

Alicja Nowak, Agnieszka Surowiak**

OCENA DOKŁADNOŚCI ROZDZIAŁU DROBNYCH (< 2 mm) ZIAREN MIAŁÓW WĘGLOWYCH W PROCESIE ODSIARCZANIA W SEPARATORACH ZWOJOWYCH**

1. Wprowadzenie

W uruchamianych po 1990 roku zakładach przeróbki miałóW węgla energetycznych do wzbogacania, a zwłaszcza do odsiarczania klasy ziarnowej drobniejszej od 2 mm zastosowano separatory zwojowe. W zależności od zawartości popiołu i siarki w tym materiale układy technologiczne obejmowały bądź to jednostopniowe wzbogacanie klasy $2\pm 0,04$ mm, bądź też separację dwustopniową z wydzielaniem w pierwszym stopniu rozdziału produktu pośredniego, który stanowił nadawę drugiego stopnia wzbogacania lub też oddzielne wzbogacanie klas $2\pm 0,5$ mm i $0,5\pm 0,04$ mm. W ciągu następnych kilkunastu lat układy te, dostosowywane do zmieniających się właściwości surowca ulegały modyfikacji i obecnie schematy technologiczne odsiarczania najdrobniejszych klas ziarnowych miału znacznie odbiegają od zaprojektowanych.

Celem niniejszej pracy jest analiza efektów wzbogacania najdrobniejszych klas ziarnowych w separatorach zwojowych w dwóch różnych zakładach przeróbki miałóW węglo- wych. Analiza taka winna umożliwić ocenę skuteczności działania — ostrości rozdziału w tych urządzeniach, prawidłowego doboru parametrów ich pracy i przyjętego rozwiązania technologicznego.

Ocenę dokładności wzbogacania przeprowadzono w oparciu o wskaźniki wyznaczone z krzywych rozdziału. Aby umożliwić porównanie ostrości rozdziału poszczególnych wąs- kich klas ziarnowych obliczone współrzędne punktów krzywych rozdziału aproksymowano rozkładem Weibulla.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Artykuł opracowano w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.100.196 oraz 11.11.100.276

2. Krzywe rozdziału w procesie wzbogacania

Wzbogacanie w separatorach zwojowych jak każdy proces masowy jest procesem losowym, w którym można mówić jedynie o prawdopodobnym zachowaniu się ziarna o określonych własnościach fizycznych i geometrycznych w przepływającym strumieniu zawiesiny. Losowość procesu wynika z faktu, że obok oddziaływań sprzyjających rozdziałowi (uporządkowaniu) na warstwy o różnych własnościach istnieją oddziaływania burzące ten porządek, których wielkość może się zmieniać od punktu do punktu. Tak jak w rachunku prawdopodobieństwa, definiuje się liczbę rozdziału, czyli prawdopodobieństwo trafienia ziaren do określonego produktu rozdziału. Dla odpadów liczba rozdziału wyraża się wzorem:

$$T_p = \frac{n_o}{n_f} \quad (1)$$

gdzie:

- T_p — liczba rozdziału dla ziaren o gęstości ρ ,
- n_o — liczba ziaren o gęstości ρ trafiająca do odpadów,
- n_f — liczba ziaren o tej gęstości w nadawie.

Wzór (1) przedstawia więc prawdopodobieństwo trafienia ziarna o gęstości ρ do odpadów. Zależność liczby rozdziału od gęstości ziarna przedstawia funkcję rozdziału, a jej graficznym obrazem jest krzywa rozdziału. Pierwszy Tromp [22] zastosował tę formę do analizy procesów rozdziału. Empirycznie liczby rozdziału wyznacza się poprzez analizę densymetryczną nadawy oraz produktów rozdziału. Znane są również metody znacznikowe dla określania liczb rozdziału [3, 4, 13].

Dla ciągłego rozkładu gęstości funkcję rozdziału dla odpadów przedstawia następujące wyrażenie [18, 19]:

$$T(\rho) = \gamma_o \frac{f_o(\rho)}{f(\rho)} \quad (2)$$

gdzie:

- γ_o — wychód odpadów,
- $f_o(\rho)$ — funkcja gęstości rozkładu gęstości ziaren w odpadach,
- $f(\rho)$ — funkcja gęstości rozkładu gęstości w nadawie.

Jest to zatem funkcja uzysku ziaren o gęstości ρ w odpadach.

Na przestrzeni kilkudziesięciu lat funkcję rozdziału przybliżano różnymi funkcjami zmiennych losowych. Przez analogię z prawem rozkładu losowych błędów pomiaru rozproszanie ziaren o danej gęstości ρ wokół wartości najbardziej prawdopodobnej przyjęło się za Trompem [22] i Terrą [21] przybliżać funkcją gęstości rozkładu normalnego:

$$t(\rho) = \frac{h_r}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-h_r^2 (\rho - \rho_r)^2\right] \quad (3)$$

gdzie:

$t(\rho)$ — funkcja rozproszenia,

ρ_r — gęstość rozdziału,

h_r — parametr funkcji prawdopodobieństwa będący miarą dokładności rozdziału.

Funkcja rozdziału wyraża się przez funkcję rozproszenia według następującej zależności [1, 2, 9, 11]:

$$T(\rho) = \int_{-\infty}^{\rho} t(\rho) d\rho = \frac{h_r}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\rho} \exp\left[-h_r^2 (\rho - \rho_r)^2\right] d\rho \quad (4)$$

Według wzorów (3) i (4) wielkość ρ_r interpretuje się jako gęstość ziaren, które statystycznie w połowie trafiają do odpadów, a w połowie do koncentratu. Wielkość ta stanowi jeden z parametrów oceny wyników rozdziału na podstawie krzywej rozdziału.

Przedstawiony powyżej model funkcji rozdziału jest jednym z wielu modeli empirycznych najczęściej stosowanych w analizie wyników rozdziału we wzbogacalnikach grawitacyjnych. Asymetria funkcji rozdziału wyrażonej wzorem (4) jest równa 0. Jest to więc rozkład symetryczny. W praktyce analizy wyników rozdziału stosowano również asymetryczne funkcje rozkładu zmiennych losowych. Do najczęściej stosowanych należą funkcje rozkładów: Weibulla, Gatesa-Gaudina-Schuhmanna, log-normalnego [20] oraz funkcje *arctg*, *tgh* oraz funkcja logistyczna [16, 17] i dystrybuanta rozkładu beta [15]. Argumentem rozdziału w powyższych modelach jest gęstość ziarna. Znane są modele z zastosowaniem funkcji rozkładu Weibulla oraz rozkładu dwumianowego, w których argumentem rozdziału jest stosunek gęstości ziarna do gęstości rozdziału ρ/ρ_r [5–8, 10]. Po takiej transformacji krzywe rozdziału wykreślone dla różnych wartości gęstości rozdziału można sprowadzić do jednej krzywej. Wszystkie wymienione powyżej modele funkcji rozdziału są modelami dwuparametrowymi. Znane są również modele o trzech, czterech i pięciu parametrach [12]. Każdy model procesu czy zjawiska jest tym lepszy, im mniej zawiera parametrów przy tej samej dokładności dopasowania do zależności empirycznej. W związku z tym można powiedzieć, że modele dwuparametrowe są z zasady lepsze od modeli zawierających więcej niż dwa parametry.

2.1. Ocena dokładności rozdziału

W przypadku idealnego wzbogacania kopaliny rozdział na produkty dokonuje się według ściśle określonej granicy rozdziału, którą jest np. gęstość ziaren surowca. Wówczas ziarna o gęstości mniejszej trafiają do koncentratu, a ziarna o gęstości większej do odpadów (w przypadku węgla). Jednakże w warunkach przemysłowych jest to praktycznie niemożliwe do zrealizowania, gdyż na ostateczny wynik rozdziału, poza różnicami w gęstościach ziaren, wpływają takie parametry jak: zróżnicowana wielkość i kształt ziaren, porowatość,

wzajemne oddziaływania mechaniczne między ziarnami, turbulencja, obciążenie nadawą i wiele innych. Wszystkie te czynniki powodują, że ziarna o ściśle określonej gęstości nie trafiają do właściwych produktów rozdziału. Są skoncentrowane w produktach w których nie powinny się znajdować obniżając w ten sposób dokładność separacji.

Do analizy efektywności rozdziału służą wskaźniki rozdziału. Najbardziej rozpowszechnionymi i najczęściej stosowanymi wskaźnikami oceny dokładności rozdziału są wskaźniki oparte o krzywe rozdziału. Gęstość rozdziału jest gęstością takich ziaren, które statystycznie w połowie trafiają do odpadów, a w połowie do koncentratu, czyli $\rho_r = \rho(T = 50)$. Analogicznie definiuje się gęstości ρ_{25} i ρ_{75} .

Wskaźnikami dokładności rozdziału wyznaczanymi z krzywej rozdziału są:

- rozproszenie prawdopodobne E_p — zdefiniowane jako:

$$E_p = \frac{\rho(T = 75) - \rho(T = 25)}{2} \quad (5)$$

gdzie $\rho(T = 75) = \rho_{75}$ i $\rho(T = 25) = \rho_{25}$ stanowią odczytane z krzywej rozdziału wartości gęstości dla rzędnych odpowiednio 75% i 25%.

- imperfekcja I — wskaźnik porównawczy dla różnych gęstości rozdziału, wyrażony w postaci:

$$I = \frac{E_p}{\rho_r - 1} \quad (6)$$

3. Metodyka wykonywania badań

Realizując założony cel pracy opróbowano produkty separacji we wzbogacalnikach zwojowych. W zakładzie A, gdzie jednostopniowemu wzbogacaniu poddawana jest klasa ziarnowa $1,5 \pm 0,04$ mm pobrano reprezentatywne próbki nadawy, koncentratu i odpadów. Po dodatkowym odmuleniu próbek (odsianiu klasy $< 0,063$ mm) wykonano analizy densymetryczne i określono zawartości podstawowych składników — popiołu i siarki w każdej frakcji gęstościowej. W zakładzie B, w którym proces wzbogacania klasy $2 \pm 0,2$ mm odbywa się w dwustopniowej instalacji separatorów zwojowych, pobrano reprezentatywne próbki koncentratu i odpadów obu stopni rozdziału. W tym przypadku każdą próbkę przesiano na zestawie sit o otworach 2; 1,25; 1 i 0,5 mm, każdą klasę ziarnową poddano analizie densymetrycznej, a każdą z klasofrakcji analizie chemicznej. Wychody poszczególnych klasofrakcji i zawartości w nich popiołu i siarki posłużyły do obliczenia wychodów produktów rozdziału i do zbilansowania parametrów nadawy do wzbogacania w separatorach zwojowych oraz produktu pośredniego, który stanowił nadawę drugiego stopnia rozdziału. Wyniki analiz umożliwiły także obliczenie współrzędnych i wykreślenie krzywych rozdziału — w przypadku zakładu B również dla poszczególnych wąskich klas ziarnowych.

4. Wyniki badań

Wyniki analiz densymetrycznych i chemicznych nadawy i produktów separacji we wzbogacalnikach zwojowych w zakładzie A podano w tabeli 1. Należy zaznaczyć, że wyniki te dotyczą mialu odmulonego, pozbawionego klasy $< 0,063$ mm. Jak widać w tabeli, zawartość popiołu w odmulonej nadawie wynosi niecałe 10% a zawartość siarki około 0,9%, w koncentracji odpowiednio 5,28 i 0,73%, a w odpadach około 67 i 3,5%. Dla porównania w tabeli 2 przedstawiono zawartości tych składników miale nie całkowicie odmulonym tzn. w klasie ziarnowej $1,5 \div 0,04$ mm.

Tabele 3 i 4 zawierają wyniki analiz densymetrycznych i chemicznych produktów separacji w dwustopniowym układzie wzbogacania w zakładzie B. Szczegółowe dane dotyczące zawartości podstawowych składników chemicznych w poszczególnych wąskich klasach ziarnowych zamieszczono w opracowaniu [14].

Ocenę dokładności wzbogacania w separatorach zwojowych przeprowadzono w oparciu o krzywe i wskaźniki ostrości rozdziału.

Współrzędne punktów krzywych rozdziału obliczono na podstawie danych zamieszczonych w tabelach 1, 3 i 4. Obliczenia dla wąskich klas ziarnowych (zakład B) wykonano tylko dla pierwszego stopnia rozdziału przy połączeniu produktu pośredniego z odpadami. Jak wykazano w opracowaniu [14] właściwości produktu pośredniego i odpadów nie różnią się i nie jest celowe prowadzenie dwustopniowego procesu wzbogacania. W drugim stopniu rozdziału wzbogacanie praktycznie nie zachodzi.

W pracach wielu autorów wykazano [16], że krzywe rozdziału z gęstością rozdziału jako argumentem rozdziału są krzywymi asymetrycznymi i dobrze aproksymuje je rozkład Weibulla podany wzorem:

$$T = 1 - \exp \left\{ - \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n \right] \right\} * 100 \quad (7)$$

gdzie:

- ρ — gęstość ziarna,
- ρ_0 — charakterystyczna gęstość,
- n — parametr rozkładu.

Z tego względu rozkład ten dopasowano do empirycznych krzywych rozdziału. Na rysunkach 1–7 przedstawiono krzywe rozdziału dla separatorów zwojowych zamontowanych w zakładzie A oraz wykresy krzywych rozdziału poszczególnych klas ziarnowych w przypadku zakładu B. Korzystając z wzoru funkcji Weibulla dla każdego przypadku wyliczono gęstości charakterystyczne tj. gęstość ziaren, które z prawdopodobieństwem odpowiednio 75, 50 i 25% przechodzą do odpadów. Obliczone wartości wskaźników ostrości rozdziału tzn. rozproszenie prawdopodobne E_p i imperfekcję I zestawiono w tabeli 5.

TABELA 1
Wyniki analiz densymetrycznych i chemicznych nadawy i produktów rozdziału w separatorach zwojowych — zakład A

$\rho_{i,}$ Mg/m ³	Nadawa			Koncentrat			Odpady		
	$\gamma_{ni,}$ %	$A_{ni,}^a$ %	$S_{i, ni,}^a$ %	$\gamma_{ki,}$ %	$A_{ki,}^a$ %	$S_{i, ki,}^a$ %	$\gamma_{oi,}$ %	$A_{oi,}^a$ %	$S_{i, oi,}^a$ %
< 1,3	17,29	2,30	0,73	20,88	2,53	0,63	2,06	3,72	0,80
1,3÷1,4	57,86	3,48	0,71	64,00	3,40	0,72	3,03	3,91	0,74
1,4÷1,5	10,51	10,46	0,74	8,98	9,46	0,75	1,79	6,03	0,81
1,5÷1,6	3,83	15,24	0,88	3,74	21,31	0,93	1,88	11,14	0,87
1,6÷1,8	2,06	20,59	0,99	1,49	31,32	1,21	2,05	19,19	1,23
> 1,8	8,45	63,68	2,75	0,91	50,55	1,71	89,19	74,25	3,83
Σ	100,00	9,90	0,901	100,00	5,28	0,728	100,00	67,13	3,51

TABELA 2
Zawartości popiołu i siarki w nadawie i produktach rozdziału miatu nieodmulonego

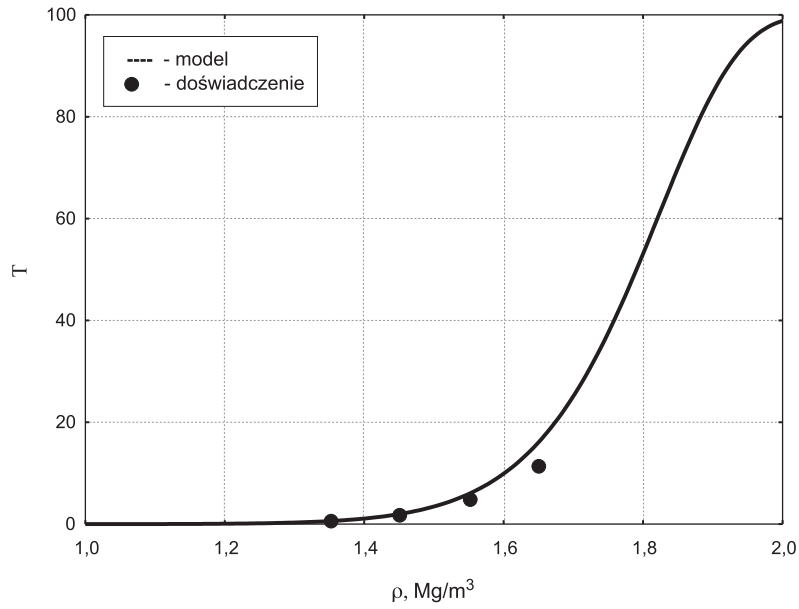
Produkt	$A_{i,}^a$ %	$S_{i,}^a$ %
Nadawa	22,41	1,26
Koncentrat	13,94	0,85
Odpady	76,42	2,90

TABELA 3
Zawartości popiołu i siarki we frakcjach densymetrycznych nadawy i produktów rozdziału. I-szy stopień wzbogacania, zakład B

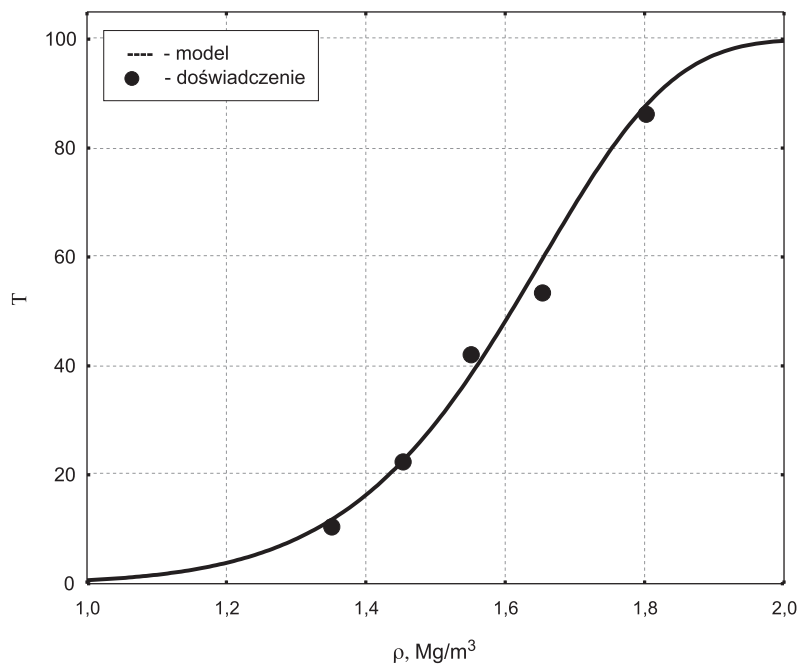
ρ , Mg/m ³	Koncentrat			Odpady			Produkt pośredni				Nadawa		
	γ_{ki} %	A_{ki}^a %	$S_{r,ki}^a$ %	γ_{oi} %	A_{oi}^a %	$S_{r,oi}^a$ %	γ_{ppi} %	A_{ppi}^a %	$S_{r,ppi}^a$ %	γ_{ni} %	A_{ni}^a %	$S_{r,ni}^a$ %	
< 1,4	76,01	7,38	1,02	20,01	5,71	0,80	6,87	5,50	0,92	33,17	5,93	0,83	
1,4÷1,5	8,96	13,64	1,36	5,33	69,79	1,08	2,93	11,91	1,08	5,65	31,14	1,16	
1,5÷1,6	2,60	17,37	1,50	1,68	76,45	1,34	2,42	79,04	1,34	2,22	55,48	1,34	
1,6÷1,7	1,31	54,55	5,96	1,68	82,04	3,53	2,55	78,53	2,52	1,87	71,40	3,78	
> 1,7	11,12	72,43	8,69	71,30	83,34	6,22	85,23	79,05	5,53	57,09	77,56	6,27	
Σ	100,00	16,00	1,98	100,00	67,00	4,73	100,00	72,00	4,90	100,0	51,00	4,00	

TABELA 4
Zawartości popiołu i siarki we frakcjach densymetrycznych nadawy i produktów rozdziału. II-gi stopień wzbogacania, zakład B

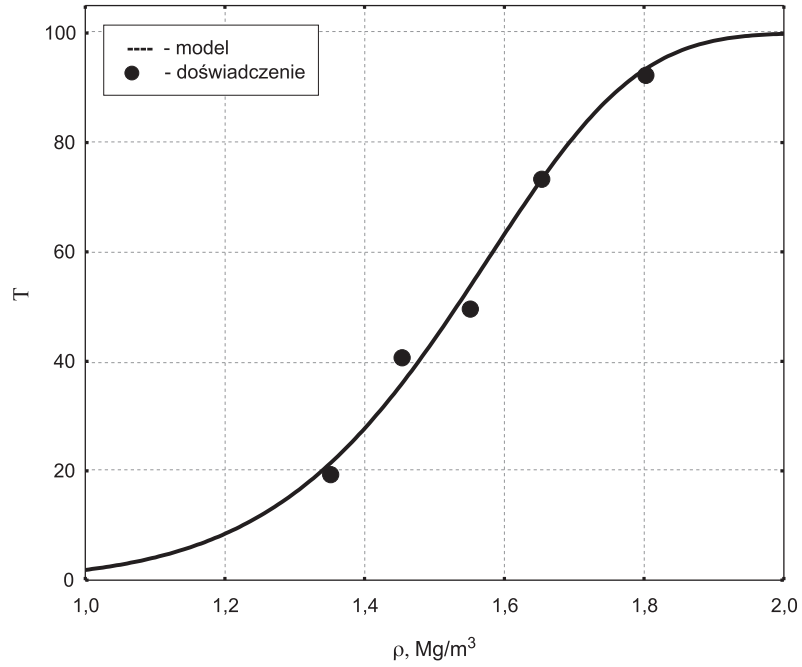
ρ , Mg/m ³	Koncentrat			Odpady			Nadawa					
	γ_{ki} %	A_{ki}^a %	$S_{r,ki}^a$ %	γ_{oi} %	A_{oi}^a %	$S_{r,oi}^a$ %	γ_{ppi} %	A_{ppi}^a %	$S_{r,ppi}^a$ %	γ_{ni} %	A_{ni}^a %	$S_{r,ni}^a$ %
< 1,4	66,89	11,30	1,05	5,43	5,30	0,91	6,87	5,50	0,92	1,08	1,08	1,34
1,4÷1,5	3,39	10,40	1,08	2,92	11,94	1,09	2,93	11,91	2,52	1,87	71,40	3,78
1,5÷1,6	3,16	14,79	1,42	2,40	80,53	1,34	2,42	79,04	2,52	1,87	71,40	3,78
1,6÷1,7	3,19	53,73	2,24	2,53	78,94	2,50	2,55	78,53	2,52	1,87	71,40	3,78
> 1,7	23,37	72,20	3,87	86,72	79,18	5,56	85,23	79,05	5,53	57,09	77,56	6,27
Σ	100,00	27,00	1,76	100,00	73,00	5,00	100,00	72,00	4,90	100,0	51,00	4,00



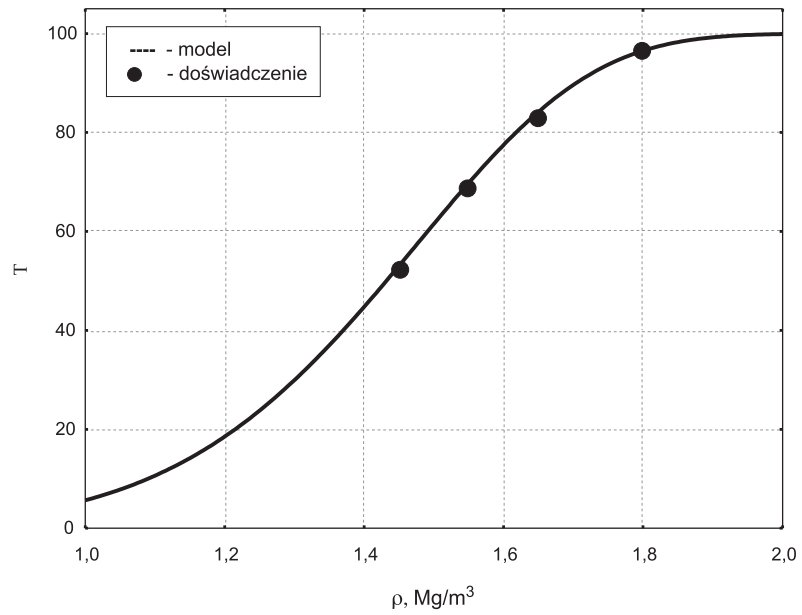
Rys. 1. Krzywa rozdziału klasy 1,5±0,063 mm (zakład A), $\rho_0 = 1,83 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 16,83$



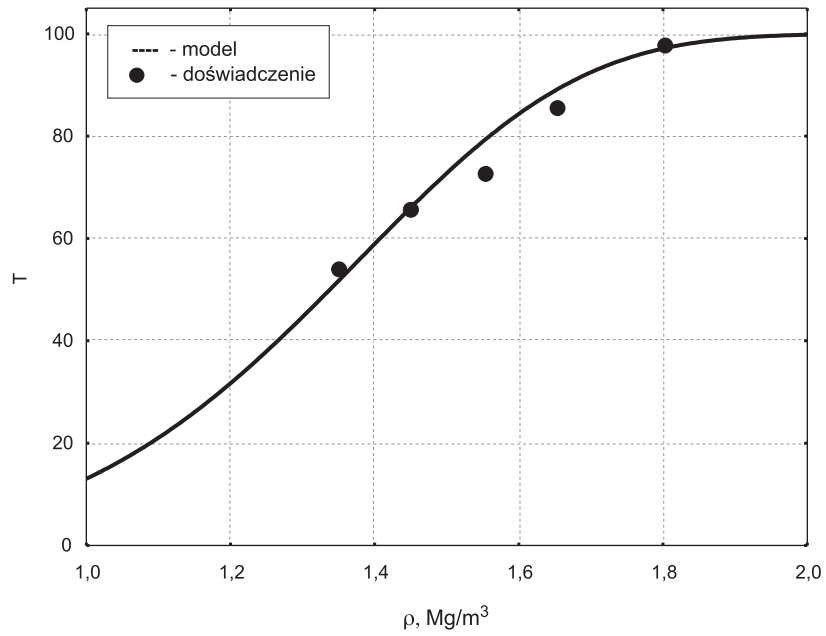
Rys. 2. Krzywa rozdziału klasy 2±1,25 mm (zakład B), $\rho_0 = 1,67 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 9,8$



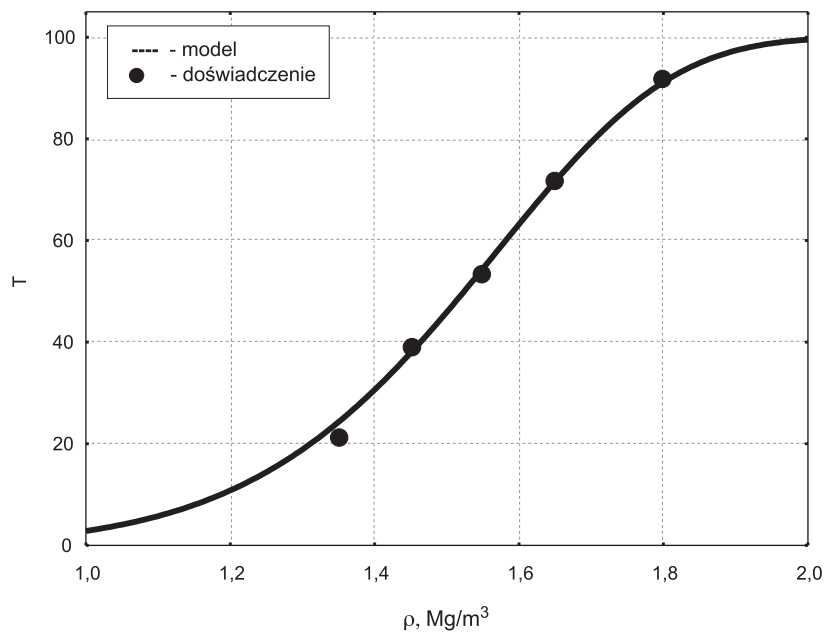
Rys. 3. Krzywa rozdziału klasy 1,25±1 mm, $\rho_0 = 1,6 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 8,42$



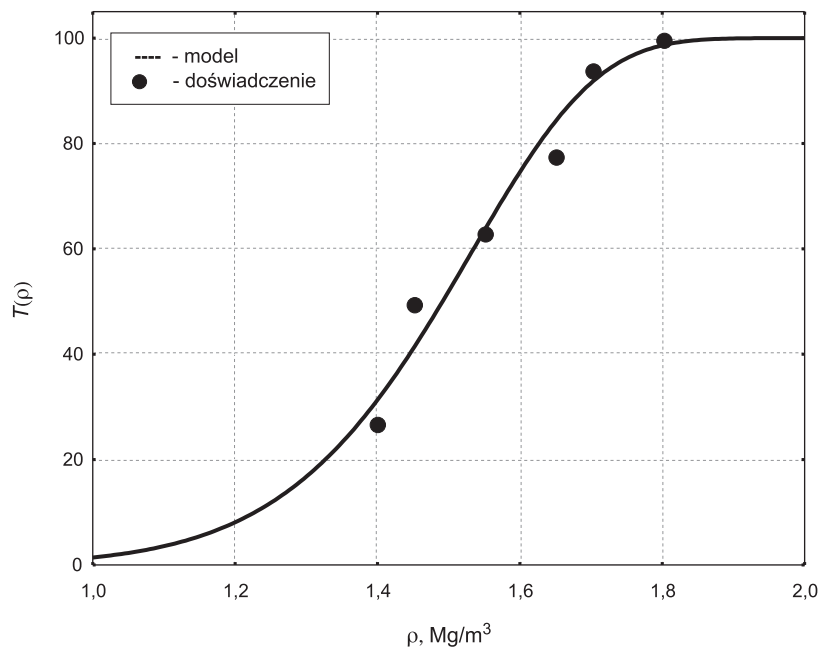
Rys. 4. Krzywa rozdziału klasy 1±0,5 mm, $\rho_0 = 1,51 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 6,9$



Rys. 5. Krzywa rozdziału klasy 0,5±0,2 mm, $\rho_0 = 1,43 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 5,5$



Rys. 6. Krzywa rozdziału klasy 2±0,5 mm, $\rho_0 = 1,6 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 7,53$



Rys. 7. Krzywa rozdziału klasy 2±0,2 mm, $\rho_0 = 1,55 \text{ Mg/m}^3$ i $n = 9,68$

TABELA 5

Gęstości charakterystyczne i wskaźniki ostrości rozdziału w separatorach zwojowych

Wielkość ziaren, mm		Parametr				
		ρ_{75} , Mg/m ³	ρ_{50} , Mg/m ³	ρ_{25} , Mg/m ³	E_p , Mg/m ³	I
A	1,5±0,063	1,86	1,79	1,70	0,08	0,10
B	2,0±1,25	1,73	1,61	1,47	0,13	0,21
	1,25±1,0	1,66	1,53	1,38	0,14	0,26
	1,0±0,5	1,58	1,43	1,26	0,16	0,37
	0,5±0,2	1,52	1,34	1,14	0,19	0,56
	2,0±0,5	1,67	1,52	1,36	0,16	0,31
	2,0±0,2	1,62	1,50	1,38	0,12	0,24

5. Wnioski

Analiza wyników badań, a zwłaszcza danych dotyczących dokładności rozdziału w separatorach zwojowych pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Jednostopniowy układ odsiarczania klasy ziarnowej $1,5 \pm 0,063$ mm (zakład A) cechuje wysoka gęstość rozdziału i bardzo wysoka ostrość rozdziału ($E_p = 0,08$ Mg/m³). Warunkiem otrzymania tak dobrego wyniku jest jednak dokładne odmulenie nadawy kierowanej do odsiarczania.
- 2) Porównanie zawartości popiołu i siarki w nadawie wzbogacalników zwojowych w zakładzie A i nadawie dokładnie odmulonej, pozbawionej klasy $< 0,063$ mm (tab. 1 i 2) pokazuje, że odmulony materiał charakteryzuje się na tyle dobrymi właściwościami ($A \sim 10\%$, $S \sim 0,9\%$), że z powodzeniem można dodawać go do grubiej uziarnionych miałów i ewentualnie rozważyć rezygnację z procesów jego wzbogacania w separatorach zwojowych. Lepsze odmulenie klasy $< 1,5$ mm można uzyskać poprzez zwiększenie wielkości ziarna podziałowego i dokładności klasyfikacji w hydrocyklonach, których wylew jest nadawą do separatorów zwojowych.
- 3) Ostrość rozdziału poszczególnych wąskich klas ziarnowych we wzbogacalnikach zwojowych w zakładzie B zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się wielkości rozdzielanych ziaren.
- 4) Najniższa dokładność rozdziału cechuje klasę ziarnową $0,5 \pm 0,2$ mm. Być może należałoby ją wzbogacać oddzielnie (tak jak zaprojektowano), przy innej regulacji parametrów pracy separatorów.
- 5) Celowe i konieczne jest wzbogacanie w separatorach zwojowych drobnych klas ziarnowych ($2 \pm 0,5$ mm bądź też $2 \pm 0,2$ mm) miałów o wysokiej zawartości siarki pirytowej. Jak zauważono wcześniej [14], należy zwrócić większą uwagę na odpowiednie przygotowanie nadawy do wzbogacania, możliwość obniżenia natężenia przepływu zawiesiny, odpowiednią regulację zasuw w dolnej części spiral. Do otrzymania koncentratu o obniżonej zawartości siarki i popiołu wystarczy jeden stopień wzbogacania.

LITERATURA

- [1] *Budryk W.*: Wyniki działania płuczek i wialni w świetle teorii. Cz.1. Przegląd Górniczy 5, 1949a, 1016–1031
- [2] *Budryk W.*: Wyniki działania płuczek i wialni w świetle teorii. Cz.2. Przegląd Górniczy 5, 1949b, 871–887
- [3] *Ciok K., Korbel K., Petryka L., Plechta J., Tokarz M.*: Radioznacznikowe badanie przepływu materiału przez osadzkę w przeróbce węgla kamiennego. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa XVI, nr 3, 1978a, 32–36
- [4] *Ciok K., Korbel K., Petryka L., Śliwka I., Tokarz M.*: Radiometryczne badanie rozkładu ziarn węgla i kamienia w łożu osadzarki. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa XVI, nr 4, 1978b, 27–30
- [5] *Fallon N.E., Gottfried B.S.*: Statistical representation of generalized distribution data for float-sink coal cleaning devices: Baum jigs, Batac jigs, dynawhirlpools. Int. J. Mineral Processing 15, 1985, 231–236
- [6] *Gottfried B.S.*: A generalization of distribution data for characterizing the performance of float-sink coal cleaning devices. Int. J. Mineral Processing 5, 1978, 1–20
- [7] *Gottfried B.S.*: Statistical representation of generalized distribution data for float-sink coal cleaning devices: sand cones. Int. J. Mineral Processing 8, 1981, 89–91

- [8] *Gottfried B.S., Jacobsen P.S.*: Generalized distribution curve for characterizing the performance of coal-cleaning equipment. Bureau of Mines RI no 8238, 1977, 1–21
- [9] *Hughes F.S.*: The partition curve. *Coal Preparation* 67, 1967, 63–67
- [10] *Jowett A.*: An appraisal of partition curves for coal-cleaning processes. *Int. J. Mineral Processing* 16, 1986, 75–95
- [11] *Krzywda H.*: Krzywe rozdziału w procesie wzbogacania rud w osadzarkach. *Rudy i Metale* 6, 1961, 296–299
- [12] *Mohanty M.K., Honaker R.Q., Patwardhan A.*: Altair jig: an in-plant evaluation for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*, 15, 2002, 157–166
- [13] *Napier-Munn T.J.*: Use of density tracers for determination of the Tromp curve for gravity separation processes. *Trans. IMM, sec. C*, 1985, 47–53
- [14] *Nowak A., Surowiak A., Bierońska E.*: Analiza dwustopniowego procesu wzbogacania drobnych klas ziarnowych miałów węglowych w separatorach zwojowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria: Górnictwo*, z. 284, 2008
- [15] *Paszkowska E.*: Stochastyczna analiza procesu rozdziału węgla w osadzarkach. *Praca doktorska, Biblioteka Główna AGH, Kraków*, 1985
- [16] *Paul A.D., Maronde C.P., Killmeyer R.P.*: Evaluation of mathematical plant evaluation for fine coal cleaning. *Minerals Engineering* 15, 1998, 157–166
- [17] *Reid K.J., Lu Maixi, Zhang Shenggui*: Coal-cleaning distribution curve simulation: fitting six different models by microcomputer. *Int. J. Min. Process*, 14, 1985, 291–299
- [18] *Sztaba K.*: Metoda statystyczna badania procesu klasyfikacji mokrej. *Archiwum Górnictwa* 1, 1956a, 33–54
- [19] *Sztaba K.*: Krzywe rozdziału w procesie klasyfikacji mokrej. *Archiwum Górnictwa* 1, 1956b, 167–197
- [20] *Tarjan G.*: Application of distribution functions to partition curves. *Int. J. Mineral Processing* 1, 1974, 261–265
- [21] *Terra A.*: Essai d'une théorie de lavage. *Revue de l'Industrie Minérale*, 1938
- [22] *Tromp K.F.*: Neue Wege für Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen. *Glückauf*, 1937