

Zygfryd LUPA

Instytut Przeróbki Kopalin,
Politechnika Śląska, Gliwice

Janusz LASKOWSKI

Zakład Przeróbki Kopalin, Instytut
Chemii Nieorganicznej i Metalurgii
Pierwiastków Rzadkich, Politechnika Wrocławska

BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ WYKORZYSTANIA PIRYTÓW WĘGLOWYCH DLA ODZYSKIWANIA Cu Z ŻUŻLI PRZEMYSŁU MIEDZIOWEGO

Część I

ODSIARCZANIE WĘGLI W SEPARATORACH FLUIDYZACYJNYCH

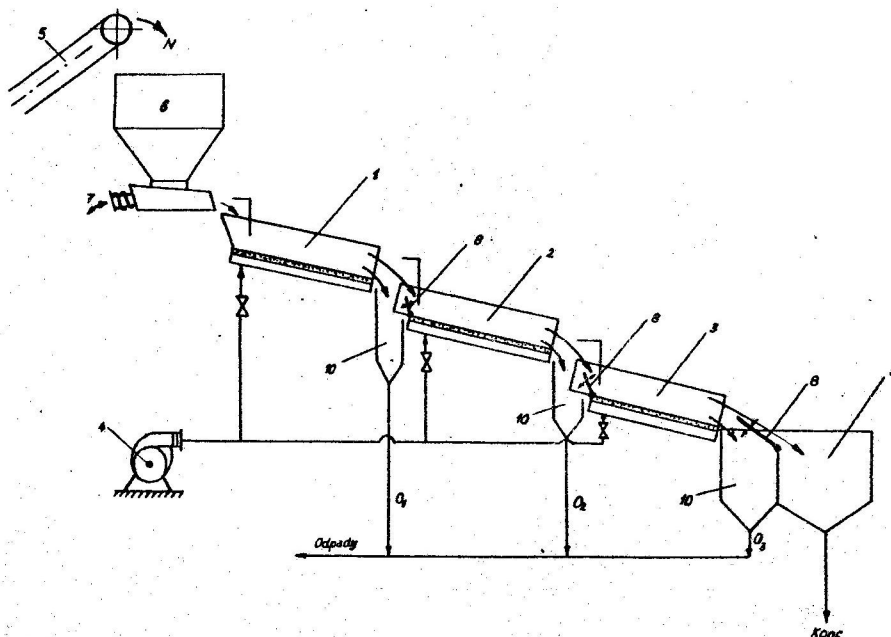
Wstęp

Badania nad odsiarczaniem węgla przed procesami spalania prowadzone są od wielu lat w różnych krajach. Do chwili obecnej przebadano prawie wszystkie metody przeróbcze zezwalające na usuwanie siarki (głównie w postaci pirytu) z węgla. Większość światowych osiągnięć w tej dziedzinie zamyka się usunięciem siarki w granicach 30-50% od ilości początkowej zawartej w węglu surowym [1]. Spośród wielu metod przeróbczych ze względów ekonomicznych na uwagę zasługują te procesy, które eliminują gospodarkę wodno-mułową, zwłaszcza, że w kraju problem dotyczy północno-wschodniego rejonu Jaworznicko-Mikołowskiego Zjednoczenia, w którym węgle występują w towarzystwie dobrze rozmywalnych skał płonych.

Przedstawione wyniki oparto na rezultatach uzyskanych w okresie 3-letnich badań w Politechnice Śląskiej nad odsiarczaniem węgla suchą metodą fluidyzacyjną w skali laboratoryjnej i ćwierćtechnicznej. Prowadzone badania pozwoliły uzyskać szereg informacji z zakresu doboru metod rozdrabniania w powiązaniu z metodami wzbogacania, o których w tym miejscu można jedynie wspomnieć, że są bardzo istotne. Szczegółowe dane zawierają sprawozdania z prac Instytutu Przeróbki Kopalin Politechniki Śląskiej [2,3,4].

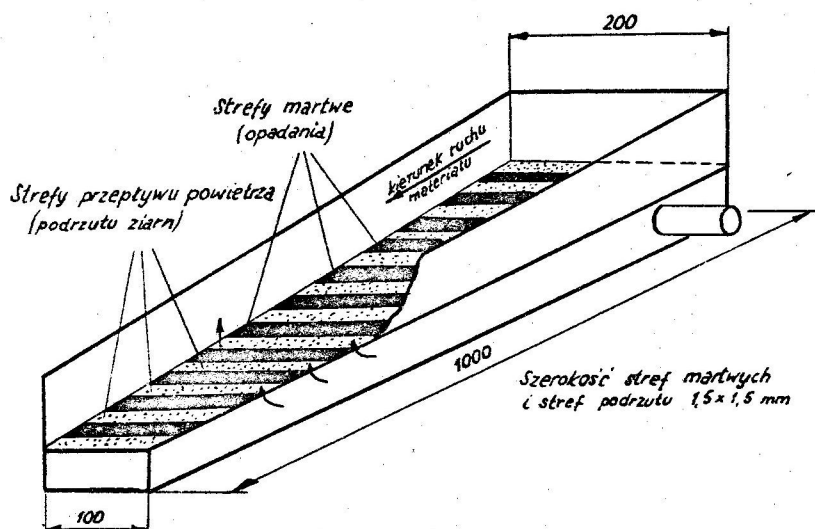
Proces wzbogacania odbywa się w szybko płynącym strumieniu i dlatego wydajności procesu są zaskakująco wysokie w przeliczeniu na 1 m^2 powierzchni roboczej dochodząc średnio do 30-70 t/h, przy uziarnieniu węgla 6-0 mm.

Badania odsiarczania prowadzono na stanowisku trójstopniowym przedstawionym na rysunku 1. Podstawowe wymiary i ogólny widok jednego separatora pokazano na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat instalacji doświadczalnej: 1,2,3 - separatory fluidyzacyjne, 4 - dmuchawa, 5 - przenośnik taśmowy, 6 - zbiornik nadawy, 7 - podajnik wibracyjny, 8 - nastawne rozdzielacze frakcji, 9 - zbiornik koncentratu, 10 - zbiorniki odpadów

W stosunku do znanych separatorów rozwiązanie z rysunku 2 posiada znaczną zaletę technologiczną, mianowicie możliwość wzbogacania ziarn w szerokim, dotychczas niestosowanym w technice fluidalnej, uziarnieniu 6-0 mm [6]. Tak duża rozpiętość wielkości ziarn możliwa jest dzięki opracowaniu łoża roboczego, które jest kombinacją materiału porowatego z sitem szczelinowym ze szczelinami ustawionymi prostopadłe do ruchu materiału. Na takim łożu ziarna większe układające się na dnie są podrzucane w strefie przepływu powietrza, w której prędkość przepływu jest wyższa od prędkości powietrza w strudze



Rys. 2. Ogólny widok i podstawowe wymiary separatora ćwierćtechnicznego

materiału, gdzie jej wielkość ma wartość prędkości fluidyzacji. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano w separatorze podwójny efekt: fluidyzację całego ładunku i transport ziarn grubszych, które w innych rozwiązaniach z łóżami jednorodnymi zapewniają to urządzenie [5].

Przedstawiony na rysunku 1 schemat trójstopniowej instalacji do odsiarczania węgla wyjaśnia całkowicie sposób prowadzenia badań. W uzupełnieniu należy dodać, że prowadzenie doświadczeń wymaga starannego przygotowania układu zasilania nadawą, który to czynnik jest warunkiem prawidłowej pracy całej instalacji. Dodać również należy, że odbiór produktów musi być niezwykle sprawny, ponieważ w grę wchodzi duże wydajności.

W czasie prowadzenia badań nad odsiarczaniem instalację obciążano nadawą w ilości 8–12 t/h. Warunki równowagi procesu (niezmienna grubość warstw) ustalane są w zasadzie po 5 min. pracy separatora w ruchu ciągłym i wówczas można przystąpić do pobierania prób z płynących strug materiału.

3. Wyniki badań i ich dyskusja

Węgiel z kopalni Jaworzno-Bierut

Wyniki badań odsiarczania próby węgla z kopalni Jaworzno-Bierut zawarto w tabelach 3-6. Nadawa zawierała 2,89% siarki i 23,12% popiołu. W trójstopniowej separacji wydzielono koncentrat węglowy (produkt górny 3 stopnia tab. 3) o wychodzie wagowym 77,8%, zawartości siarki 1,68%, w którym pozostało 45,3% siarki całkowitej. Zawartość popiołu w koncentracie obniżono o 4% w stosunku do nadawy.

T a b e l a 3

Trójstopniowe odsiarczanie nadawy z kopalni Jaworzno-Bierut

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górny	77,8	1,68	45,3	18,88
	dolny	4,5	4,89	7,6	29,13
2	górny	82,3	1,86	52,9	19,26
	dolny	5,0	4,80	8,4	31,19
1	górny	87,3	2,03	61,3	19,94
	dolny	12,7	8,84	38,7	42,50
Nadawa		100,0	2,89	100,0	23,12

T a b e l a 4

Skład ziarnowy koncentratu z kopalni Jaworzno-Bierut po trójstopniowym odsiarczaniu

Klasa ziarnowa mm	Wychód %	Zawartość siarki %	Zawartość popiołu %
6 - 2	1,7	0,45	7,79
2 - 1,02	10,9	0,86	7,49
1,02 - 0,50	22,6	1,03	8,12
0,50 - 0,25	14,4	1,05	10,52
0,25 - 0,102	22,6	2,18	17,12
- 0,102	27,8	2,65	38,47
Nadawa	100,0	1,70	18,88

T a b e l a 5

Trójstopniowy rozdział odpadów wydzielonych przy odsiarczaniu nadawy
z kopalni Jaworzno-Bierut

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górny	76,0	2,92	32,6	22,10
	dolny	12,0	11,55	23,4	41,12
2	górny	78,0	4,24	66,0	25,03
	dolny	10,0	11,84	19,9	43,58
1	górny	88,0	5,10	85,9	27,13
	dolny	12,0	11,92	14,1	46,90
Nadawa		100,0	5,93	100,0	29,50

T a b e l a 6

Trójstopniowy rozdział półproduktu z tab. 5 domielonego do uziarnie-
nia 2-0 mm —

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górny	75,7	1,72	44,3	17,52
	dolny	7,6	4,70	12,2	30,23
2	górny	83,3	1,94	56,5	18,70
	dolny	7,3	7,14	18,1	31,50
1	górny	90,6	2,36	74,6	19,60
	dolny	19,4	7,84	25,4	39,18
Nadawa		100,0	2,87	100,0	21,53

Skład ziarnowy koncentratu węglowego przedstawiony w tab.4 potwierdza wielokrotnie uzyskane wyniki [2-4]. W klasach ziarnowych 6 - -0,25 mm zawartość siarki waha się w granicach 0,45-1,05% natomiast dla klasy 0,25-0 mm wynosi powyżej 2%.

Wychód odpadów jak również ich jakość maleje z każdym stopniem separacji. I tak na pierwszym stopniu odebrano 12,7% odpadów o zawartości 8,84% S, na drugim wychód wynosił 5% o zawartości 4,80% S a na trzecim zawartość siarki była zbliżona do drugiego stopnia (4,89%) przy wychodzie 4,5%. W sumie wydzielono odpady w ilości 22% o średniej zawartości siarki 6,31% i 28% popiołu.

Odpady wydzielone przy odsiarczaniu nadawy poddano kolejnym badaniom nad możliwością poprawy ich jakości. Przeprowadzono w tym celu wtórne wzbogacanie odpadów, domielanie ich do wielkości 2-0 mm i 1-0 mm (również w młynie uderowym). Najlepsze rezultaty uzyskano w przypadku wtórnej separacji bez domielania. Z odpadów tych wydzielono 34% frakcji o zawartości siarki 11,55-11,92% przy zawartości popiołu 43% (tab. 5). Pozostała część stanowi półprodukt o zawartości 2,92% S. Z półproduktu tego po domieleniu do uziarnienia 2-0 mm i kolejnej separacji trójstopniowej uzyskano koncentrat węglowy o zawartości 1,72% S przy wychodzie 75% oraz odpady o zawartości około 6% S. (tab. 6).

Ostatecznie w doświadczeniach z węglem z kopalni Jaworzno-Bierut zawierającym 2,89% siarki otrzymano:

- 77,8% koncentratu o zawartości siarki 1,6%,
- 11,1% koncentratu o zawartości siarki 1,72% co razem daje
- 88,9% koncentratu o zawartości siarki około 1,7% oraz
- 3,6% półproduktu o zawartości siarki 6%,
- 7,5% odpadów o zawartości siarki około 12% (zawartość popiołu w tym produkcie wynosiła 43%).

Węgiel z kopalni Siersza

Wyniki badań próby węgla z kopalni Siersza zestawiono w tabelach 7-11. Nadawa zawierała 3,40% siarki i 19,60% popiołu. Miał surowy po skruszeniu do uziarnienia 6-0 mm poddano trójstopniowej separacji. Wydzielony koncentrat węglowy po trzecim separatorze zawierał 2,07% siarki i 15,80% popiołu, przy wychodzie 74,6%. W koncentracie pozostało 44,1% siarki całkowitej. Podobnie jak w wielu pozostałych próbach zawartość siarki w klasach ziarnowych 6-0,25 mm jest znacznie niższa (1,47-1,68%) w stosunku do ziarn 0,25-0 mm, w których zawartość siarki wynosi około 2,80%.

T a b e l a 7

Trójstopniowe odsiarczanie nadawy z kopalni Siersza

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górny	74,6	2,07	44,1	15,80
	dolny	3,7	3,16	3,4	19,54
2	górny	78,3	2,12	47,5	15,97
	dolny	6,8	3,96	7,8	23,14
1	górny	85,1	2,26	55,3	17,72
	dolny	14,9	10,02	44,7	40,30
Nadawa		100,0	3,40	100,0	21,08

T a b e l a 8

Skład ziarnowy koncentratu z tabeli 7 po trójstopniowym odsiarczaniu

Klasa ziarnowa mm	Wychód %	Zawartość siarki %	Zawartość popiołu %
2	3,2	1,52	9,12
2 -1	16,7	1,63	9,30
1 -0,5	25,9	1,62	10,48
0,5 -0,25	13,6	1,47	12,64
0,25 -0,102	19,6	2,74	17,50
-0,102	21,0	2,87	19,40
Nadawa	100,0	2,07	15,80

T a b e l a 9

Trójstopniowy rozdział odpadów wydzielonych przy odsiarczaniu nadawy

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górnny	65,5	3,71	41,2	20,86
	dolny	13,4	10,05	22,9	42,72
2	górnny	78,9	4,77	64,1	23,80
	dolny	10,5	10,02	17,9	38,56
1	górnny	89,4	5,40	82,0	25,52
	dolny	10,6	10,04	18,0	44,00
	Nadawa	100,0	5,89	100,0	27,48

T a b e l a 10

Trójstopniowy rozdział półproduktu z tabeli 9 domielonego do uziarnienia 2-0 mm

Stopień	Produkt	Wychód %	Zawartość siarki %	Uzysk siarki %	Zawartość popiołu %
3	górnny	76,3	2,20	46,4	15,90
	dolny	7,5	6,38	13,0	31,24
2	górnny	83,8	2,73	59,4	17,21
	dolny	6,4	7,83	13,8	33,16
1	górnny	90,2	2,94	73,2	18,36
	dolny	10,8	8,94	26,8	37,42
	Nadawa	100,0	3,62	100,0	20,56

T a b e l a 11

Udział frakcji ciężarowych w odpadach
(z tab. 9)

Produkt	Frakcje ciężarowe, g/cm ³								
	- 1500			1500-1800			+1800		
	γ%	S%	h%	γ%	S%	h%	γ%	S%	h%
Odp. 1	36,5	1,25	6,14	6,3	1,59	20,66	57,2	11,98	65,88
Odp. 2	34,3	1,30	5,88	7,9	1,53	18,04	57,8	11,86	65,60
Odp. 3	29,0	1,29	6,78	9,3	1,47	15,48	61,7	11,94	67,64

Odebrane odpady bardzo znacznie różniły się na poszczególnych separatorach. Po pierwszym separatorze odebrano 14,9% odpadów o zawartości siarki 10,02%, natomiast na drugim i trzecim mimo niskich wychodów (6,8 i 3,7%) zawartość siarki była niska i wynosiła 3,96 i 3,16%. W sumie wydzielono jednak w odpadach 55% siarki. Połączone odpady po odsiarczaniu nadawy zawierały około 6% siarki. Trójstopniowa separacja tych odpadów pozwoliła wydzielić 65,5% półproduktu o zawartości siarki 3,71%. Półprodukt ten poddano kruszeniu poniżej 2 mm i kolejnej separacji otrzymując koncentrat węglowy o zawartości siarki 2,20% przy wychodzie 76% (tab. 10) i odpady o zawartości siarki w granicach 6,40-8,90%.

We wtórnej separacji odpadów bez ich kruszenia (tabela 9) obok wspomnianego półproduktu uzyskano 34,5% odpadów o zawartości siarki 10% i popiołu 41%.

W doświadczeniach z węglem kopalni Siersza zawierającym 3,40% S otrzymano zatem:

- 87,2% koncentratu o zawartości około 2,1% siarki,
- 4% półproduktu o zawartości około 7,5% siarki, oraz
- 8,8% odpadów o zawartości około 10% siarki.

Omówienie wyników

Przeprowadzone badania wydzielania odpadów z węgla energetycznych rejonu Jaworznicko-Mikołowskiego metodą fluidalną potwierdzają przydatność tej metody wzbogacania jako sposobu odsiarczania węgla przed spalaniem. We wszystkich przypadkach w koncentratkach pozostawało mniej niż połowa całkowitej ilości siarki (około 45%). Wydzielone odpady w stanie surowym zawierają średnio 6% siarki, znaczną ilość części palnych i popiołu w granicach 35%, a po dodatkowej operacji wzbogacania 10-12% siarki.

Proces wzbogacania w separatorze fluidyzacyjnym jest jedną z grawitacyjnych metod wzbogacania, co oznacza, że u podstaw rozdziału w tej metodzie leżą różnice w gęstości. Ziarna skały płonej mają wyższą gęstość od ziarn węgla, a jeszcze wyższą gęstość mają ziarna pirytu. Jednakże te trzy - upraszczając - rodzaje substancji są wzajemnie po-przerastane w taki sposób, że mogą tworzyć ziarna stanowiące różnego rodzaju zrosty o gęstościach zmieniających się w szerokich granicach.

Zawartość substancji mineralnej w węglu można ocenić z równania Parra [7]

$$SM = 1,08.A + 0,55.S$$

w którym A - procentowa zawartość popiołu,

S - procentowa zawartość siarki.

Pisząc:

$$a = 1,08.A$$

$$b = 0,55.S$$

otrzymuje się dla węgla surowego z kopalni Jaworzno-Bierut

$$\frac{a}{b} = 15,7$$

Dla otrzymanego koncentratu (A = 19%, S = 1,68%)

$$\frac{a}{b} = 22,20$$

Dla surowych odpadów (A = 28%, S = 6,31%)

$$\frac{a}{b} = 8,7$$

a dla odpadów końcowych (A = 43%, S = 12%)

$$\frac{a}{b} = 7,04.$$

Dla węgla surowego z kopalni Siersza $a/b = 11,32$; dla koncentratu $a/b = 15$, a dla odpadów końcowych $a/b = 8,05$.

Zawartość substancji mineralnej w odpadach końcowych, licząc na suchą masę w obu badanych węglach dochodzi do 60%. Wskaźnik a/b osiąga najwyższe wartości dla koncentratów, a najniższe dla odpadów. Oznacza to, że piryt stanowiący w węglu minerał o najwyższej gęstości przechodzi przede wszystkim do odpadów. W metodzie fluidalnej nie uzyskano jednak wyraźnej koncentracji pirytu jako czystego minerału. Można na podstawie wyników stwierdzić, że możliwym jest wydzielenie odpadów o za-

wartości 10-12% siarki dla każdego z badanych węgli. Odpady te będą zawierały około 45% popiołu.

Z przeprowadzonych badań rozdziału densymetrycznego, z których wyników tu nie zamieszczono widać, że maksymalne koncentracje siarki we frakcji $+1800 \text{ kg/m}^3$ wynoszą 10-12%. W otrzymanych odpadach zbliżone są więc do wartości granicznych jakie mogą być osiągnięte w grawitacyjnych metodach wzbogacania.

W stosunku do wyników w mokrych procesach wzbogacania [8,9,10] otrzymane rezultaty są wyraźnie gorsze, jednakże prostota metody może być czynnikiem mobilizującym do zastosowania jej na skalę przemysłową. Na podkreślenie zasługuje ponadto fakt, że we wszystkich wspomnianych tu pracach [8,9,10] materiałem wyjściowym były odpady o zawartości siarki 20% i więcej a nie węgiel surowy i dlatego uzyskiwano koncentrację rzędu 40-45% siarki.

Badania prowadzone od wielu lat nad odsiarczaniem węgla energetycznych w separatorach fluidyzacyjnych pozwalają obecnie na stwierdzenie, że metoda ta jest niezwykle tania, pozwala na usunięcie ponad połowy siarki zawartej w węglu i może być wprowadzona na szeroką skalę do odsiarczania węgla przed spalaniem. Jedyny problem mogą tu stanowić odpady z tego procesu zawierające około 10% siarki, ich wychód wynosi 10-12%. Znalazienie sposobów racjonalnego wykorzystania takiego produktu stanowi zatem ostatnią przeszkodę przed wprowadzeniem takiego procesu odsiarczania do przemysłu.

Literatura

- 1 Z. LUPA, J. LASKOWSKI, Zastosowanie separatorów fluidyzacyjnych do odsiarczania węgla energetycznych, Sesja Naukowa: Odsiarczanie węgla i spalin, Separator, Katowice 1973, zeszyt 1.
- 2 Z. LUPA, J. ISKRA, J. LASKOWSKI, Opracowanie metody odsiarczania węgla metodą fluidyzacyjną, Sprawozdanie Instytutu Przeróbki Kopalin Politechniki Śląskiej, Gliwice 1972.
- 3 Z. LUPA, J. ISKRA, Badania nad odsiarczaniem węgla metodą fluidalną w skali ćwierćtechnicznej, Sprawozdanie Instytutu Przeróbki Kopalin, Politechnika Śląska, Gliwice 1973.
- 4 Z. LUPA, J. ISKRA, Uzyskiwanie odpadów o pożądanych parametrach w procesie odsiarczania miazg energetycznych metodą fluidalną w skali ćwierćtechnicznej, Sprawozdanie Inst. Przeróbki Kopalin, Politechnika Śląska, Gliwice 1974.

- 5 Z. LUPA, Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1976.
- 6 Urządzenie do wzbogacania kopalin, Patent PRL Nr 77634.
- 7 J.W. LEONARD, Potential for further lowering sulfur in intensively cleaned coal at mines. Trans. AIME/SME, Sept. 1975.
- 8 S. DRYŚ i inni, Badania nad możliwością otrzymywania koncentratów pirytowych metodami grawitacyjnymi. XXI Sesja Naukowa AGH, Kraków 1971, t.1.
- 9 W. PILCH i inni, Możliwości otrzymywania koncentratów pirytowych z miazgu węgla energetycznego kopalni Jaworzno. Zeszyty Nauk.AGH. z. 35, 1972.
- 10 W. PILCH, J. BIERNAT, Otrzymywanie wysokojakościowych koncentratów pirytowych z produktów odpadowych. Przemysł Chemiczny 44, nr 6, 1965.