



Wiesław BLASCHKE*, Ireneusz BAIC**, Wojciech SOBKO***, Katarzyna BIEL***

Usuwanie siarki z węgla kamiennego z wykorzystaniem stołu koncentracyjnego FGX

Streszczenie: Powietrzne stoły koncentracyjne typu FGX służą do odkamieniania urobku węgla kamiennego. W Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego Oddziale Zamiejscowym w Katowicach prowadzi się badania nad możliwością wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do wzbogacania krajowych węgla kamiennych. Badano efekty rozdziału różnych klas ziarnowych pod kątem obniżenia zawartości popiołu i podwyższenia wartości opałowej. W uzyskiwanych produktach określano także zawartość siarki całkowitej, mimo iż nie była ona zakładanym kryterium rozdziału. W niniejszym artykule zestawiono zawartość siarki w badanych próbkach (nadawa) oraz produktach rozdziału (koncentrat, produkt pośredni, odpady). Z wielu badanych klas ziarnowych zamieszczono wyniki wzbogacania klasy ziarnowej 20–0 mm i klasy ziarnowej 25–6 mm. Zwrócono uwagę na sposób występowania siarki w węglach kamiennych mający wpływ na efektywność rozdziału (wzbogacania). Zamieszczono też wyniki odsiarczania koncentratów węglowych otrzymywanych podczas wzbogacania w osadzarkach.

Prezentowane badania pokazują celowość podjęcia kompleksowej pracy nad wykorzystaniem powietrznych stołów koncentracyjnych typu FGX do odsiarczania węgla kamiennych.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, sucha separacja, siarka, powietrzne stoły koncentracyjne

Use of FGX air concentration type tables for the desulfurization of hard coal

Abstract: FGX type air concentration tables are used for de-shaling raw coal. At the Institute of Mechanized Construction and Rock Mining, Branch in Katowice studies are carried out on the use of tables for the air enrichment of domestic hard coal. We studied the effects of the separation of different size fractions in terms of the reduction of ash content and increase of the calorific value. The total sulphur content was determined in the obtained products, even though it was not a criterion for the separation. This article presents the sulphur content in the tested samples (the feed) and the separation products (concentrate, middling, rock). Out of many tested grains classes, the article presents the results of enrichment raw coal with a granulation of 20–0 mm and 25–6 mm. Attention was drawn to the way the occurrence of sulphur in hard coals has an impact on the effectiveness of the separation (enrichment). The results of desulfurization of coal concentrates obtained by the enrichment jigs are also included.

* Prof. dr hab. inż., ** Dr hab. inż., prof. IMBiGS, *** Mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Katowice; e-mail: imb@imbigs.pl

The presented study shows the desirability of taking up a comprehensive work on the use of air concentration FGX type tables for the desulfurization of coal.

Keywords: hard coal, dry separation, sulphur, air concentration tables

Wprowadzenie

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego zakupił w 2012 r. powietrzny, wibracyjny stół koncentracyjny typu FGX. Stoły tego typu są nową konstrukcją urządzeń do suchego wzbogacania węgla kamiennego. Rozwiązanie to jest oryginalnym chińskim urządzeniem będącym połączeniem klasycznego wstrząsanego powietrznego stołu ze stołem wibracyjnym (Czasopismo... 2013–2014). Zasada pracy stołów koncentracyjnych typu FGX została opisana w kilku publikacjach autorów niniejszego artykułu (Baic i in. 2015a, 2015b; Czasopismo... 2013–2014; Czasopismo... 2016).

Powietrzne, wibracyjne stoły koncentracyjne znalazły przemysłowe zastosowanie praktyczne we wszystkich krajach wydobywających i wzbogacających energetyczne węgle kamienne. W Polsce pracują trzy stoły typu FGX: doświadczalny w IMBiGS o/z w Katowicach oraz dwa stoły w prywatnych spółkach (Czasopismo... 2016). W warunkach przemysłowych w naszym kraju jak dotąd stoły te nie znalazły jeszcze zastosowania, co jest wyjątkiem w praktyce światowej.

Oddział Zamiejscowy IMBiGS w Katowicach od kilku lat prowadzi badania odkamieniania urobku węglowego na próbkach pochodzących z kilku kopalń. Wyniki badań publikowane były w artykułach zamieszczanych w krajowych czasopismach i zebranych w dwóch zeszytach Czasopisma Technicznego KTT (Czasopismo... 2013–2014; Czasopismo... 2016). Prezentowane też były na konferencjach w Czechach, Słowacji i na Międzynarodowym Kongresie Przeróbki Węgla (ICPC 2016) w Rosji.

Rezultaty przeprowadzonych badań potwierdziły zasadność wdrożenia tej technologii w krajowych zakładach przeróbki węgla kamiennego. Uzyskiwano obniżenie zawartości popiołu w koncentratkach nawet o kilkanaście procent i podwyższenie wartości opałowej o kilka megadżuli. Otrzymywano czyste odpady, w których nie było ziarn węglowych. Biorąc pod uwagę, że koszty inwestycyjne są czterokrotnie niższe a koszty eksploatacyjne trzykrotnie niższe od mokrych metod wzbogacania, zastosowanie stołów FGX może być skuteczną drogą obniżenia kosztów wytwarzania węglowych produktów handlowych w krajowym górnictwie.

Suche odkamienianie urobku węglowego na stołach koncentracyjnych typu FGX ma na celu usunięcie jak największej ilości skały płonnej bez strat węgla. Dlatego też prowadzone jest ono przy gęstościach powyżej $2,0 \text{ g/cm}^3$. Parametrem, według którego ustala się reżim rozdziału, jest zawartość popiołu. Charakterystyki technologiczne węgla opisywane są krzywymi wzbogacania. W praktyce obejmują one krzywe zawartości popiołu, wartości opałowych i zawartości siarki. Ustalenie kryterium rozdziału (gęstość) według zawartości popiołu powoduje, że wartość opałowa i zawartość siarki są parametrami wynikowymi. Oczywiście kryterium rozdziału mogą być także wartość opałowa i zawartość siarki. Zależne to będzie od wymaganych parametrów produktu handlowego (koncentratu).

Badania prowadzone w IMBiGS o/z w Katowicach oparte były dotychczas na zawartości popiołu. Stąd też nie optymalizowano zawartości siarki w koncentratkach. Przyjęcie jako

kryterium rozdziału zawartości siarki jest decyzją złożoną ze względu na występowanie siarki w związkach organicznych i nieorganicznych. Praktycznie można je stosować przy występowaniu w węglu siarki w postaci pirytu.

W niniejszym artykule zestawiono zawartość siarki całkowitej w nadawie i w produktach rozdziału otrzymane podczas badań odkamieniania urobku węglowego.

1. Występowanie siarki w węglach kamiennych

Zawartość siarki w węglach krajowych jest stosunkowo nieduża w porównaniu z wieloma węglami zagranicznymi. W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w jego wschodniej części zawartość siarki jest znaczna i dochodzi nawet do 6%. Są też znane (nieeksploatowane) pokłady gdzie zawartość siarki kształtuje się na poziomie 10–16%. Siarka występuje w węglach krajowych zarówno w związkach organicznych, jak i nieorganicznych (Blaschke i Chmura 1971; Blaschke 1989; Blaschke Z. i Blaschke W. 2007–2008; Bolewski, red. 1986).

Zawartość siarki organicznej wynosi 0,1–0,3%, rzadziej 0,5% lub wyżej. Występuje ona w postaci ugrupowań tiofenowych ($H_2C_2SC_2H_2$), tioeterowych ($-CH_2SH_2C-$) lub merkaptanowych ($-CH_2SH$). W węglach typu 31 i 32 głównie są to wiązania tioeterowe. W węglach typu 34 występują, w podobnych ilościach, wiązania tiofenowe i tioeterowe. W węglach typu 35 do 41 przeważają wiązania tiofenowe (Górska i in. 1986).

Siarka nieorganiczna występuje w postaci pirytu (FeS_2), markasytu (FeS_2), rzadziej pirotytu (FeS), a także w postaci siarczanów (gipsu, epsomitu, jarosytu, melanterytu). Głównym nośnikiem siarki w węglach jest piryt. Siarczanów jest niewiele, gdyż są one produktami rozkładu pirytu. W węglach czasami może znajdować się siarka elementarna, ale są to bardzo rzadkie przypadki.

Siarka organiczna z reguły związana jest z substancją węglową. Natomiast siarka nieorganiczna (głównie piryt) może wypełniać komórki mikroskładników węgla, mogą to być cienkie naskorupienia lub warstewki występujące na płaszczyznach spękań, mogą to być wprysnięcia, soczewki i gniazda o wymiarach od kilku mikronów do kilku lub kilkunastu centymetrów, a także samodzielne ziarna i kryształy różnej wielkości.

Siarki organicznej praktycznie nie da się usunąć z węgla metodami przeróbki mechanicznej. Natomiast siarkę nieorganiczną można usuwać metodami grawitacyjnymi lub flotacyjnymi. Wykorzystanie metody flotacyjnej jest jednak złożone, gdyż piryt flotuje podobnie jak węgiel, a więc proces trzeba prowadzić selektywnie (depresowanie jednego ze składników – piryt lub węgiel) co powoduje, że proces ten jest nieefektywny. Praktycznie piryt można usuwać z węgla metodami grawitacyjnymi (wzbogacanie w osadzarkach, na stołach koncentracyjnych lub we wzbogacalnikach strumieniowych). Wzbogacanie grawitacyjne jest możliwe, gdyż piryt posiada gęstość 4,9(4,95)–5,1(5,2) g/cm^3 . Efektywność wzbogacania grawitacyjnego zależy od sposobu występowania pirytu. Jest ona wysoka, gdy ziarna pirytu występują w postaci uwolnionej, trudniejsza, gdy są to zrosty pirytu z węglem, a czasem ze skałą płonną, praktycznie niemożliwa, gdy piryt w postaci bardzo drobnych ziarenek impregnuje ziarna węglowe.

Prowadzone w Oddziale Zamiejscowym IMBiGS w Katowicach badania pokazały, że w niektórych przypadkach można usuwać siarkę nieorganiczną z urobku węglowego wykorzystując nową konstrukcję powietrznych stołów koncentracyjnych typu FGX.

2. Rozkład zawartości siarki w produktach rozdziału klasy ziarnowej 20–0 mm

Badania nad odkamienianiem urobku węglowego prowadzi się w zasadzie zawsze na miałach, a więc klasie ziarnowej 20–0 mm. Na instalacji badawczej wyposażonej w stół koncentracyjny typu FGX, będącej w dyspozycji IMBiGS o/z w Katowicach, okamieniano także klasy ziarnowe 90–0 mm, 50–0 mm i 25–0 mm. Wiadomo z literatury, a także z doświadczeń autorów, że skład ziarnowy ma duży wpływ na efekty rozdziału. Duża ilość ziarn drobnych – poniżej 6 mm – wpływa niekorzystnie na dokładność rozdziału ziarn grubszych. Związane jest to ze zjawiskiem równoopadania – prędkość opadania ziarn małych o dużej

TABELA 1. Zawartości siarki w produktach odkamieniania urobku węglowego klasy ziarnowej 20–0 mm*

TABLE 1. Sulphur content in deshaling products of the raw steam coal of granulation of 20–0 mm*

Lp.	Parametr	Nadawa	Koncentrat	Produkt pośredni	Odpad
1.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,13 100	1,05 82,4	1,15 14,1	3,03 1,5
2.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,24 100	1,23 84,5	1,21 12,2	1,90 3,3
3.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,06 100	0,97 83	1,60 14	3,02 2
4.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,69 100	0,62 71	0,61 15	2,28 12
5.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,60 100	0,60 73,2	0,62 13,8	0,65 13
6.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,56 100	0,62 77	0,68 3	0,44 18
7.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,69 100	0,75 81,8	0,58 7,2	0,12 8,0
8.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,61 100	0,70 67,8	0,72 7,2	0,64 25
9.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,59 100	0,65 58,4	0,56 22,4	0,55 15,4
10.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,54 100	0,59 66,3	0,53 18,5	0,38 15,2
11.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	0,49 100	0,55 78	0,44 13	0,12 7

* Badania testowe nad zmniejszeniem zawartości popiołu w koncentratkach (otrzymano wyniki pozytywne, które nie są w niniejszym artykule omawiane).

Uwaga: Gdy wychody produktów rozdziału nie domykają się do 100% oznacza to, że wydzielano pył, w którym nie oznaczano zawartości siarki. Natomiast gdy wychody produktów wynoszą łącznie 100% oznacza to, że wychód pyłu był pomijalny.

gęstości jest zbliżona do ziarn dużych o mniejszej gęstości. Zjawisko to jest bardziej złożone, gdy ziarna przemieszczają się w warunkach skrępowanych łoża roboczego (warstwy sfluidyzowanej). Przyjmuje się, na podstawie doświadczeń, że pożądana jest pewna ilość (ok. 10–12%) klasy poniżej 6 mm dla utworzenia łoża roboczego.

Prowadzone wstępne badania nie miały na celu optymalizacji warunków prowadzenia procesu lecz jedynie zbadanie możliwości suchego odkamieniania urobku klasy ziarnowej 20–0 mm. Ustalono główne parametry techniczne stołu koncentracyjnego, a zwłaszcza kąta poprzecznego nachylenia płyty roboczej. Otrzymano czyste odpady o zawartości popiołu powyżej 73–75% i czyste koncentraty o zawartości popiołu 15–25%.

Zawartość siarki w produktach zależy będzie od sposobu występowania siarki w badanych próbach. Sposoby występowania siarki nie były badane. Oznaczano tylko siarkę całkowitą. Zestawione w tabeli 1 zawartości siarki pozwalają podzielić wyniki na dwie grupy.

Próby 1–4 pokazały, że obniżenie siarki w koncentratkach zachodzi, ale w stosunkowo niewielkim stopniu. W odpadach zawartość siarki wzrasta. Można przypuszczać, że w tych badanych węglach występuje pewna ilość pirytu, który przechodzi do odpadów (częściowo do produktu pośredniego). Głównie będzie to siarka organiczna, a także prawdopodobnie bardzo drobne wprysnięcia pirytu w ziarnach węglowych.

Próby 5–11 zawierają przypadki, w których siarka organiczna i nieorganiczna związana jest z ziarnami węgla. Potwierdza to zawartość popiołu w odpadach, w których spada zawartość siarki. W koncentracie zawartość siarki rośnie, a w produkcie pośrednim zawartość siarki jest zbliżona do zawartości siarki w nadawie. Bardziej szczegółowe analizy byłyby możliwe po zbadaniu sposobu występowania siarki w nadawie i w produktach rozdziału.

3. Rozkład zawartości siarki w produktach rozdziału klasy ziarnowej 25–6 mm

Jak już wcześniej wspomniano, zbyt duża ilość ziarn klasy ziarnowej 6–0 mm negatywnie wpływa na skuteczność rozdziału. Z tego też względu prowadzi się badania na próbach, z których odsiano ziarna poniżej 6 mm. Badano rezultaty odkamieniania klas ziarnowych 50–6 mm, 25–0 mm, 25–6 mm i 20–6 mm. W niniejszym rozdziale przytoczono wyniki odkamieniania klasy ziarnowej 25–6 mm. W badaniach przyjęto założenie, że koncentrat powinien zawierać 19–21% popiołu, a odpady powyżej 79–80%.

Rozkłady zawartości siarki w nadawach i produktach rozdziału zestawiono w tabeli 2. Określano zawartość siarki całkowitej. Dane przedstawione w tabeli 2 wskazują, że badane węgle można podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią próby 1–6. Są to węgle, w których zawartość siarki jest wysoka 1,17–1,9%. Można przypuszczać, że w nadawach znajduje się duża ilość pirytu. Z tego też względu w odpadach zawartość siarki wynosi od 2,16 do 5,88%. Niższa niż w nadawie jest zawartość siarki w koncentratkach.

W drugiej grupie znajdują się próby 7–10. W nadawie tych węgli zawartość siarki jest poniżej 0,64%. W koncentratkach zawartość siarki jest podobna lub nieco większa. Oznacza to, że prawdopodobnie siarka występuje w tych węglach jako siarka organiczna lub jako drobne wprysnięcia pirytu w ziarnach węgla.

Jak łatwo zauważyć, węgle klasy ziarnowej 25–6 mm o dużej zawartości siarki można odsiarczać, przy okazji odkamieniania, na stołach koncentracyjnych typu FGX.

TABELA 2. Zawartości siarki w produktach odkamieniania urobku węglowego klasy ziarnowej 25–6 mm*

TABLE 2. Sulphur content in deshaling products of the raw steam coal of granulation of 25–6 mm*

Lp.	Parametr	Nadawa	Koncentrat	Produkt pośredni	Odpad
1.	Zawartość siarki [%]	1,90	0,86	1,70	5,88
	Wychód [%]	100	20,6	67,7	9,7
2.	Zawartość siarki [%]	1,71	0,88	1,85	4,58
	Wychód [%]	100	56,2	28,9	14,9
3.	Zawartość siarki [%]	1,52	0,95	1,40	3,99
	Wychód [%]	100	56,2	28	14,8
4.	Zawartość siarki [%]	1,46	0,88	Nie wydzielono	2,26
	Wychód [%]	100	58		42
5.	Zawartość siarki [%]	1,43	0,85	1,14	3,39
	Wychód [%]	100	55	25	20
6.	Zawartość siarki [%]	1,36	0,99	1,01	2,94
	Wychód [%]	100	76	5	19
7.	Zawartość siarki [%]	0,61	0,60	0,39	3,80
	Wychód [%]	100	81,4	14,0	1,6
8.	Zawartość siarki [%]	0,52	0,55	0,33	0,38
	Wychód [%]	100	84,4	1,6	14
9.	Zawartość siarki [%]	0,64	0,63	0,50	0,87
	Wychód [%]	100	83,2	8,4	8,4
10.	Zawartość siarki [%]	0,61	0,62	0,63	0,48
	Wychód [%]	100	79,5	12,8	7,7

* Badania testowe nad zmniejszeniem zawartości popiołu w koncentraty (otrzymano wyniki pozytywne, które nie są w niniejszym artykule omawiane).

4. Badania możliwości obniżenia zawartości siarki w koncentraty wydzielanych w osadzarkach

Prowadzone w IMBiGS o/z w Katowicach badania odkamieniania urobku węglowego pokazały, że dla węgla o stosunkowo dużej zawartości siarki, zwłaszcza pirytovej, można obniżyć zawartość siarki całkowitej. Rozważane więc było zagadnienie, czy jest możliwe zredukowanie zawartości siarki, w otrzymanych podczas wzbogacania urobku koncentraty wydzielanych w osadzarkach. Węgla występujące w wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego charakteryzują się, jak już o tym wspomniano, stosunkowo dużą zawartością siarki pirytovej. Piryt ze względu na wysoką gęstość powinien trafiać do odpadów podczas wzbogacania w osadzarkach. Jak się jednak okazuje, w praktyce koncentraty takie często zawierają podwyższoną zawartość siarki. Prawdopodobnie wynika to z niedokładności rozdziału w tych urządzeniach. Jak już wspomniano, w polskich węglach zawartość

siarki organicznej rzadko przekracza 0,6%. Przy zawartości powyżej 0,8% siarki najczęściej lub zawsze będzie to piryt. Podjęto więc próby usunięcia pirytu z wysokozasiarczonych koncentratów.

W tabeli 3 zestawiono wyniki odsiarczania dziewięciu pobranych prób koncentratu osadzarkowego. Proces prowadzono na stole koncentracyjnym typu FGX przyjmując jako kryterium rozdziału zawartość siarki całkowitej. Prezentowane dane pokazały, że istnieje możliwość odsiarczenia koncentratów o podwyższonej zawartości siarki. Udało się obniżyć zawartość siarki w badanych próbach do około 1%.

Badania te należy traktować jako próby testowe. W przypadku zainteresowania producentów węgla możliwościami obniżenia zawartości siarki w koncentratkach, należy przeprowadzić szczegółowe badania ustalając warunki prowadzenia procesu rozdziału pod kątem separacji pirytu od pozostałych ziarn.

TABELA 3. Badania nad możliwością zmniejszenia zawartości siarki w koncentratkach uzyskanych podczas wzbogacania w osadzarkach

TABLE 3. Research on the possibility of reduce sulphur content in the concentrate obtained during enrichment in jigs

Lp.	Parametr	Nadawa	Koncentrat	Produkt pośredni	Odpad
1.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,59 100	0,91 48	1,06 10	2,49 42
2.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,48 100	1,09 25,6	1,09 52,6	2,88 21,8
3.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,47 100	1,18 21	1,53 71,6	1,69 7,4
4.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,44 100	0,96 70,5	2,01 19,5	3,71 10
5.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,31 100	1,07 24,8	1,10 56,8	2,26 18,6
6.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,31 100	1,06 25	0,98 43	1,95 32
7.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,25 100	0,81 75	1,10 5	2,94 20
8.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,15 100	0,86 24	1,08 62	1,95 14
9.	Zawartość siarki [%] Wychód [%]	1,15 100	0,82 25	0,88 40	1,7 35

Podsumowanie

Przeprowadzone dotychczas badania nad odkamienianiem urobku węglowego pokazały, że możliwe jest w wielu przypadkach obniżenie zawartości siarki przy okazji zmniejszenia zawartości popiołu w produktach handlowych.

Zamieszczone w niniejszym artykule wyniki badań są przykładowymi rezultatami mającymi na celu rozeznanie wstępne tego problemu. Ponieważ procesy rozdziału węgla surowego oparte były na zawartości popiołu nie należy traktować przedstawionych rezultatów jako wyników prowadzenia procesu odsiarczania. Dotyczy to klasy ziarnowej 25–6 mm i 20–0 mm.

Proces odsiarczania prowadzono także dla koncentratów otrzymywanych z osadzarek. Uzyskano, zdaniem autorów, pozytywne, interesujące rezultaty.

Badania procesów odsiarczania urobku węglowego powinny być poprzedzone analizami sposobów występowania związków siarki w węglach surowych. Od stosunku siarki organicznej do siarki pirytovej zależy efektywność odsiarczania.

W związku z koniecznością produkcji węgla dla potrzeb energetyki o możliwie najmniejszej zawartości siarki (użytkownicy zwracają na to uwagę przy wyborze dostawców) rozważyć należy podjęcie szeroko zakrojonych badań mających na celu opracowanie technologii wytwarzania niskozasiarczonych koncentratów węglowych.

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego o/z w Katowicach oferuje zainteresowanym spółkom węglowym gotowość podjęcia przedmiotowych badań.

Literatura

- Baic i in. 2015a – Baic, I., Blaschke, W., Góralczyk, S., Szafarczyk, J. i Buchalik, G. 2015. Nowa ekologiczna metoda usuwania zanieczyszczeń skałą płonną z urobku węgla kamiennego. *Rocznik Ochrony Środowiska – Annual Set The Environment Protection* t. 17, s. 1274–1285.
- Baic i in. 2015b – Baic, I., Blaschke, W. i Sobko, W. 2015. Badania nad odkamienianiem energetycznym węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. *Rocznik Ochrony Środowiska – Annual Set The Environment Protection* t. 17, s. 958–972.
- Blaschke, S. i Chmura, C. 1971. Rozpoznanie stopnia zasiarczenia węgla rejonu JMZPW. *Mat. XXI Sesji Naukowej AGH* t. 1, s. XVIII.1–XVIII.9.
- Blaschke, S. 1989. Przemysłowe badania nad odsiarczaniem węgla energetycznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* z. 4, s. 627–645.
- Blaschke, Z. i Blaschke, W. 2007–2008. *Mała Encyklopedia technologii przeróbki kopalni. Inżynieria Mineralna* vol. VIII–IX.
- Bolewski, A. red. 1986. *Surowce Mineralne Świata. Tom Siarka*. Warszawa: Wyd. Geologiczne.
- Czasopismo... 2013–2014. *Czasopismo Techniczne KTT* nr 154–161.
- Czasopismo... 2016. *Czasopismo Techniczne KTT* nr 166.
- Górska i in. 1986 – Górska, L., Mokrzycki, E. i Suwała, W. 1986. Kontrola procesów technologicznych. Cz. VIII. Laboratorium z analizy technicznej węgla kamiennych. *Skrypt AGH* nr 1045. Kraków.