

Anna ŚWIERKOT-KOPAŁA

Stanisław BŁASZCZYŃSKI

Jan SZPYRKA

OKREŚLENIE RZECZYWISTEJ DOLNEJ GRANICY WZBOGACANIA ZIARNA WĘGLA W SEPARATORZE SPIRALNYM REICHERTA

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad określeniem rzeczywistej, dolnej granicy wielkości ziarna węglowego poddającego się procesowi rozdziału we wzbogacalniku spiralnym Reicherta - typ LD 4.

Stwierdzono, że dolną granicę wielkości ziarn poddających się rozdziałowi można przyjąć na poziomie 0,045 mm, w przypadku gdy górna granica wielkości wzbogacanych ziarn nie przekracza 1,0 mm.

DETERMINATION OF THE REAL LOWER LIMIT OF COAL GRAIN SEPARATION IN THE REICHERT SPIRAL SEPARATOR

Summary. The paper shows the results of investigations on determination of the lower limit of coal grain sizes undergoing separation process in the Reichert spiral separator of LD 4 type. It was stated that the lower grain size limit subjected to separation can be accepted on the 0,045 mm level in the case when the upper limit of the separated grain sizes does not exceed 1,0 mm.

1. OGÓLNE PODSTAWY PRZEBIEGU PROCESU ROZDZIAŁU W SEPARATORACH ZWOJOWYCH

Separator zwojowy jest to rynna robocza o przekroju wycinka koła, elipsy lub paraboli, zwinięta śrubowo wokół pionowej osi. Rynna robocza w starszych typach separatorów (np. Humphreya) wykonana jest w postaci odcinków skręcanych razem śrubami w zestawy o żądanej liczbie zwojów. Na jeden zwój składają się dwa lub trzy odcinki rynny. W dnie rynny znajdują się otwory będące odbiornikami frakcji ciężkich.

W nowszych rozwiązaniach (np. Reicherta) rynna wykonana jest jako jeden odlew tworząc jednolitą całość separatora. Frakcje ciężkie w tego typu urządzeniach odbierane są za pomocą specjalnych odbieralników ruchomych. Odbieralniki wycinają ze strugi frakcje o większej gęstości i kierują je do wewnętrznej części koryta wzbogacalnika. Ilość zwojów w jednym separatorze waha się od 3 do 6. Krzywa będąca wynikiem przecięcia się powierzchni śrubowej i cylindrycznej o wspólnej osi nazywa się linią śrubową.

Zawiesina wzbogacanego materiału podawana na separator zwojowy z podajnika, poruszając się po zwojach w dół pod działaniem sił odśrodkowych rozplywa się w poprzek zwoju przyjmując sierpowaty kształt.

Pod działaniem różnych sił ziarna o większej gęstości skupiają się po wewnętrznej stronie zwoju, cząsteczki o mniejszej gęstości znajdują sobie tor ruchu po zewnętrznej stronie zwoju. Frakcja lekka odbierana jest na końcu separatora, natomiast frakcja ciężka odbierana jest specjalnymi otworami umieszczonymi w odpowiednim miejscu płaszczyzny zwoju (w przypadku nowego typu separatorów rolę otworów w dnie rynny odbierających frakcję ciężką spełniają dodatkowe rozdzielacze). W jednym zwoju znajdują się 2 otwory bądź 1 rozdzielacz.

Badania ruchu zawiesiny po powierzchni wzbogacalnika zwojowego prowadzono w wielu placówkach naukowych [1,2,5,9] od podstaw drogą eksperymentalną. Określono kształt strugi zawiesiny płynącej we wzbogacalniku, a także kierunki ruchu powierzchniowych i przyściennych warstw. W rezultacie eksperymentów zostały ustalone następujące spostrzeżenia dotyczące przepływu zawiesiny we wzbogacalniku:

1. Struga pod działaniem sił odśrodkowych przyjmuje pochylenie w odniesieniu do płaszczyzny poziomej.

2. Grubość strugi zawiesiny jest minimalna w wewnętrznej części zwoju i maksymalna w środkowej.

3. Wraz ze zwiększeniem ilości nadawy grubość i kształt strugi zawiesiny w części wewnętrznej zwoju praktycznie się nie zmienia. W środkowej części zwoju grubość strugi wzrasta, przy czym jej górny punkt przesuwają się w górę zwoju.

4. Prędkość przepływu zawiesiny zmienia się wraz z odległością od osi wzbogacalnika. Prędkość strugi zawiesiny na wewnętrznej części zwoju wynosi 0,40 - 0,50 m/s, a na zewnętrznej 1,5 - 2 m/s.

Ziarna prowadzone przez lekko pochylony strumień wody we wzbogacalniku zwojowym podlegają działaniu następujących sił:

- sile naporu wody,
- sile ciężkości,
- sile odśrodkowej.

Ruch ziaren po zwojach separatora w ośrodku wodnym charakteryzuje się niżej wymienionymi cechami:

- na ruch mają wpływ następujące główne siły: siły ciężkości, siły tarcia na powierzchni roboczej, siły hydrodynamiczne,
- ziarna po zwojach separatora przemieszczają się: przesuując się po dnie w zawieszeniu w ośrodku wodnym lub dotykając dna przemieszczają się skokowo.

Jeżeli ziarna poruszają się po zwojach zawieszone lub chwilami dotykają dna, to oddziaływanie powierzchni zwoju na ziarno jest pośrednie lub występuje w krótkich odstępach czasu, a głównymi siłami są siły hydrodynamiczne. W obu przypadkach na ziarno działają również siły odśrodkowa i grawitacji.

Jak wynika z przeprowadzonych przez badaczy [1,2,3,4,5,8] eksperymentów, ruch ziaren po zwojach separatora można rozdzielić na dwa przypadki:

1. Ziarna poruszają się ruchem przyspieszonym lub opóźnionym i dążą do zajęcia takiego położenia, przy którym działające na nie siły równoważą się.
2. Ziarna poruszają się ze stałą prędkością po linii śrubowej, położonej w określonej odległości od osi wzbogacalnika w zależności od ich własności fizycznych.

Na przebieg procesu wzbogacania we wzbogacalnikach zwojowych zasadniczy wpływ mają następujące rozwiązania elementowych konstrukcyjnych:

1. profil przekroju poprzecznego zwoju,
2. długość separatora (liczba zwojów),
3. kąt pochylenia linii śrubowej,
4. ilość otworów odbierających ciężkie frakcje.

Głównym parametrem, który ma największy wpływ na proces wzbogacania, jest profil przekroju poprzecznego zwoju. Najbardziej odpowiednim profilem po wielu badaniach okazał się przekrój przedstawiający elipsę, której dłuższa oś położona jest poziomo. Zwoj o dużym promieniu zakrzywienia w poprzecznym przekroju pozwala otrzymać bardzo wyraźny wachlarz minerałów. Wzbogacalniki z takim profilem nie są czułe na zachwianie równomierności podania nadawy. We wzbogacalnikach mających profil zwoju o małym promieniu zakrzywienia wyraźny wachlarz rozdziału można otrzymać jedynie przez utrzymywanie dużej dokładności podawania nadawy.

Drugim parametrem mającym wpływ na proces wzbogacania jest długość linii śrubowej (liczba zwojów). Proces wzbogacania stabilizuje się już pod koniec pierwszego zwoju i na początku drugiego. Znaczna część materiału o wyższej gęstości już na pierwszym zwoju znajduje się na dnie i porusza się w dół wzbogacalnika po wewnętrznej stronie zwoju. W rezultacie tego można wyeliminować z procesu frakcje ciężkie już na końcu drugiego zwoju specjalnym otworem lub rozdzielaczem. Jednakże próby dowiodły, że dwa zwoje nie wystarczają do pełnego rozdziału frakcji ciężkich od lekkich. Dzieje się tak dlatego, że część lekkich ziaren mineralnych już na samym początku znajduje się na dnie i spełza w stronę wewnętrznej burty wzbogacalnika.

Kolejnym parametrem jest kąt pochylenia linii śrubowej do poziomu. Na proces wzbogacania w płynącym strumieniu wody ma wpływ wzajemny stosunek prędkości końcowej ziarn biorących udział w rozdziale. Im większy jest ten stosunek, tym lepsze uzyskuje się wyniki rozdziału materiału surowego według gęstości. Za duży kąt nachylenia linii śrubowej powoduje zmniejszenie stosunku pomiędzy prędkościami końcowymi i zdolność ziarn do rozdziału maleje. Na dobór kąta nachylenia ma również wpływ współczynnik tarcia materiału o powierzchnię koryta. Na podstawie tych założeń określono, że najkorzystniejszy kąt nachylenia mieści się w granicach 16-20°

Ostatnim parametrem jest ilość otworów, przez które odbiera się frakcje o wyższej gęstości. Z reguły w jednym zwoju wzbogacalnika znajdują się maksymalnie cztery otwory (wzbogacalniki typu Humphrey) [7].

W przypadku wzbogacalników Reicherta rolę otworów przejmują rozdzielacze.

Proces wzbogacania we wzbogacalnikach zwojowych uzależniony jest nie tylko od parametrów konstrukcyjnych, lecz także od parametrów technologicznych procesu, takich jak:

1. wielkość ziaren nadawy,
2. obciążenie wzbogacalnika,
3. zagęszczenie nadawy,
4. ustawienie rozdzielaczy,
5. wahania składu nadawy.

2. BADANIA W ZAKRESIE USTALENIA DOLNEJ GRANICY WIELKOŚCI ZIARN WĘGLOWYCH PODDAJĄCYCH SIĘ WZBOGACANIU W SEPARATORZE SPIRALNYM REICHERTA TYP LD 4

Charakterystyka separatora spiralnego stosowanego w badaniach

Według oceny producenta wzbogacalnik spiralny Reicherta typ LD 4 przeznaczony jest do wzbogacania drobnych ziarn węgla o wymiarach od 3 (2) do 0,075 mm o dużej, jak i niskiej zawartości popiołu. Korzystniejsze wyniki separacji ziarn odpadowych otrzymuje się dla uziarnienia poniżej 1,5 mm oraz w przypadku podziału na węższe klasy ziarnowe - tym węższe, im mniejsza różnica gęstości pomiędzy ziarnami odpadu i koncentratu.

Wzbogacalnik ten jest urządzeniem nie wymagającym dodatkowej wody zmywającej. Przekrój rynny wzbogacalnika jest złożony - część wewnętrzna ma mniejsze nachylenie niż część zewnętrzna. Punkt przecięcia tych części przesuwają się promieniowo z centralnej kolumny z góry rynny w jej dół. Spirala LD 4 ma zestaw rozdzielaczy umieszczony w punkcie wyładowczym rynny. Rozdzielacze pozwalają odebrać trzy produkty: odpady, półprodukt i koncentrat o żądanej zawartości popiołu. Ponadto w rynnie umieszczone są dodatkowe rozdzielacze odpadów. Kierują one łatwiejsze do wydzielenia ziarna pirytu i odpadów do odrębnego kanału odpadów znajdującego się wewnątrz głównej rynny. Spirala LD 4 może być montowana z pojedynczym, podwójnym i potrójnym kanałem nadawczym. W przypadku podwójnych i potrójnych kanałów nadawczych odpowiednie rozdzielacze są połączone ze sobą w punkcie odbiorczym, tak że przesunięcie jednego z rozdzielaczy pociąga za sobą

odpowiadający mu rozdzielacz na każdej z dwu lub trzech spiral. Spirale mogą być montowane w zestawach po dwie lub po cztery. Wzbogacalniki spiralne pracują efektywnie przy zagęszczeniu zawiesiny rzędu 25 - 45% części stałych (wagowo).

Zastosowana w badaniach spirala była typu podwójnego i charakteryzowała się następującymi parametrami technicznymi:

- wysokość separatora: 3000 mm,
- liczba zwojów: 5 (pojedyncza spirala),
- skok zwoju: 396 mm,
- średnica rynny: 920 mm.

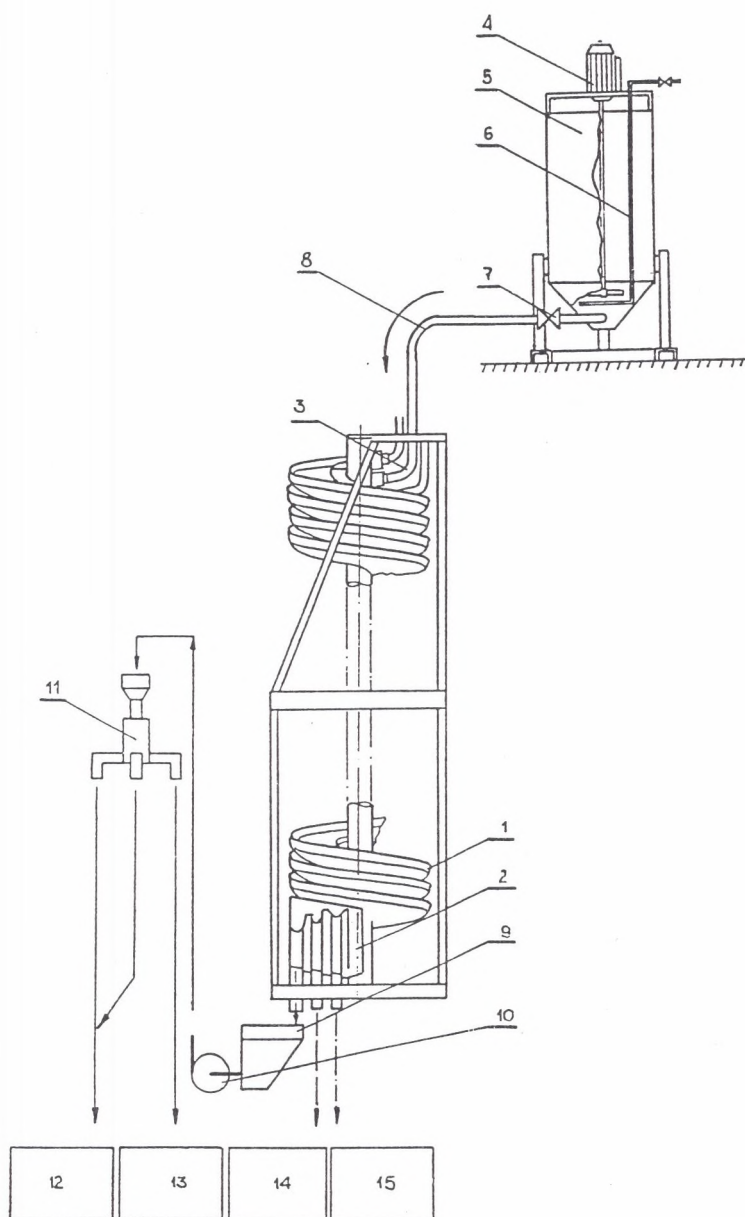
Metodyka i wyniki badań

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys.1. W skład stanowiska wchodzi:

1.spirala Reicherta LD 4, 2.rozdzielacze produktów, 3.wlot nadawy, 4.mieszalnik, 5.zbiornik nadawy, 6.aerator, 7.zawór, 8.przewód nadawczy, 9.rzapie koncentratu, 10.pompa, 11.kwartownik, 12.i 13.zbiorniki koncentratu, 14.zbiornik półproduktu, 15.zbiornik odpadów.

Nadawę na separator (1) przygotowywano w zbiorniku nadawczym (5), a następnie, po odpowiednim ujednorodnieniu zawiesiny - poprzez mieszanie mechaniczne oraz oddziaływanie sprężonym powietrzem i opróbowaniu, kierowano bezpośrednio na drugą sekcję wzbogacalnika spiralnego (1). Wielkość obciążenia regulowano za pomocą zaworu (7). Produkty wzbogacania odbierano w następujący sposób: - koncentrat, którego objętościowo było najwięcej, kierowano za pomocą pompy (10) na kwartownik (11), a następnie do zbiornika koncentratu, półprodukt i odpady odprowadzano do zbiorników (14,15). Po zakończeniu wzbogacania pobierano reprezentatywne próbki produktów, które analizowano pod względem zawartości popiołu oraz składu granulometrycznego. Analizę składu ziarnowego produktów przeprowadzano na mokro na następującym zestawie sit: 0,2, 0,102; 0,075; 0,045 mm.

Badania przeprowadzono na węglu z KWK „Krupiński” o uziarnieniu 0,3 - 0,0 mm, oraz na węglu z KWK „Bolesław Śmiały” w trzech klasach ziarnowych: 0,3 - 0,0 mm,



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 1. Diagram of the tests stand

0,5 - 0,0 mm, 1 - 0,0 mm. Wyżej wymieniony materiał stanowił przesącz spod przesiewacza zagęszczająco - odwadniającego, z którego produkt górny kierowany był do wzbogacania metodą wibrofluidalną.

Nadawę na spiralę przygotowano w dwóch wersjach - uproszczonej, w której pomniejszono udział najdrobniejszych ziarn z zastosowaniem hydrocyklonu, oraz trudniejszej, ujmującej materiał w stanie naturalnym (z dużą zawartością ziarn najdrobniejszych).

Wyniki analiz składu ziarnowego materiału stanowiącego nadawę na spiralę przedstawiono w tabelach od 1 do 4.

Tabela 1

Wyniki analizy składu ziarnowego wylewu z hydrocyklonu
wraz z zawartością popiołu w poszczególnych klasach ziarnowych -
KWK "Krupiński" 0,3 - 0,0 mm

Lp.	KLASA ZIARNOWA	WYCHÓD		ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		γ [%]	$\Sigma\gamma$ [%]	
	[mm]			A^s [%]
1	0,3-0,102	55,73	55,73	23,54
2	0,102-0,0	44,27	100,00	42,35
	SUMA	100,00		
	SREDNIA			31,87

Tabela 2

Wyniki analizy składu ziarnowego wylewu z hydrocyklonu
wraz z zawartością popiołu w poszczególnych klasach ziarnowych -
KWK "Bolesław Śmiały" 0,3 - 0,0mm

Lp.	KLASA ZIARNOWA	WYCHÓD		ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		γ [%]	$\Sigma\gamma$ [%]	
	[mm]			A^s [%]
1	0,3-0,2	47,30	47,30	27,23
2	0,2-0,102	24,58	71,88	32,07
3	0,102-0,075	9,80	81,68	50,66
4	0,075-0,045	5,35	87,03	56,90
5	0,045-0,0	12,97	100,00	58,49
	SUMA	100,00		
	SREDNIA			36,36

Tabela 3

Wyniki analizy składu ziarnowego materiału surowego
wraz z zawartością popiołu w poszczególnych klasach ziarnowych -
KWK "Bolesław Śmiały" 0,5-0,0 mm

Lp.	KLASA ZIARNOVA [mm]	WYCHÓD		ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		γ [%]	$\Sigma\gamma$ [%]	A^s [%]
1	0,5-0,2	31,95	31,95	21,40
2	0,2-0,102	14,97	46,92	29,28
3	0,102-0,075	7,43	54,35	30,25
4	0,075-0,045	5,84	60,19	28,62
5	0,045-0,0	39,81	100,00	48,33
	SUMA	100,00		
	ŚREDNIA			34,38

Tabela 4

Wyniki analizy składu ziarnowego materiału surowego
wraz z zawartością popiołu w poszczególnych klasach ziarnowych -
KWK "Bolesław Śmiały" 1,0 - 0,0 mm

Lp.	KLASA ZIARNOVA [mm]	WYCHÓD		ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		γ [%]	$\Sigma\gamma$ [%]	A^s [%]
1	1,00-0,102	61,01	61,01	26,08
2	0,102-0,045	10,23	71,24	30,20
3	0,045-0,0	28,76	100,00	48,18
	SUMA	100,00		
	ŚREDNIA			32,86

Przed rozpoczęciem badań nad określeniem dolnej granicy wielkości ziarna węglowego poddającego się procesowi rozdziału na wzbogacalniku spiralnym wykonano szereg prób mających na celu określenie najkorzystniejszego zagęszczenia nadawy oraz obciążenia wzbogacalnika. Próby te pozwoliły określić, że najkorzystniejsze zagęszczenie nadawy kształtuje się na poziomie 200 g/dcm³, a obciążenie na poziomie 0,5 t/h dla materiału o uziarnieniu 0,3 - 0,0 mm; 1,0 t/h - dla materiału o uziarnieniu 0,5 - 0,0 mm; 2,2 t/h - dla materiału o uziarnieniu 1,0 - 0,0 mm.

Wyniki wzbogacania węgla scharakteryzowanych w tabelach od 1 do 4 przedstawiono w tabelach od 5 do 8, w których ujęto rozkład ziarnowy w produktach wzbogacania wraz z zawartością popiołu.

W tabelach od 9 do 12 zestawiono faktycznie otrzymane wyniki wzbogacania w postaci wychodów i zawartości popiołu w produktach, wraz z przeliczonymi po wyeliminowaniu z nich ziarn najdrobniejszych.

Tabela 5

Wyniki wzbogacania węgla z KWK "Krupiński" (wylew z hydrocyklonu)
w klasie ziarnowej 0,3-0,0 mm na spirali Reicherta LD 4
{zagęszczenie nadawy - 200 g/dm³, obciążenie spirali nadawą - 0,5 t/h (1,5 m³/h)}

Lp	PRODUKT	KLASA ZIARNOVA	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO PRODUKTU	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO NADAWY	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		[mm]	[%]	[%]	A ^a %
1	KONCENTRAT	0,3-0,102	50,77	23,42	6,54
		0,102-0,045	10,54	4,86	10,20
		0,045-0,0	38,69	17,84	41,73
	SUMA		100,00	46,12	
	SREDNIA				20,54
2	PÓLPRODUKT	0,3-0,102	63,56	17,99	16,84
		0,102-0,0	36,44	10,32	40,35
	SUMA		100,00	28,31	
	SREDNIA				25,41
3	ODPADY	0,3-0,102	60,23	15,40	55,29
		0,102-0,0	39,77	10,17	57,51
	SUMA		100,00	25,57	
	SREDNIA				56,17

Tabela 6

Wyniki wzbogacania węgla z KWK "Bolesław Śmiały" (wylew z hydrocyklonu)
w klasie ziarnowej 0,3 - 0,0 mm na spirali Reicherta LD 4
{zagęszczenie nadawy - 200 g/dm³, obciążenie spirali nadawą - 0,5 t/h (1,5 m³/h)}

Lp.	PRODUKT	KLASA ZIARNOVA	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO PRODUKTU	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO NADAWY	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		[mm]	[%]	[%]	A ^a %
1	KONCENTRAT	0,3-0,2	33,56	14,70	6,75
		0,2-0,102	26,85	11,76	10,65
		0,102-0,075	13,77	6,03	28,36
		0,075-0,045	2,50	1,10	40,81
		0,045-0,0	23,32	10,21	55,75
	SUMA		100,00	43,80	
	ŚREDNIA				23,05
2	PÓLPRODUKT	0,3-0,2	45,70	11,78	15,67
		0,2-0,102	32,92	8,48	19,97
		0,102-0,075	10,46	2,70	40,16
		0,075-0,045	1,53	0,39	54,77
		0,045-0,0	9,39	2,42	61,05
	SUMA		100,00	25,77	
	ŚREDNIA				24,50
3	ODPADY	0,03-0,2	30,14	9,17	61,61
		0,2-0,102	39,04	11,88	61,87
		0,102-0,075	19,63	5,97	69,73
		0,075-0,045	3,53	1,08	70,81
		0,045-0,0	7,66	2,33	68,07
	SUMA		100,00	30,43	
	ŚREDNIA				64,13

Tabela 7

Wyniki wzbogacania węgla z KWK "Bolesław Śmiały" w klasie ziarnowej
 0,5-0,0 mm na spirali Reicherta LD 4
 {zagęszczenie nadawy - 200 g/dm³, obciążenie spirali nadawą- 1,0 t/h (4,5 m³/h)}

Lp.	PRODUKT	KLASA ZIARNOWA	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO PRODUKTU	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO NADAWY	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		[mm]	[%]	[%]	A ^a %
1	KONCENTRAT	0,5-0,2	23,28	12,69	6,57
		0,2-0,102	11,05	6,02	12,01
		0,102-0,075	6,71	3,66	14,81
		0,075-0,045	6,71	3,66	19,06
		0,045-0,0	52,25	28,49	49,54
	SUMA		100,00	54,52	
	ŚREDNIA				31,02
2	PÓLPRODUKT	0,5-0,2	42,89	10,03	13,61
		0,2-0,102	13,67	3,20	15,63
		0,102-0,075	7,06	1,65	21,82
		0,075-0,045	5,28	1,23	28,37
		0,045-0,0	31,10	7,27	48,22
	SUMA		100,00	23,38	
	ŚREDNIA				26,01
3	ODPADY	0,5-0,2	40,92	9,04	56,34
		0,2-0,102	24,43	5,40	52,03
		0,102-0,075	8,79	1,94	51,83
		0,075-0,045	5,79	1,28	50,00
		0,045-0,0	20,07	4,44	54,28
	SUMA		100,00	22,10	
	ŚREDNIA				54,11

Tabela 8

Wyniki wzbogacania węgla z KWK "Bolesław Śmiały" w klasie ziarnowej
 1,0-0,0mm na spirali Reicherta LD 4
 {zagęszczenie nadawy - 200 g/dm³, obciążenie spirali nadawą - 2,2 t/h (12 m³/h)}

Lp.	PRODUKT	KLASA ZIARNOWA	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO PRODUKTU	WYCHÓD POSZCZEGÓLNYCH KLAS W STOSUNKU DO NADAWY	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU
		[mm]	[%]	[%]	A ^a %
1	KONCENTRAT	1,00-0,102	55,42	43,10	12,52
		0,102-0,045	11,63	9,04	24,48
		0,045-0,0	32,95	25,62	47,51
	SUMA		100,00	77,76	
	ŚREDNIA				25,44
2	PÓLPRODUKT	1,00-0,102	78,99	8,25	43,55
		0,102-0,045	6,59	0,69	37,07
		0,045-0,0	14,42	1,51	51,29
	SUMA		100,00	10,45	
	ŚREDNIA				44,24
3	ODPADY	1,00-0,102	83,63	9,86	74,11
		0,102-0,045	6,45	0,76	57,45
		0,045-0,0	9,92	1,17	62,83
	SUMA		100,00	11,79	
	ŚREDNIA				71,92

Tabela 9

Zestawienie rzeczywistych wyników rozdziału węgla (wylewu z hydrocyklonu) z KWK "Krupiński" w klasie ziarnowej 0,3-0,0 mm z przeliczonymi po wyeliminowaniu (odcięciu) ziarn najdrobniejszych (0,102-0,0 mm)

Lp.	PRODUKT	WYCHÓD PRODUKTU	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU W PRODUKCIE	WYCHÓD KLASY ZIARN. <102µm W STOSUNKU DO NADAWY	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <102µm	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU W PRODUKCIE PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <102µm	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <102µm W STOSUNKU DO NADAWY ODMULONEJ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	KONCENTRAT	46,12	20,54	22,70	23,42	6,54	41,22
2	PÓŁPRODUKT	28,31	25,41	10,32	17,99	16,84	31,67
3	ODPADY	25,57	56,17	10,17	15,40	55,29	27,11
	SUMA	100,00		43,19	56,81		100,00
	SREDNIA		31,03			23,02	

Tabela 10

Zestawienie rzeczywistych wyników rozdziału węgla (wylewu z hydrocyklonu) z KWK "Bolesław Śmiały" w klasie ziarnowej 0,3 - 0,0 mm z przeliczonymi po wyeliminowaniu (odcięciu) ziarn najdrobniejszych (0,045 - 0,0 mm)

Lp.	PRODUKT	WYCHÓD PRODUKTU	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU W PRODUKCIE	WYCHÓD KLASY ZIARN. <45µm W STOSUNKU DO NADAWY	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm	ZAWARTOŚĆ POPIOŁU W PRODUKCIE PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm W STOSUNKU DO NADAWY ODMULONEJ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	KONCENTRAT	43,80	23,05	10,21	33,59	13,11	39,50
2	PÓŁPRODUKT	25,77	24,50	2,42	23,35	20,71	27,46
3	ODPADY	30,43	64,13	2,33	28,10	63,80	33,04
	SUMA	100,00		14,96	85,04		100,00
	SREDNIA		35,97			31,95	

Tabela 11

Zestawienie rzeczywistych wyników rozdziału węgla z KWK "Bolesław Śmiały"
w klasie ziarnowej 0,5 - 0,0 mm z przeliczonymi po wyeliminowaniu
(odcięciu) ziarn najdrobniejszych (0,045 - 0,0 mm)

Lp.	PRODUKT	WYCHÓD PRODUK- TU	ZAWAR- TOŚĆ POPIOŁU W PRODUK- CIE	WYCHÓD KLASY ZIARN. <45µm W STOSUN- KU DO NADAWY	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm	ZAWAR- TOŚĆ POPIOŁU W PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm	WYCHÓD PROD. PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45µm W STOSUNKU DO NADAWY ODMULO- NEJ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	KONCEN- TRAT	54,52	31,02	28,49	26,03	10,75	43,53
2	PÓLPRO- DUKT	23,38	26,01	7,27	16,11	15,99	26,94
3	ODPADY	22,10	54,11	4,44	17,66	54,07	29,53
	SUMA	100,00		40,20	59,80		100,00
	SREDNIA		34,95			24,95	

Tabela 12

Zestawienie rzeczywistych wyników rozdziału węgla z KWK "Bolesław Śmiały"
w klasie ziarnowej 1,0 - 0,0 mm z przeliczonymi po wyeliminowaniu
(odcięciu) ziarn najdrobniejszych (0,045 - 0,0 mm)

Lp.	PRODUKT	WYCHÓD PRODUK- TU	ZAWAR- TOŚĆ POPIOŁU W PRODUK- CIE	WYCHÓD KLASY ZIARN. <45 μ m W STOSUN- KU DO NADAWY	WYCHÓD PROD PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45 μ m	ZAWAR- TOŚĆ POPIOŁU W PROD.PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45 μ m	WYCHÓD PROD.PO ODCIĘCIU KLASY ZIARN. <45 μ m W STOSUNKU DO NADAWY ODMULO- NEJ
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	KONCEN- TRAT	77,76	25,44	25,62	52,14	14,60	72,72
2	PÓLPRO- DUKT	10,45	44,24	1,51	8,94	43,05	12,47
3	ODPADY	11,79	71,92	1,17	10,62	72,92	14,81
	SUMA	100,00		28,30	71,70		100,00
	ŚREDNIA		32,88			26,79	

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki wzbogacania węgla z KWK „Krupiński” - wylew z hydrocyklonu klasa ziarnowa 0,3 - 0,0 mm - przedstawia tabela 5. W tym doświadczeniu analizowano zachowanie się ziarn o wielkości poniżej 0,102 mm. Udział tych ziarn w nadawie wynosił 44,27% o zapopieleniu 42,35% (tabela 1). W wyniku przeprowadzonego wzbogacania, do koncentratu - w stosunku do nadawy - przeszło ich 22,70% o zawartości popiołu 34,98%, co stanowiło niemal połowę udziału w całości wychodu koncentratu. Wartości te zaważyły na średniej zawartości popiołu w tym koncentracie wynoszącej $v = 20,54\%$, bowiem zapopielenie ziarn 0,3 - 0,102 mm wynosiło tylko 6,54%. Ziarna w klasie 0,102 - 0,0 mm stanowiły w półprodukcie około 1/3 całości wychodu, a ich zapopielenie wynosiło 40,35%

przy średnim zapopieleniu półproduktu $\mu = 25,41\%$. Do odpadów przeszło 10,17% ziarn w klasie 0,102 - 0,0 mm (w stosunku do całości w nadawie) o zapopieleniu 57,51%. Rozpatrując rozkład ziarn poniżej 0,102 - biorąc ich udział jako 100% - w poszczególnych produktach wzbogacania, zauważa się, że aż połowa (52,56%) trafia do koncentratu, a po 1/4 do półproduktu (23,89%) i odpadów (23,55%).

Powyższe dane, a w szczególności fakt, że zapopielenie w rozpatrywanej klasie ziarnowej jest zróżnicowane w poszczególnych produktach od 34,98% do 57,51%, zasugerowały, by obniżyć granicę rozpatrywanego najdrobniejszego ziarna. Wykonano więc dodatkową analizę granulometryczną koncentratu, która wykazała, że ziarna o wielkości 0,045 - 0,0 mm stanowią 38,69% całości koncentratu, a ich zapopielenie wynosi 41,73%. Tak więc udział ziarn - 0,045 mm w koncentracie powoduje wzrost zapopielenia koncentratu do 20,54%. Gdyby usunąć te ziarna z koncentratu, zawartość popiołu obniżyłaby się do $v = 7,16\%$

Wyniki rozdziału węgla z KWK „Bolesław Śmiały” stanowiącego wylew z hydrocyklonu o uziarnieniu 0,3 - 0,0 mm (tabela 2), a więc pozbawionego znacznej ilości ziarn najdrobniejszych, przedstawiono w tabeli 6.

W nadawie na separator klasy 0,102 - 0,075 mm znajdowało się 9,80 %, klasy 0,075 - 0,045 mm - 5,35%, a klasy poniżej 0,045 mm - 12,97%. Zapopielenie węgla w tych klasach było podobne i wynosiło odpowiednio: 50,66%, 56,90% i 58,49% (na podstawie tabeli 2).

Do koncentratu wraz z nisko zapopielonymi ziarnami o wielkości powyżej 0,102 mm (średni popiół 8,48%) przedostały się ziarna o podwyższonej zawartości popiołu, zwłaszcza ziarna w klasie 0,075 - 0,045 mm - w nieznacznej ilości w stosunku do nadawy ($\gamma = 1,10\%$) o zawartości popiołu 40,81% - oraz ziarna poniżej 0,045 mm w ilości 10,21% (w stosunku do 100% nadawy) - tabela 6. Ilość ziarn poniżej 0,045 mm, jaka trafia do koncentratu z całości tej klasy, wynosi aż 68,25%. Usunięcie tych ziarn z koncentratu pozwoliłoby obniżyć zawartość popiołu w koncentracie o 9,94% i zapopielenie wynosiłoby $v = 13,11\%$ (tabela 10), zaś wydzielenie ziarn poniżej 0,075 mm spowodowałoby dalszy spadek zapopielenia koncentratu do 12,17%. Prześledzenie rozkładu zapopielenia węgla o uziarnieniu 0,102 - 0,075 mm w poszczególnych produktach pozwala stwierdzić, że podlega on jeszcze procesowi rozdziału, gdyż wartość ta w koncentracie wynosi 28,36%, w półprodukcie 40,16%, w odpadach 70,81%. Dla węgla o uziarnieniu poniżej 0,045 mm obserwuje się

nieznacznie zróżnicowane zapopielenie (dla koncentratu - 55,75%, półproduktu - 61,05%, odpadów - 68,07%), pozwalające stwierdzić, że ziarna te w znikomym stopniu poddają się procesowi rozdziału w separatorze zwojowym.

W obydwu omówionych wyżej doświadczeniach występuje zarówno prawidłowe zapopielenie odpadów (dla KWK „Krupiński” $\beta = 56,17\%$, dla KWK „Bolesław Śmiały” $\beta = 64,13\%$), jak i zawartość popiołu w analizowanych klasach ziarnowych wchodzących w skład wydzielanych na separatorze odpadów.

Kolejne wzbogacanie przeprowadzono z nadawą znacznie trudniejszą. Nadawę stanowił materiał surowy z KWK „Bolesław Śmiały” bez uprzedniego wydzielenia części ziarn najdrobniejszych w hydrocyklonie, jak miało to miejsce w badaniach wcześniejszych. Udział ziarn o wymiarze poniżej 0,102 mm wynosił 53,62%, a poniżej 0,045 mm - 40,20% (dane na podstawie tabeli 7), przy czym poszerzony został również przedział wielkości ziarn nadawy i wynosił 0,5 - 0,0 mm. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 7.

Otrzymano koncentrat, którego zapopielenie $v = 31,02\%$ przewyższało wartość zapopielenia półproduktu $\mu = 26,01\%$. Z przeprowadzonych analiz sitowych produktów rozdziału wynika, że koncentrat stanowiło 52,25% ziarn poniżej 0,045 mm o zapopieleniu 49,54%, a półprodukt 31,10% o zapopieleniu 48,22%. Z 40,20% ilości ziarn o wielkości poniżej 0,045 mm w nadawie do koncentratu przeszło około 2/3 (28,49%), a tylko 1/3 rozdzieliła się pomiędzy półprodukt (7,27%) i odpady (4,44%). Taki rozkład rozpatrywanych ziarn najdrobniejszych pomiędzy produkty wzbogacania musiał dać anomalie ich średniego zapopielenia. Rozkład ziarn o wielkości w granicach 0,075 - 0,045 mm jest znacznie bardziej prawidłowy, aczkolwiek ich zapopielenie w koncentracie jest stosunkowo duże (19,06%) - co również podwyższa średnie zapopielenie tego koncentratu. Z 6,17% tej klasy w nadawie ponad połowa (3,66%) trafiła do koncentratu. Występuje jednak widoczne zróżnicowanie zawartości popiołu dla ziarn o wymiarze 0,075 - 0,045 mm, przechodzących do koncentratu ($A^a = 19,06\%$) i odpadów ($A^a = 50,0\%$), co nie występuje w przypadku ziarn w klasie poniżej 0,045 mm.

Ostatnie podsumowujące doświadczenie wykonano również dla materiału surowego z KWK „Bolesław Śmiały”, podnosząc jeszcze górną granicę wielkości wzbogacanego ziarna do 1 mm.

Wykonano skrócone analizy sitowe pomijając klasę 0,075 - 0,045 mm, korzystając z wcześniejszych obserwacji, że ziarna w tej klasie poddają się dość prawidłowo procesowi rozdziału pomiędzy produkty wzbogacania. Wyniki tego doświadczenia ujęto w tabeli 8.

W materiale stanowiącym nadawę na spiralę 61,01% to ziarna o wielkości 1,0 - 0,102 mm (zapopielenie 26,08%), a 28,76% - ziarna o wymiarze poniżej 0,045 mm i zapopieleniu 48,18% (tabela 4). W wyniku przeprowadzonego rozdziału otrzymano koncentrat w ilości 77,76% i zapopieleniu $v = 25,44\%$, półprodukt o wychodzie 10,45% i zawartości popiołu $\mu = 44,24\%$, oraz odpady o zawartości popiołu $\beta = 71,92\%$ w ilości 11,79%. Wyniki analizy sitowej produktów rozdziału wykazały, że do koncentratu trafiła niemal całość ziarn poniżej 0,045 mm (z 28,76% w nadawie przedostało się do koncentratu 25,62%). Gdyby ziarna te zostały usunięte z koncentratu, jego zapopielenie zmniejszyłoby się do 14,60% (tabela 12). Ziarna w największej rozpatrywanej klasie ziarnowej 1,0 - 0,102 mm rozdzieliły się następująco pomiędzy produkty wzbogacania (tabela 8):

- koncentrat: ilość 43,10%, zawartość popiołu 12,52%,
- półprodukt: ilość 8,25%, zawartość popiołu 43,55%,
- odpady: ilość 9,86%, zawartość popiołu 74,11%.

Ziarna o przedziale wielkości 0,102 - 0,045 mm rozdzieliły się pomiędzy koncentrat, półprodukt i odpady odpowiednio: 9,04% ($A^a = 24,48\%$), 0,69% ($A^a = 37,07\%$), 0,76% ($A^a = 57,45\%$).

4. WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania z zastosowaniem przemysłowej spirali Reicherta typ LD 4 wykazały dobrą skuteczność rozdziału dla badanych węgla.
2. Dolną granicę wielkości ziarn poddających się rozdziałowi określoną przez producenta na poziomie 0,075 mm można obniżyć do wielkości 0,045 mm, w przypadku gdy górna granica wielkości ziarn nie przekracza 1,0 mm.

3. Badania wykazały, że istotny wpływ na zapopielenie produktów rozdziału ma rozkład ziarn w klasie 0,045 - 0,0 mm, które unoszone są strumieniem wody nie podlegając rozdziałowi. Ponieważ największa ilość wody lokuje się w strumieniu niosącym koncentrat, stąd jego zapopielenie rośnie ze wzrostem udziału tych ziarn w nadawie.
4. Ziarna o wielkości 0,045 - 0,0 mm wpływają decydująco na jakość koncentratu, co zasygnalizowano we wniosku 3. Wyraźnie uwidacznia się to dla węgla z KWK „Bolesław Śmiały”, gdzie z 40,20% ilości ziarn poniżej 0,045 mm w nadawie do koncentratu przeszło 2/3 (28,49%). Konsekwencją tego faktu jest podniesienie zawartości popiołu w koncentracie do wartości 31,02% przy zawartości 10,75% po usunięciu ziarn 0,045 - 0,0 mm (tabela 11).
5. Analiza uzyskanych wyników prowadzi do wniosku, że nadawa do wzbogacania z zastosowaniem spirali Reicherta powinna być w jak największym stopniu pozbawiona ziarn poniżej 0,045 mm. Usunięcie ich z koncentratu jest znacznie trudniejsze, ponieważ w trakcie procesu odwadniania filtracyjnego będą one powodem niskiej efektywności tego procesu z równoczesnym zatrzymaniem dość znacznej ilości tych ziarn na powierzchni osadzonych na siatce filtracyjnej ziarn grubszych.

LITERATURA

1. Kizewalter B.W.: Teoreticzeskije osnovy grawitacionnych processow obogaszczeniija. "Nedra". Moskwa, 1979 r.
2. Anikin M., Iwanow W.D., Piewznier M.: Wintowyje separatory dla obogaszczeniija rud. "Nedra". Moskwa.
3. Kizewalter B.W., Bazylewskij A.M.: Gidrodinamiczeskij analiz dwizenija czasticy po żelobu wintowego separatora. Mechanobr 6 wyd. 139, 1974 r.
4. Stachanow G.A., Chołobow H.G., Żochin W.N.: K woprosu opriedielenije skorosti ziarna w wintowom separatorie. Metalurgizdat, Moskwa 1956 r.

5. Sołomin K.W.; Obsznieje principy processa obogaszczeniya poleznych iskopajemych na wintowych separatorach. Metalurgizdat, Moskwa 1956 r.
6. "Poradnik Górnika" - tom V. Wydaw. "Śląsk", Katowice 1976 r.
7. Blaschke S.: Przeróbka mechaniczna kopalín. Cz.I. Wydaw. "Śląsk" Katowice 1982 r.
8. Holland-Batt A.B.: The Effect of Feed Rate on the Performance of Coal Spirals. Coal Preparation, str.199-222, tom 14, 1994 r.
9. Materiały firmy "Mineral Deposits" Ltd.
10. Stepiński W.: Wzbogacanie grawitacyjne. PWN, Warszawa - Kraków 1964 r.

Recenzent: Dr inż. Stanisław Reiser

Wpłynęło do Redakcji 23 października 1995 r.

Abstract

The paper deals with the results of investigations on determination of the lower limit of coal grain size undergoing the process of separation in the Reichert spiral separator of the LD 4 type.

The investigations were carried out using the coal grain size 0,3 - 0,0 mm and the coal from the „Bolesław Śmiały” coal mine, of three ranges of grain classes: 0,3 - 0,0 mm; 0,5 - 0,0 mm; 1,0 - 0,0 mm. The feed for the spiral separator was prepared in two versions - the simplified one, in which the participation of the finest grains was reduced by means of hydrocyklone and the more complicated one, using the natural distribution of grains (with high content of the fines). It was stated that the lower limit of grains undergoing separation can be accepted on the level of 0,045 mm in the case when the upper limit of grain sizes does not exceed 1 mm. This result is more advantageous than the one, quoted by the spiral manufacturer who determinates this limit on the level of 0,075 mm.