



Współczesne grawitacyjne suche metody wzbogacania ziaren drobnych

Modern gravitational dry separation methods for small grains

Mgr inż. Waldemar Mijał *)

Treść: Od początku XXI wieku można zaobserwować wzrost zainteresowania suchymi metodami wzbogacania węgla, jak i innych surowców mineralnych. Można tutaj wymienić typowe wzbogacanie w osadzarkach powietrznej poprzez zastosowanie pulsacji powietrznej (osadzarka TFX, osadzarka Allair), wzbogacanie w separatorach powietrznych z wykorzystaniem złoża fluidalnego (wibracyjno-powietrzny separator typu FGX), wzbogacalniki powietrzne zawiesinowe (wzbogacalniki AMFB) czy separację optyczną wykorzystującą różnicę np. w kolorze poszczególnych ziaren (separatory OSX, CXR). Jednak większość z nich nie osiąga dokładnej separacji ziaren drobnych według ich gęstości. W zależności od typu urządzenia dotyczy to ziaren o wymiarach od 13 do 6 mm. W artykule przedstawiono wybrane rozwiązania konstrukcyjne nowoczesnych urządzeń do wzbogacania ziaren drobnych na sucho oraz porównanie ich wyników.

Abstract: From the beginning of the twenty-first century we can observe an increase interest in the dry beneficiation method related for coal as well and other mineral resources. The typical enrichment in an air jig can be mentioned here by using air pulsation (TFX jigs, Allair jig), air table fluidization using a fluidized bed (vibrating FGX air table), suspension air enrichments (AMFB enrichments) or optical separation using the difference eg in color of individual grains (OSX, CXR separators). However, most of them have a problem in the form of fine separation of fine grains and depending on the type of device, the limit is below 6-13 mm. The article will present the possibilities of individual new technological solutions used in the world and will present the benefits of using dry separation of mineral raw materials, in particular coal.

Słowa kluczowe:

wzbogacalniki powietrzne, wzbogacanie suche grawitacyjne, wialnik, separator powietrzny, osadzarka powietrzna, wibracyjno-powietrzny separator FGX, osadzarka powietrzna TFX, stół powietrzny SIU

Keywords:

dry separation, air separators, gravity separation, air jig, air table, vibrating air table FGX, air jig TFX, air table SIU

1. Wprowadzenie

W procesie wzbogacania węgla można stosować wiele metod wzbogacania. Do podstawowych należy zaliczyć procesy separacji grawitacyjnej prowadzone w cieczach ciężkich (płuczki zawiesinowe), w ośrodku wodnym (osadzarki ziarnowe, osadzarki miałowe), wzbogacanie na stołach koncentracyjnych bądź wzbogacanie fizykochemiczne, jak wzbogacanie flotacyjne. W przypadku suchej separacji opartej na wzbogacaniu grawitacyjnym można wymienić dwa podstawowe sposoby wzbogacania poprzez wykorzystanie warstwy fluidalnej utworzonej we wzbogacalniku (zachowująca się jak ciecz ciężka zawiesina powietrza i piasku bądź wytworzona warstwa fluidalna z ziaren wzbogacanego materiału o określonej gęstości) i rozdział materiału poprzez pulsację powietrza (rozdział identyczny jak w osadzarkach wodnych, lecz w tym przypadku jako medium zastosowane jest powietrze). Wzbogacanie na sucho jest zwykle stosowane w miejscach, w których panują niedobory wody w połączeniu z surowym klimatem. Przykładowo, wzbogacanie w okręgu polarnym wiązałyby się z możliwością zamrażania produktów wzbogacania po separacji w ośrodku wodnym. Obecnie ta metoda jest stosowana w Chinach, Mongolii, Indiach, USA, Rosji i innych krajach. Surowcami, które można wzbogacić metodą suchej separacji są głównie węgle twarde o dużym udziale

frakcji węglowych, odpady po przeróbce węgla zgromadzone na hałdach oraz węgiel brunatny (typy twarde).

Od końca XX i na początku XXI wieku swój „renesans” przeżywają suche metody. Powszechnie stosowane są w Chinach separatory powietrzne CFX, TGX lub FGX, a także w Korei - separatory KAT Process, w Rosji - separatory Sepair, w Niemczech - separatory ALLAIR czy w Stanach Zjednoczonych stół powietrzny SIU będący modyfikacją separatora powietrznego FGX. Innymi krajami stosującymi, bądź testującymi, suchą metodę wzbogacania surowców mineralnych są także Turcja, Indie, RPA, czy Wietnam. Od roku 2012 posiadaczem doświadczalnej instalacji do wzbogacania suchego, opartej na wibracyjno-powietrznym separatorze FGX, jest Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Katowicach (Baic i in. 2015a, 2015b) Na podstawie prowadzonych w IMBiGS badań zakupiono dwie instalacje przemysłowe, o wydajności 30 Mg/h, pracujące w Gdańsku i Toruniu.

Niniejsza publikacja skupia się na trzech najbardziej interesujących rozwiązaniach jakim jest stół powietrzny SIU, stół powietrzny KAT Process oraz osadzarka powietrzna TGX. Są to urządzenia coraz szerzej opisywane przez użytkowników bądź naukowców na świecie, co pozwala pozytywnie zapatrywać się na ich rozwój w przyszłości (Mohanty i in. 2014, Dawaasuren i in. 2016, Stepanenko 2016, Shangjin i in. 2016, Davaatseren, Bazarragcha 2016, Materiały promocyjne firmy Allmineral, Materiały promocyjne firmy Gormasheexport, Mijał i in. 2018).

*) AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza

2. Urządzenia do wzbogacania ziaren drobnych

Urządzenia do suchej separacji ziaren drobnych, które prezentowano ostatnio w licznych publikacjach bądź opracowaniach, można podzielić:

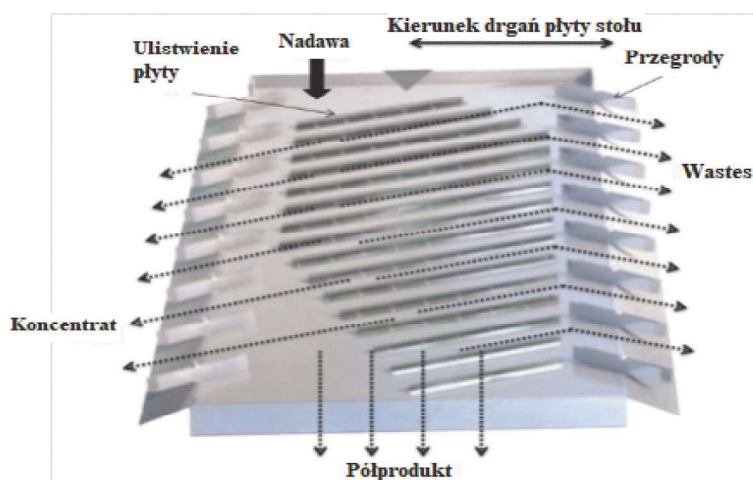
2.1. Stół powietrzny - technologia KAT Process

Technologia KAT Process (*Korean Advanced Technology*) opiera się na rozdzieleniu materiału poprzez wykorzystanie stołu powietrznego wykorzystującego zawieszinę fluidalną oraz drgania i wahnięcia płyty roboczej wywołane napędem mimośrodowym. Podczas procesu separacji ziarna odpadowe spadają na perforowaną płytę roboczą i kierują się w stronę przesypania zlokalizowanego po prawej stronie płyty. Ziarna koncentratu poprzez wytworzenie się warstwy fluidalnej powstałej z najdrobniejszych ziaren nadawy układają się w ciekłą warstwę na powierzchni materiału rozdzielanego i są odbierane

poprzez przegrodę odbioru koncentratu zlokalizowaną z lewej strony separatora. Ziarna półproduktu odbierane są w części centralnej na końcu płyty roboczej i mogą być zawracane w celu ich doczyszczania. Proces separacji obrazuje rysunek 1 (Dawaasuren i in. 2016.).

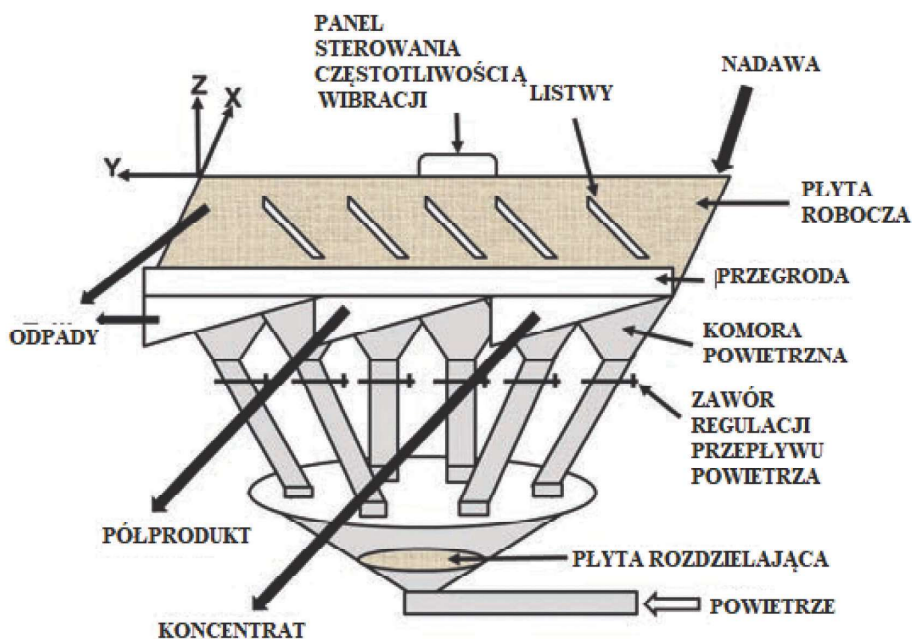
2.2. Stół powietrzny SIU (modyfikacja wibracyjnego stołu powietrznego FGX)

Wibracyjny stół powietrzny SIU powstał w trakcie projektowania ciągu technologicznego opartego na separatorze FGX. Zmodyfikowano ulistwienie płyty roboczej, sposób podawania powietrza pod płytę roboczą, zmniejszono wielkość otworów w perforowanej płycie stołu (prześwit płyty ustalono na 45%), zabudowano kilka komór powietrznych oraz zmodyfikowano sposób regulowania wibracji płyty roboczej. Rysunek 2 przedstawia stół powietrzny SIU (Mohanty i in. 2014, Akbari i in. 2017, Akbari, Mohanty, 2018).



Rys. 1. Rozdział nadawy na produkty wzbogacania na powierzchni perforowanej płyty w separatorze KAT Process (Dawaasuren i in. 2016)

Fig. 1. Separation of raw feed on the surface of working plate at KAT Process separator (Dawaasuren i in. 2016)



Rys. 2. Schemat stołu powietrznego SIU (Akbari, Mohanty, 2018)

Fig. 2. Scheme of SIU air table (Akbari, Mohanty, 2018)

2.3. Osadzarka powietrzna – osadzarka typu TFX

Rozdział materiału w osadzarkę powietrznej TFX przebiega podobnie jak w osadzarkę wodnej, a jedyną różnicą jest tutaj użycie powietrza zamiast wody jako medium separującego materiał według gęstości. Materiał podawany do separatora w wyniku działania połączonej pulsacji powietrza oraz wibracji płyty roboczej wewnątrz separatora zostaje rozluźowany. Cięższy materiał stopniowo opada na dno łoża, a lżejszy stopniowo unosi się do góry. Podczas właściwego procesu osadzania powstaje ostatecznie łożo składające się z ułożonych kolejno na sobie ziaren różniących się między sobą gęstością (najlżejsze ziarna na powierzchni, przy dnie separatora najcięższe). Cięższy materiał na dnie łoża jest wyładowywany przez pierwszy punkt odbiorczy odpadów, podczas gdy reszta materiału przemieszcza się po powierzchni płyty roboczej i przy pomocy drugiej przegrody jest rozdzielany na

półprodukt i koncentrat. Osadzarkę powietrzną TFX pokazano na rysunku 3 (Shangjin i in. 2016, Materiały promocyjne firmy Tangshan).

3. Porównanie wyników omawianych metod

Dostępne dane literaturowe zawarte w artykułach, publikacjach konferencyjnych czy broszurach firmowych pozwalają na analizę wyników wzbogacania przy użyciu stołu powietrznego KAT Process, stołu powietrznego SIU czy osadzarki powietrznej TFX.

Rozdział materiału przy użyciu stołu powietrznego KAT Process pozwala uzyskać koncentraty o minimalnej zawartości popiołu wynoszącej 9,4% i wychodzie 53,4% oraz odpady o zawartości 88,7% popiołu i wychodzie 23,7%.



Rys. 3. Osadzarka powietrzna TFX (Shangjin i in. 2016, Materiały promocyjne firmy Tangshan)

Fig. 3. TFX air jig (Shangjin i in. 2016, Materiały promocyjne firmy Tangshan)

Tabela 1. Wyniki wzbogacania klasy ziarnowej 1-5 mm przy pomocy stołu powietrznego KAT Process (Dawaasuren i in. 2016)

Table 1. Results of separation of grain class 1-5 mm by using KAT Process air table (Dawaasuren i in. 2016)

Test	Nadawa		Koncentrat		Półprodukt		Odpad	
	Popiół [%]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wychód [%]
1	37,48	100	16,0	57,2	44,5	20,4	86,1	22,4
2	34,73	100	9,4	53,4	37,9	22,9	88,7	23,7
3	34,72	100	10,7	58,3	37,3	14,0	84,0	27,6

Tabela 2. Wyniki wzbogacania klasy ziarnowej 1-6,35 mm przy pomocy stołu powietrznego SIU (Akbari, Mohanty, 2018)
Table 2. Results of separation of grain class 1-6,35 mm by using SIU air table (Akbari, Mohanty, 2018)

Test	Nadawa	Koncentrat	Półprodukt	Odpad
	Popiół [%]	Popiół [%]	Popiół [%]	Popiół [%]
1	29,19	16,85	21,67	65,89
2	32,75	17,94	23,57	65,67
3	25,58	13,53	18,87	66,64

Tabela 3. Wyniki wzbogacania klasy ziarnowej 0-13 mm przy pomocy osadzarki powietrznej TFX (Shangjin i in. 2016, Materiały promocyjne firmy Tangshan)

Table 3. Results of separation of grain class 0-13 mm by using TFX air jig (Shangjin i in. 2016, Materiały promocyjne firmy Tangshan)

Test	Nadawa	Koncentrat		Półprodukt		Odpad	
	Popiół [%]	Popiół [%]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wychód [%]	Popiół [%]	Wychód [%]
Węgiel koksujący	19,75	9,1	77,49	28,43	7,5	70,41	15,01
Węgiel energetyczny	42,53	27,26	58,73	54,88	21,93	73,47	19,39
Węgiel energetyczny	35,85	20,71	60,97	46,27	20,9	74,73	18,13

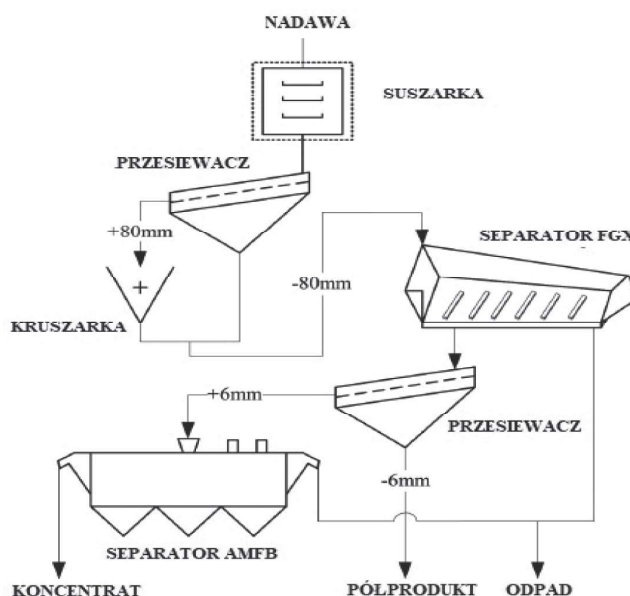
Stół powietrzny SIU pozwala uzyskać koncentrat o zawartości popiołu 13,53% oraz odpady zawierające 66,64% popiołu. Pozwala to przypuszczać, że we frakcji odpadowej dalej pozostaje pewna część frakcji węglowej.

Koncentrat otrzymywany podczas separacji surowej nadawy w osadzarku TFX o wychodzie 77,49%, zawiera 9,1% popiołu. Odpad o wychodzie 15,01% zawiera 70,41% popiołu w przypadku węgla koksującego. Dla węgla energetycznych można uzyskać wychód koncentratu 60,97% i zawartości popiołu 20,71% oraz odpad o wychodzie 18,13% i zawartości popiołu 74,73%.

4. Podsumowanie

W przeszłości sucha metoda była dość powszechnie stosowana, głównie na początku XX wieku (Budryk 1947, Blaschke 1951). Aktualnie ze względu na zmieniające się trendy panujące głównie w Azji i Ameryce Północnej metoda ta zaczyna na nowo być interesująca. Do głównych czynników przemawiających na korzyść suchej metody zaliczyć należy:

- wyeliminowanie obiegu wodno-mułowego w zakładzie przerobczym. Jako przykład można podać dwa rozwiązania, jedno zaproponowane przez naukowców China University of Mining and Geology i firmy Tangshan Shenzhou Manufacturing Company (rysunek 4) oraz drugi wariant zaproponowany podczas projektowania zakładu opartego na suchej separacji węgla w zagłębiu węglowym stanu Illinois (rysunek 5),
- wyeliminowanie kontaktu ziaren drobnych z wodą, co negatywnie może wpływać na ich późniejsze użytkowanie,
- uproszczenie schematu technologicznego oraz wyeliminowanie konieczności zagęszczania mułów i odwadniania produktów wzbogacania,
- możliwość zastosowania w miejscach gdzie występuje surowy klimat uniemożliwiający stosowanie metod mokrych, jak Rosja (Syberia), Mongolia bądź Kazachstan. Do głównych wad tej metody można zaliczyć:
- ograniczoną wielkość ziaren kierowanych do suchej separacji. Wiele danych literaturowych podaje jako górną granicę ziarna o wielkości 70(80) mm,
- straty substancji węglowej w produkcie pośrednim i odpadach. Najlepsze wyniki uzyskuje się poprzez wy-

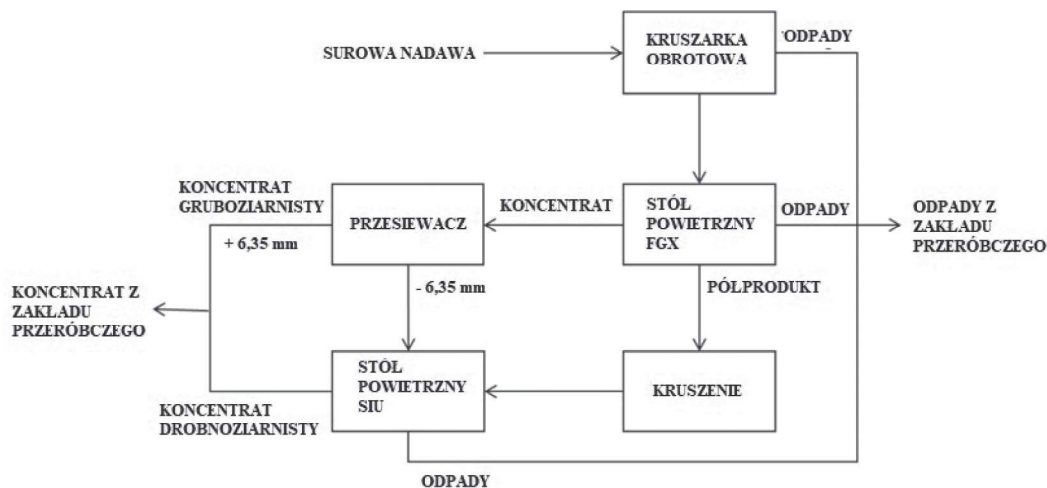


Rys. 4. Schemat wzbogacania na sucho oparty na separatorze zawieszonym AMFB oraz wibracyjnym stole powietrznym FGX (Mijał i in. 2018)

Fig. 4. Scheme of dry separation based on suspension separator AMFB and vibrating air table FGX (Mijał i in. 2018)

korzystanie podczas wzbogacania zawiesiny powietrznej (np. powietrze + piasek) bądź warstwy fluidalnej (z ziaren wzbogacanego materiału). Tego typu rozwiązania gwarantują lepsze wyniki wzbogacania niż tradycyjne wzbogacanie w osadzarku powietrznej,

- zastosowanie dla węgla o niskiej zawartości wilgoci i łatwo wzbogacalnych. Surowa nadawa węgla zawierająca dużą ilość przerostów, o podwyższonej zawartości wilgoci oraz węgle trudno wzbogacalne są trudniejsze do rozdziału przy pomocy suchej separacji. Dodatkowym problemem jest konieczność suszenia węgla o podwyższonej zawartości wilgoci (co podnosi koszty pracy zakładu przerobczego),
- ze względu na niski współczynnik równoopadania ziaren do procesu wzbogacania musi być kierowana wąska kla-



Rys. 5. Schemat wzbogacania na sucho oparty na wibracyjnym stole powietrznym FGX oraz stole powietrznym SIU (Akbari, Mohanty, 2018)

Fig. 5. Scheme of dry separation basen on vibrating air table FGX and air table SIU (Akbari, Mohanty, 2018)

sa ziarnowa. Konieczne jest zatem rozbudowanie węzła klasyfikacji wstępnej przed procesem wzbogacania,

- konieczność kierowania do procesu wzbogacania wąskiej klasy ziarnowej z uwagi na niski współczynnik równoopadania ziaren (zjawisko równoopadania ziaren).

Literatura

- AKBARI H., ACKAH L., MOHANTY M. 2017 - Performance optimization of a new air table and Flip-flow screen for fine particie dry separation, International Journal of Coal Preparation and Utilization, ISSN: 1939-2699, publikacja dostępna on-line 8.12.2018 w ramach projektu Performance optimization of a new air table and flip-flow screen for fine particle dry separation, s. 1-23.
- AKBARI H., MOHANTY M. 2018 - Development of a new fine particie dry separator, Minerals and Metallurgical Processing, Tom 35, vol 2, s. 77-86.
- BAICI., BLASCHKE W., GÓRALCZYK S., SZAFARCZYK J., BUCHALIK G. 2015 - Nowa ekologiczna metoda usuwania zanieczyszczeń skałą płonną z urobku węgla kamiennego. Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection. T. 17, s. 1274 - 1285.
- BAICI., BLASCHKE W., SOBKO W. 2015 - Badania nad odkamienianiem energetycznego węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection. T. 17, s. 958-972.
- BLASCHKE S. 1951 - Przeróbka mechaniczna węgla i rud. PZWS. Warszawa, s. 309-321.
- BUDRYK W. 1947 - Przeróbka mechaniczna użytecznych ciał kopalnych. Kraków.
- DAVAATSEREN G., BAZARRAGCHA M. 2016 - XVIII International Coal Preparation Congress, Dry Allair washing pilot plant test results of Naryn Sukhait's multi layer coal, Saint Pettersburg Russia ISBN 978-3-319-40943-6, s. 1131-1135.
- DAWAASUREN J., BYOUNG-GON K., JU-HYOUNG L., DAVAATSEREN G. i BAZARRAGCHA M. 2016 - XVIII International Coal Preparation Congress, Dry Coal Preparation of Fine Particles by KAT Process, Saint Pettersburg Russia ISBN 978-3-319-40943-6, s. 1171-1176.
- MIJAŁ W., BLASCHKE W., BAICI I. 2018 - Sucha metoda wzbogacania węgla w Polsce, „Przełąd Górniczy” nr 11 (1152), s. 9 – 18.
- MOHANTY M., AKBARI H., ACKAH L. 2014 - Sprawozdanie z projektu: A new air-table and Flip-flow screen for dry separation of Illinois fine coal.
- SHANGJIN R., HE S., JIANZHONG CH., 2016 - XVIII International Coal Preparation Congress, Small coal dry clearing jig, Saint Pettersburg Russia ISBN 978-3-319-40943-6, s. 1095-1100.
- STEPANENKO A.I., 2016 - XVIII International Coal Preparation Congress, Sepair pneumatic separation complex for dry coal beneficiation, Saint Pettersburg Russia ISBN 978-3-319-40943-6, s. 1089-1093.
- Firma Tangshan Kaiyuan Coal Preparation Technology Co. Ltd, Materiały promocyjne i katalogi, <http://www.kyxuanmei.com/> - materiały dostępne w dniu 28.03.2019.
- Firma Allmineral, Materiały promocyjne i katalogi, <https://www.allmineral.com/en/products/allair/> - materiały dostępne w dniu 28.03.2019.
- Firma Gormashexport Engineering, Technologies, Machinery, Materiały promocyjne i katalogi, http://en.gmexp.ru/equipment/type/gravitation/gravitation_2.html - materiały dostępne w dniu 28.03.2019.

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2019

Artykuł akceptowano do druku – czerwiec 2019