prowadził profesor He Jianing z wymienionego uniwersytetu. Rozważania opublikowane zostały w trudno dostępnym czasopiśmie w artykule (He Jianing 2006).

Model opracowany został na analizie ruchu ziarn w płaszczyźnie pionowej przekroju stołu. Ruch ten został pokazany na rysunku 2.

## **2. Siły działające na ziarna znajdujące się w przestrzeni roboczej powietrznego stołu koncentracyjnego**

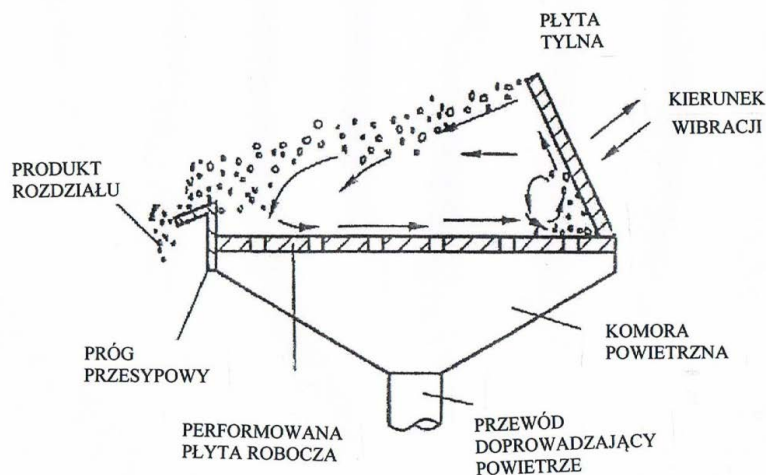
Analizę rozkładu sił działających na ziarna mineralne dokonano na przykładzie ziarna, które znajduje się na powierzchni płyty roboczej stołu (rys. 3a) lub ziarna, które jest zawieszonoego w warstwie fluidalnej nad powierzchnią płyty roboczej i dotyka tylną część płyty roboczej separatora (rys. 3b). Na rysunkach 3a i 3b przedstawiono przekrój poprzeczny części roboczej stołu.

UWAGA: Na rysunkach przedstawiono działające siły w przekroju poprzecznym przestrzeni roboczej powietrznego stołu koncentracyjnego.

Niezależnie od miejsca położenia na ziarna mineralne działają następujące rodzaje sił:

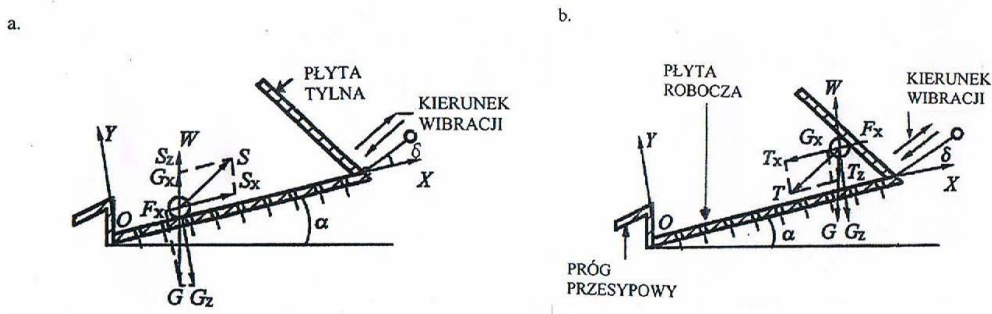
$G$  – siła ciężkości,

$S$  – siła bezwładności wibracji wytworzona przez ziarna mineralne,



Rys. 2. Przemieszczanie się ziarn w płaszczyźnie pionowej przekroju stołu (przekrój prostopadły do osi płyty roboczej)

Fig. 2. The turning and discharging and separating principle of materials during helical motion



Rys. 3. Rozkład sił działających podczas procesu separacji

a) ziarno znajdujące się na powierzchni płyty roboczej

b) ziarno znajdujące się nad powierzchnią płyty roboczej dotykające tylną część płyty separatora

Fig. 3. Stress analysis of mineral particles in the cross section of the separating bed

a. Stress analysis of mineral particles in the cross section of the separating bed

b. Stress analysis of mineral particles above the separating bed

$W$  – siła wyporu wznoszącego się strumienia powietrza,

$F_x$  – składowa siły tarcia w kierunku osi X,

$N$  – wypadkowa sił ciężkości, bezwładności i wyporu oddziaływująca na ziarna mineralne,

$T$  – siła naporu pochodząca od tylnej płyty stołu (zakłada się, że siła ta przenosi się na ziarna niedotykające tylnej płyty przez kontakt z innymi ziarnami będącymi w stanie zawieszenia, siła naporu ma kierunek przeciwny niż siła bezwładności),

które wyrażone są następującymi wzorami:

$$G = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \quad (1)$$

$$S = m \omega^2 \lambda \sin \varphi \quad (2)$$

$$W = \psi d^2 v^2 \rho \quad (3)$$

$$F_x = N f \quad (4)$$

$$N = G_z - W - S_z \quad (5)$$

$$T = -k \cdot S \quad (6)$$

Symbole występujące w powyższych wzorach oznaczają:

- $g$  – przyspieszenie ziemskie,
- $d$  – średnia wielkość ziarna mineralnego,
- $\rho_s$  – gęstość ziarna mineralnego,
- $\rho$  – gęstość powietrza,
- $m$  – masa ziarna mineralnego,
- $\omega$  – częstotliwość kątowna wibracji,
- $\lambda$  – amplituda wibracji,
- $\varphi$  – kąt fazowy wibracji,
- $\psi$  – współczynnik tłumienia,
- $v$  – prędkość wznoszącej strugi powietrza,
- $f$  – współczynnik tarcia,
- $k$  – współczynnik korekcyjny, o wartości:  $0 < k < 1$ .

Ponieważ płyta robocza jest ustawiona pod pewnym kątem, na ziarno oddziałują składowe tych sił działające wzdłuż osi X.

$$G_x = G \cdot \sin \alpha = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

$$S_x = S \cdot \cos \delta = m \omega^2 \lambda \sin \varphi \cos \delta \quad (8)$$

$$F_x = N f = (G_z - W - S_z) f \quad (9)$$

$$T_x = T \cdot \cos \delta = -k \cdot S \cdot \cos \delta \quad (10)$$

gdzie:

- $G_z$  – składowa siły ciężkości działająca wzdłuż osi Y,
- $S_z$  – składowa siły bezwładności działająca wzdłuż osi Y,
- $W$  – siła wyporu wznoszącego się strumienia powietrza,
- $\delta$  – kąt pomiędzy kierunkiem wibracji a osią X,
- $\alpha$  – kąt nachylenia płyty roboczej stołu, o wartości:  $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ .

Siły  $G_z$ ,  $S_z$  i  $W$  wyrażone są wzorami:

$$G_z = G \cdot \cos \alpha = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

$$S_z = S \cdot \cos \varphi = m \omega^2 \lambda \cos \varphi \quad (12)$$

$$W = \psi d^2 \rho \quad (13)$$

Tak więc wzór (9) określający składową siły tarcia w kierunku osi X przyjmuje postać:

$$F_x = \left[ \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cos \alpha - \psi d^2 v^2 \rho - m \omega^2 \lambda \sin \varphi \sin \delta \right] \cdot f \quad (14)$$

Zaprezentowane w punkcie 2. siły działające na ziarno znajdujące się w przestrzeni roboczej (na powierzchni płyty roboczej lub w zawieszeniu) zostały wykorzystane przy budowie mechanizmu opisującego ruch ziarn mineralnych przemieszczających się wzdłuż osi X i Y.

### 3. Równanie ruchu ziarna na powierzchni płyty roboczej

Rozpatrywany jest ruch ziarna mineralnego przemieszczającego się wzdłuż osi X na powierzchni płyty roboczej stołu koncentracyjnego. Ruch ten można wyrazić wzorem:

$$m \frac{dv_x}{dt} = S_x - G_x - F_x \quad (15)$$

Podstawiając w miejsce  $S_x$ ,  $G_x$ ,  $F_x$  podane w punkcie 2. wzory (7,8 i 14) otrzymuje się:

$$m \frac{dv_x}{dt} = m \omega^2 \lambda \sin \varphi \cos \delta - \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cdot \sin \alpha - \left[ \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cos \alpha - \psi d^2 v^2 \rho - m \omega^2 \lambda \sin \varphi \sin \delta \right] \cdot f \quad (16)$$

a zatem:

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 \lambda \sin \varphi (\cos \delta + f \sin \delta) - g (\sin \alpha + f \cos \alpha) \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} + \frac{6\psi}{\pi d} \frac{\rho}{\rho_s} v^2 f \quad (17)$$

przyjmując, że:

$$\psi' = \frac{6}{\pi} \psi \quad (18)$$

otrzymujemy równanie ruchu ziarna w postaci:

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 \lambda \sin \varphi (\cos \delta + f \sin \delta) - \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) (\sin \alpha + f \cos \alpha) g + \psi' f v^2 \frac{\rho}{\rho_s} \frac{1}{d} \quad (19)$$

Analizując równanie (19) można stwierdzić, że główny wpływ decydujący o ruchu ziarna wzdłuż osi X ma pierwszy człon równania. Drugi człon równania jest składową siły ciężkości w kierunku osi X wynikającą z nachylenia płyty roboczej stołu koncentracyjnego. Trzecia część równania jest składową naporu wraz z siłami tarcia ziarna poruszającego się wzdłuż osi X pomniejszonych o oddziaływanie wyporu płynącego strumienia powietrza.

Ponieważ gęstość powietrza ( $\rho = 0,00123 \text{ g/cm}^3$ ) jest mniejsza od gęstości ziarna ( $\rho_s \approx 1,50 \text{ g/cm}^3$ ) można przyjąć uproszczenie, że stosunek tych gęstości jest bliski zero. Przyjmując to uproszczenie równanie ruchu ziarn przedstawia się następująco:

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 \lambda \sin \varphi (\cos \delta + f \sin \delta) - g (\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (20)$$

Równanie (20) pokazuje, że ruch ziarna mineralnego w kierunku osi X (po powierzchni płyty roboczej) jest zależny od parametrów związanych z siłami pochodzącymi od wibracji płyty roboczej. A więc od kątovej częstotliwości wibracji ( $\omega$ ), amplitudy wibracji ( $\lambda$ ), kąta fazowego wibracji ( $\varphi$ ), kąta pomiędzy kierunkiem wibracji a osią X ( $\delta$ ) i współczynnika tarcia ( $f$ ). Drugi człon powyższego wzoru pokazuje, że zwiększanie wyporu płynącej strugi powietrza ma mały wpływ na ruch ziarna wzdłuż osi X, a zatem może być niezauważalny.

#### **4. Równanie ruchu ziarna nad powierzchnią płyty roboczej**

Rozkład sił oddziaływujących na ziarno mineralne znajdujące się w warstwie fluidalnej nad powierzchnią płyty roboczej stołu koncentracyjnego można przedstawić poniższym wzorem:

$$\frac{dv_x}{dt} = T_x + G_x - F_x \quad (21)$$

podstawiając w miejsce  $T_x$ ,  $G_x$ ,  $F_x$  podane w punkcie 2. (wzory 7, 9 i 10) otrzymuje się:

$$\frac{dv_x}{dt} = k \cdot S \cdot \cos \delta + G \cdot \sin \alpha - (G_z - W - S_z) \cdot f \quad (22)$$

oraz podstawiając za  $G_z$ ,  $W$ ,  $S_z$  podane uprzednio wartości można zapisać powyższą zależność w postaci:

$$\begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} = & k \cdot m\omega^2 \lambda \sin \varphi \cos \delta - \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cdot \sin \alpha - \\ & - \left[ \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho) g \cos \alpha - \psi d^2 v^2 \rho - m\omega^2 \lambda \sin \varphi \sin \delta \right] \cdot f \end{aligned} \quad (23)$$

a po przekształceniach:

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 \lambda \sin \varphi (k \cos \delta + f \sin \delta) + g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} + \frac{6\psi}{\pi d} \frac{\rho}{\rho_s} v^2 f \quad (24)$$

Analizując równanie (24), można stwierdzić, że ziarna znajdujące się nad powierzchnią płyty roboczej będą poruszać się pod wpływem naporu tylnej płyty wynikającego z usytuowania i konstrukcji tylnej części płyty konstrukcji separatora, siły ciężkości oraz dodatkowego wpływu wyporu płynącej strugi powietrza. Kluczowy, jak się okazuje, jest napór, działający na ziarno, od tylnej części płyty. Ważną, w kolejności, jest także siła ciężkości.

Przyjmując, jak uprzednio, że stosunek różnic gęstości powietrza i gęstości ziarna jest bliski zero, można równanie ruchu ziarn przedstawić w uproszczonej formie:

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega^2 \lambda \sin \varphi (k \cos \delta + f \sin \delta) + g(\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (25)$$

Równanie (25) przedstawia główne i wtórne czynniki powodujące ruch ziarna nad powierzchnią płyty roboczej stołu koncentracijnego. Pierwszy człon tego równania posiada większą wartość niż człon drugi; ma więc większy wpływ na zachowanie się ziarna.

Porównując uproszczone równania ruchu ziarn na płycie i nad płytą łatwo zauważyć, że ich przyspieszenia są w zasadzie takie same (równe). Oznacza to, że ziarna (zarówno lżejsze, jak i cięższe) będą wykonywać ruch śrubowo-obrotowy. Ruch ten pokazywany jest na rysunkach objaśniających zasadę pracy powietrznego stołu koncentracijnego (rys. 2).

## Podsumowanie

Powietrzny stół koncentracyjny charakteryzuje się złożoną technologią suchego rozdziału ziarn różniących się gęstością. Proces separacji odbywa się w medium (zawieszynie) dwufazowej. Zawieszina ta nazywana jest również złożem fluidalnym. Składa się z medium powietrze – ciało stałe. Tworzy się samoczynnie przez zawarte w nadawie urobku



węglowego drobne cząsteczki zawieszona we wznoszącym się strumieniu powietrza. Dzięki utworzeniu się warstwy fluidalnej ziarna przemieszczają się w niej w ten sposób, że ziarna ciężkie trafiają na powierzchnię płyty roboczej i przemieszczają się wzdłuż płyty roboczej. Ziarna lżejsze trafiają do górnej warstwy złoża fluidalnego i dzięki ruchowi śrubowo-obrotowemu są odprowadzane (do zbiorników produktów) kolejno wg rosnącej ich gęstości.

Przedstawiony w artykule model matematyczny, opracowany przez profesora He Jianinga, jest pierwszą próbą opisu ruchu ziarn podczas separacji na powietrznym stole koncentracyjnym. Tu trzeba dodać, że rzeczywisty rozdział ziarn odbywa się w warunkach skrzepowanych gdzie oddziałują także ziarna pomiędzy sobą. Analiza separacji ziarn w warunkach skrzepowanych nie została dotychczas zaprezentowana w dostępnych publikacjach. Należy mieć nadzieję, że prace takie będą prowadzone. Pozwoliłoby to uzyskać dokładniejsze informacje o zachowywaniu się ziarn w takich warunkach oraz zrozumieć bardzo złożony proces rozdziału ziarn w instalacjach powietrznych stołów koncentracyjnych.

## Literatura

- Baic i in. 2013A – Baic, I., Blaschke, W., Góralczyk, S., Sobko, W. i Szafarczyk, J. 2013A. Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji. Monografia: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych*. Wyd. KOMAG, Gliwice, s. 99–108.
- Baic i in. 2014A – Baic, I., Blaschke, W., Sobko, W., Szafarczyk, J. i Okarmus, P. 2014A. Badania możliwości usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Monografia: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych*, „KOMIEKO 2014”. Wyd. ITG KOMAG, Gliwice, s. 65–79.
- Baic i in. 2014B – Baic, I., Blaschke, W., Sobko, W. i Szafarczyk, J. 2014B. Badania nad wzbogacaniem węgla kamiennych na powietrznych stołach koncentracyjnych. *Wiadomości Górnicze* nr 7–8, s. 417–421.
- Baic i in. 2014C – Baic, I., Blaschke, W., Sobko, W., Szafarczyk, J. i Buchalik, G. 2014C. Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne do wzbogacania węgla kamiennego. *Mat. Konf. „Nowoczesne rozwiązania z zakresu procesów technologicznych przeróbki węgla”*. Wyd. CNP EMAG (płyta CD), Katowice-Szczyrk, s. 60–71.
- Baic i in. 2013B – Baic, I., Blaschke, W., Góralczyk, S., Sobko, W. i Szafarczyk, J. 2013B. Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji. Monografia: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych*. Wyd. KOMAG, Gliwice, s. 99–108.
- Baic i in. 2015A – Baic, I., Blaschke, W., Góralczyk, S., Szafarczyk, J. i Buchalik, G. 2015A. Nowa ekologiczna metoda usuwania zanieczyszczeń skalą płonną z urobku węgla kamiennego. *Rocznik Ochrony Środowiska. Annual Set The Environment Protection*. Tom 17, s. 1274–1285.
- Baic i in. 2015B – Baic, I., Blaschke, W., Sobko, W. i Fraś, A. 2015B. Application of Air Concentrating Table for Improvement in the Quality Parameters of the Commercial Product „Jarek”. *Inżynieria Mineralna* z. 1/35, Rocznik XVI, s. 221–226.
- Blaschke i in. 2015 – Blaschke, W., Baic, I. i Sobko, W. 2015. Badania nad odkamienianiem energetycznego węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. *Rocznik Ochrony Środowiska. Annual Set The Environment Protection*. Tom 17, s. 958–972.
- Blaschke, W. 2013. Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. *Zeszyty Naukowe Instytutu GSMiE PAN* nr 84, s. 67–74.
- Blaschke, W. 2014. Zasady wzbogacania na powietrznym stole koncentracyjnym. *Czasopismo Techniczne KTT* nr 154–161, 2013–2014, Kraków, s. 10–14.
- Ghost i in. 2013 – Ghost, T., Patil, D., Parekh, B.K. i Honaker, R.Q. 2013. Upgrading low Rank Coal Using a Dry, Density-Based Separator Technology. *Proceedings of the 17th International Coal Preparation Congress*, Istanbul, s. 295–308.
- He, Jianing 2006. Market Prospect of Application of the Compound Dry Coal Cleaning Technology. *China Coal* nr 1. Technology Monograph of the Tangshan Shenzhou Machinery Co., Ltd. s. 29–31.
- Prace studialne dotyczące możliwości implementacji w warunkach polskich technologii suchego odkamieniania urobku węgla kamiennego. Praca statutowa IMBiGS nr 14-70/411-01-12. Katowice 2012.

- Tangshan Shenzhou Machinery Group Co., Ltd. – prospekt firmy. Chiny 2012.
- Sobko i in. 2014 – Sobko, W., Baic, I., Blaschke, W., Góralczyk, S. i Szafarczyk, J. 2014. Stanowisko badawcze do odkamieniania urobku węglowego metodą suchej separacji. *Czasopismo Techniczne KTT* nr 154–161, 2013–2014, Kraków, s. 15–19.
- Tangshan Shenzhou Machinery Group Co., Ltd. – strona internetowa firmy. Chiny 2015.
- Szafarczyk i in. 2014A – Szafarczyk, J., Baic, I. i Blaschke, W. 2014A. The First FGX Unit in the European Union. *CPSI Journal – a Magazine by the Coal Preparation Society of India*. Vol. VI, No 16, s. 5–12.
- Szafarczyk i in. 2014B – Szafarczyk, J., Baic, I. i Blaschke, W. 2014B. Dry coal cleaning technology. *Inżynieria Mineralna* z. 2/34, Rocznik XV, s. 257–262.