

Wiesław BLASCHKE*, Stanisław BLASCHKE**, Henryk ALEKSA***, Krzysztof
WIERZCHOWSKI***

Analiza wpływu dokładności wzbogacania (imperfekcja) na wartość produkcji węgla energetycznego

STRESZCZENIE. Dokładność wzbogacania miałów węgla kamiennego wpływa na zmianę wychodu koncentratu i jego parametrów jakościowych. W oparciu o wskaźnik dokładności – imperfekcję obliczono przewidywane rezultaty wzbogacania węgla z trzech kopalń. Przyjęto osiem wartości imperfekcji oraz osiem gęstości rozdziału węgla na koncentrat i odpady. Dla dwóch gęstości wyznaczono prognozowane wychody koncentratu oraz wartość opałow, zawartość popiołu i siarki. Na podstawie stosowanego w Kompanii Węglowej SA cennika odczytano ceny zbytu koncentratów oraz obliczono wartość produkcji. Wykazano, że przy wzbogacaniu jednej tony węgla surowego różnice w wartości produkcji wynoszą od kilkudziesięciu groszy do kilkunastu złotych. Różnice te mają wpływ na efekty ekonomiczne kopalń węgla kamiennego.

SŁOWA KLUCZOWE: wzbogacanie węgla, dokładność rozdziału, parametry jakościowe, ceny zbytu, efekty ekonomiczne wzbogacania

* Prof. dr hab. inż., ** Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

*** Dr inż. – Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Wprowadzenie

Wzbogacanie węgla kamiennego w warunkach przemysłowych prowadzone jest dla miałów energetycznych najczęściej w osadzarkach. Wzbogacanie może też być prowadzone w cyklonach cieczy ciężkiej, w cyklonach water only. Uzyskiwane rezultaty rozdziału węgla surowego w tych urządzeniach różnią się od wyników rozdziału laboratoryjnego w cieczach ciężkich w zależności od dokładności pracy poszczególnych maszyn wzbogacających. Najdokładniejszy rozdział miałów węglowych przebiega w cieczach ciężkich.

Przez dokładność rozdziału rozumie się stopień zanieczyszczenia poszczególnych produktów przez frakcje uboczne. Im większa ilość frakcji które powinny trafić do odpadów (produktów pośrednich) znajduje się w koncentracie, tym mniejsza dokładność wzbogacania. Tym samym mniejsza jest efektywność pracy wzbogacalnika.

Ziarna uboczne zanieczyszczające koncentrat powodują pogorszenie jego parametrów jakościowych. Powoduje to obniżenie wartości koncentratu, a więc uzyskiwanie mniejszych wpływów z jego sprzedaży. Przez wartość koncentratu rozumie się iloczyn wychodu koncentratu i jego ceny zbytu. Iloczyn ten najczęściej nazywa się wartością produkcji. Najkorzystniejsze ekonomiczne efekty wzbogacania osiąga się przy maksymalnej wartości produkcji uzyskiwanej podczas wzbogacania węgla przy zakładanych różnych gęstościach rozdziału. Tu należy dodać, że ekonomiczna opłacalność wzbogacania zachodzi wówczas, gdy wartość produkcji koncentratu jest wyższa niż wartość produkcji węgla surowego. Uwzględnić tu jeszcze trzeba koszty procesów wzbogacania. Analizy opłacalności wzbogacania były publikowane w innych pracach [np. 5] i tu nie będzie się ich ponownie prezentować.

Zmiana parametrów jakościowych wywołana zmienną dokładnością procesów rozdziału wpływać może na ceny zbytu. Zależać to będzie od wielkości zmian poszczególnych parametrów (wartość opałow, zawartość siarki, zawartość popiołu), a także od stosowanego systemu cen, dokładniej od przedziałów parametrów jakościowych, w których obowiązuje ta sama cena oraz od tzw. cenotwórczych parametrów jakościowych. W obecnie stosowanym systemie cen parametrami cenotwórczymi jest wartość opałow, zawartość popiołu i zawartość siarki w stanie roboczym.

1. Dokładność procesów wzbogacania

W analizach przebiegu procesów rozdziału węgla surowego na produkty wzbogacania ocena ich dokładności prowadzona być może na kilka sposobów. Najstarszą metodą jest określenie wielkości tzw. trójkąta błędów. Metoda ta opiera się na wyznaczeniu odchylenia rzeczywistej zawartości popiołu w produktach wzbogacania od teoretycznej zawartości popiołu zakładanej przy określonym wychodzie (lub gęstości rozdziału). Sposób ten jest opisany w literaturze [2], ale nie jest obecnie stosowany w praktyce.

Od kilkudziesięciu już lat do oceny dokładności wzbogacania wykorzystywane są krzywe rozdziału opracowane przez Trompa w 1937 roku [3]. Tromp i Terra [4] stwierdzając podobieństwo krzywych rozdziału z krzywymi Gaussa opracowali metodę oceny dokładności wzbogacania poprzez określenie przeciętnego rozproszenia prawdopodobnego [1, 2]. Dla różnego rodzaju wzbogacalników firmy określiły wielkość rozproszenia prawdopodobnego podając je w swoich katalogach. Dla urządzeń pracujących w zakładach przerobczych można na podstawie rozdziału w cieczach ciężkich produktów wzbogacania obliczyć krzywe rozdziału i wyznaczyć wielkość rozproszenia prawdopodobnego.

W późniejszych latach dowiedziono, że lepszym wskaźnikiem oceny dokładności rozdziału jest wskaźnik imperfekcji. Wskaźnik ten uwzględnia wpływ gęstości rozdziału na dokładność procesu. Z badań wynikało, że im większa gęstość rozdziału tym wartość rozproszenia prawdopodobnego jest większa. Przeliczenia imperfekcji z rozproszenia prawdopodobnego dokonywane są według wzoru $E_p = I(\delta_r - 1)$, gdzie E_p to rozproszenie prawdopodobne, I – imperfekcja, a δ_r to gęstość rozdziału.

Wskaźnik rozproszenia prawdopodobnego i imperfekcji pozwoliły na prognozowanie rezultatów wzbogacania węgla w warunkach przemysłowych. Sposoby przeliczeń opisane są w literaturze [1]. Opracowano też sposób komputerowego wyliczania parametrów wzbogacania na podstawie krzywych wzbogalności (krzywe teoretyczne), zakładanego wskaźnika rozproszenia prawdopodobnego (lub imperfekcji) oraz przyjmowanej gęstości rozdziału węgla surowego na poszczególne produkty (koncentrat) odpady, koncentrat/produkt pośredni, produkt pośredni/odpady.

2. Cel pracy

W pracy [6] badano wpływ dokładności wzbogacania na wyniki ekonomiczne zakładów przeróbki węgla koksowego. Stwierdzono wówczas, że skutki niedokładnego wzbogacania mogą przynosić kopalni straty rzędu wielu milionów złotych. Pokazano również przykład, że dla niektórych węgli nie będzie można wyprodukować koncentratu o żądanej zawartości (9%) popiołu przy wzbogacaniu prowadzonym w urządzeniach o bardzo małej dokładności rozdziału. Wnioski z przeprowadzonych analiz pokazały, że w zależności od charakterystyk technologicznych węgli surowych trzeba będzie podczas projektowania układów wzbogacania dobierać maszyny (np. osadzarki) dostosowane wskaźnikiem dokładności rozdziału do właściwości węgla kierowanego do wzbogacania.

Wzbogacanie węgli koksowych prowadzone musi być w taki sposób, aby w koncentratkach nie było więcej jak 9% popiołu. Takie są wymagania użytkowników tego węgla. Ten warunek decyduje o reżimie technologicznym wzbogacania węgla koksowego.

W przypadku węgli energetycznych wymagania użytkowników są dużo bardziej elastyczne. Praktycznie do spalania węgla w elektrowniach, elektrociepłowniach kierować można każdy węgiel. Zależy to tylko od parametrów kotłów będących na wyposażeniu zakładu wytwórczego energii. Dla użytkowników wahania jakościowe produktów hand-

lowych węgla energetycznego mogą być większe niż w przypadku węgla koksowych. Z tego też względu stosowane cenniki węglowe mają dość szerokie przedziały parametrów jakościowych, w obrębie których stosowana jest ta sama cena. Przedziały te nazywane są klasami zbytu.

W niniejszej pracy postanowiono sprawdzić czy w przypadku wzbogacania węgla kamiennego energetycznego dokładność wzbogacania ma równie istotny wpływ na wyniki ekonomiczne kopalń jak w przypadku węgla kamiennych przeznaczonych do koksowania.

3. Dane wyjściowe do przeprowadzania analiz

Analizę wpływu dokładności wzbogacania przeprowadzono dla miałów węgla energetycznego pochodzącego z kilku kopalń. W niniejszej pracy przytoczono trzy przykłady dla kopalń nazwanych A, B i C. Dla węgla wykonano analizy densymetryczne klas ziarnowych 10–0 mm. Na tej podstawie otrzymano współrzędne krzywych wzbogalności. Są to krzywe teoretyczne pozwalające na określenie parametrów jakościowych koncentratu otrzymanego w idealnych warunkach przy zakładaniu różnych gęstości rozdziału na koncentrat i odpady. Rozpatrywany tu jest proces dwuproduktowego wzbogacania węgla surowego.

Przyjęto, że proces wzbogacania prowadzony będzie w osadzarkach. Do oceny wpływu dokładności wzbogacania na rezultaty ekonomiczne wykorzystany zostanie wskaźnik imperfekcji. Literatura [1, 2] podaje, że dla osadzarek wzbogacających klasę 20–0,5 mm imperfekcja może, w zależności od typu urządzenia, wynosić od 0,12 do 0,20. Te wartości wskaźnika imperfekcji przyjęto do dalszych obliczeń. Postanowiono także określić rezultaty ekonomiczne dla urządzeń o większej dokładności, np. 0,04–0,08.

Przeliczeń krzywych wzbogalności na krzywe wzbogacania, przy podanych powyżej wartościach wskaźnika imperfekcji i zakładanych gęstościach rozdziału, dokonano w Głównym Instytucie Górnictwa. Program pozwala wyznaczyć rezultaty wzbogacania dla dowolnych gęstości rozdziału z przedziału 1,3–2,2 g/cm³. W pracy wyznaczono rezultaty wzbogacania dla gęstości rozdziału z powyższego przedziału, co 0,05 g/cm³. Dla tych gęstości obliczono wychody koncentratów oraz wartość opałową, zawartość popiołu i siarki. W tabelach 1, 2, 3 zestawiono wyniki obliczeń dla mniejszej ilości przyjętych gęstości rozdziału. Wybrano gęstości takie, jakie zazwyczaj stosuje się w laboratoryjnym rozdziale węgla surowego w cieczach ciężkich.

Do obliczeń efektów ekonomicznych przyjęto cennik B9/00/2008 stosowany w Kompanii Węglowej SA. Cennik ten podaje ceny dla wartości opałowych w stanie roboczym w przedziale co 1000 kJ/kg oraz ceny dla zawartości siarki w przedziałach: do 0,60%, od 0,61 do 0,80%, od 0,81 do 1,00% oraz powyżej 1,01%. Jak widać są to dość szerokie klasy zbytu. W starszych cennikach przedziały wartości opałowych były węższe: co 500 kJ/kg.

TABELA 1. Współrzędne krzywych wzbogacania węgla z kopalni A dla różnych wielkości imperfekcji

TABLE 1. Coordinates of separation curves for coal from mine A for different values of imperfection

Imperfekcja	0,04				0,06			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	13,57	28 304	4,58	0,78	15,00	28 166	4,86	0,78
1,35	29,61	27 639	5,79	0,80	28,96	27 602	6,07	0,80
1,40	39,82	27 245	6,94	0,82	39,18	27 229	6,99	0,82
1,45	45,29	26 875	7,92	0,84	45,19	26 869	7,94	0,84
1,50	49,62	26 586	8,74	0,86	49,60	26 530	8,85	0,86
1,60	57,06	25 775	10,89	0,90	57,06	25 737	11,00	0,90
1,80	68,02	24 273	14,96	0,94	68,03	24 254	15,02	0,94
2,00	74,08	23 253	17,77	0,97	73,75	23 308	17,62	0,96

Imperfekcja	0,08				0,12			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	15,86	28 049	5,11	0,79	16,99	27 835	5,60	0,80
1,35	28,56	27 565	6,18	0,80	28,17	27 452	6,48	0,81
1,40	36,62	27 196	7,08	0,82	37,48	27 102	7,35	0,83
1,45	44,95	26 846	8,00	0,84	44,23	26 754	8,26	0,85
1,50	49,54	26 492	8,95	0,86	49,27	26 388	9,24	0,86
1,60	57,06	25 699	11,09	0,90	56,99	25 612	11,34	0,94
1,80	67,94	24 242	15,05	0,94	67,55	24 235	15,08	0,90
2,00	73,53	23 329	17,56	0,97	73,79	23 172	18,00	0,98

Imperfekcja	0,14				0,16			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	17,48	27 733	5,84	0,80	17,95	27 632	6,08	0,80
1,35	28,05	27 379	6,67	0,81	27,98	27 297	6,89	0,82
1,40	37,00	27 037	7,53	0,83	36,59	26 961	7,34	0,84
1,45	43,81	26 669	8,44	0,85	43,39	26 614	8,65	0,85
1,50	49,02	26 323	9,42	0,87	48,72	26 250	9,62	0,87
1,60	56,88	25 562	11,47	0,90	56,71	25 508	11,62	0,90
1,80	67,35	24 217	15,13	0,94	67,20	24 175	15,25	0,95
2,00	74,11	23 037	18,37	1,00	74,44	22 297	18,76	1,01

Imperfekcja	0,18				0,20			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	18,42	27 530	6,33	0,81	18,88	27 426	6,59	0,81
1,35	27,95	27 207	7,12	0,82	27,97	27 110	7,38	0,83
1,40	36,26	26 875	7,97	0,84	35,98	26 781	8,23	0,84
1,45	42,98	26 530	8,88	0,86	42,61	26 439	9,13	0,86
1,50	48,38	26 171	9,83	0,87	48,02	26 087	10,07	0,87
1,60	56,49	25 447	11,79	0,90	56,23	25 378	11,98	0,90
1,80	67,10	24 109	15,43	0,95	67,04	24 023	15,67	0,96
2,00	74,73	22 762	19,14	1,03	74,95	22 639	19,48	1,04

TABELA 2. Współrzędne krzywych wzbogacania węgla z kopalni B dla różnych wielkości imperfekcji

TABLE 2. Coordinates of separation curves for coal from mine B for different values of imperfection

Imperfekcja	0,04				0,06			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	55,04	31 350	2,70	0,59	55,38	31 333	2,75	0,59
1,35	60,45	31 110	3,30	0,58	60,45	31 110	3,31	0,58
1,40	65,84	30 907	3,81	0,58	65,47	30 911	3,80	0,58
1,45	67,20	30 794	4,11	0,57	67,21	30 791	4,11	0,57
1,50	68,55	30 672	4,42	0,57	68,59	30 655	4,46	0,57
1,60	71,27	30 257	5,31	0,58	71,19	30 299	5,31	0,58
1,80	75,44	29 558	7,27	0,58	75,73	29 469	7,50	0,58
2,00	83,73	27 733	12,11	0,55	83,09	27 863	11,76	0,55

Imperfekcja	0,08				0,12			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]
1,30	55,76	31 306	2,82	0,59	56,02	31 252	2,95	0,59
1,35	60,49	31 107	3,31	0,58	60,45	31 089	3,36	0,58
1,40	64,99	30 917	3,79	0,58	64,26	30 918	3,79	0,57
1,45	67,16	30 783	4,13	0,58	66,80	30 763	4,18	0,58
1,50	68,61	30 639	4,49	0,57	68,54	30 607	4,57	0,58
1,60	71,16	30 294	5,33	0,58	71,21	30 254	5,45	0,58
1,80	78,09	29 367	7,77	0,58	76,53	29 230	8,13	0,57
2,00	82,50	27 981	11,45	0,56	81,79	28 107	11,11	0,59

Imperfekcja	0,14				0,16			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]
1,30	54,05	31 227	3,01	0,59	52,96	31 201	3,08	0,59
1,35	60,18	31 075	3,40	0,58	59,69	31 057	3,44	0,58
1,40	63,98	30 910	3,81	0,58	63,67	30 897	3,84	0,58
1,45	66,58	30 750	4,21	0,58	66,35	30 734	4,25	0,58
1,50	68,44	30 588	4,61	0,58	68,32	30 564	4,68	0,58
1,60	71,27	30 217	5,55	0,58	71,33	30 173	5,67	0,58
1,80	76,65	29 185	8,25	0,57	76,73	29 143	8,37	0,57
2,00	81,65	28 108	11,11	0,56	81,62	28 077	11,19	0,56

Imperfekcja	0,18				0,20			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	popiołu [%]	siarki [%]
1,30	51,85	31 175	3,14	0,59	50,80	31 148	3,21	0,58
1,35	59,03	31 035	3,49	0,58	58,27	31 011	3,56	0,58
1,40	63,29	30 878	3,89	0,58	62,81	30 854	3,95	0,58
1,45	66,11	30 712	4,31	0,58	65,82	30 684	4,38	0,58
1,50	68,19	30 534	4,75	0,58	68,03	30 498	4,85	0,58
1,60	71,37	29 123	5,80	0,58	71,40	30 072	5,94	0,59
1,80	76,81	29 098	8,49	0,57	76,89	29 046	8,63	0,57
2,00	81,66	28 026	11,33	0,58	81,74	27 965	11,49	0,56

TABELA 3. Współrzędne krzywych wzbogacania węgla z kopalni C dla różnych wielkości imperfekcji

TABLE 3. Coordinates of separation curves for coal from mine C for different values of imperfection

Imperfekcja	0,04				0,06			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	8,52	31 618	2,70	0,53	10,45	31 454	2,97	0,54
1,35	26,44	30 964	3,79	0,57	25,70	30 876	3,99	0,58
1,40	38,22	30 365	5,06	0,62	37,87	30 364	5,14	0,62
1,45	46,38	29 947	6,19	0,65	46,03	29 932	6,22	0,65
1,50	51,79	29 584	7,11	0,66	51,42	29 584	7,11	0,66
1,60	57,71	28 967	8,70	0,67	57,61	28 953	8,74	0,67
1,80	62,87	28 107	10,97	0,67	62,84	28 107	10,97	0,67
2,00	64,84	27 648	12,16	0,67	64,69	27 681	12,07	0,67

Imperfekcja	0,08				0,12			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	11,94	31 323	3,20	0,55	14,10	31 062	3,72	0,57
1,35	25,40	30 789	4,21	0,59	25,53	30 608	4,65	0,60
1,40	37,37	30 323	5,26	0,62	36,27	30 209	5,57	0,63
1,45	45,57	29 915	6,27	0,65	44,36	29 847	6,46	0,64
1,50	51,02	29 569	7,15	0,66	50,02	29 514	7,30	0,65
1,60	57,45	28 940	8,78	0,67	56,86	28 992	8,83	0,66
1,80	62,79	28 106	10,97	0,67	62,52	28 125	10,92	0,67
2,00	64,58	27 702	12,02	0,67	64,91	27 527	12,45	0,67

Imperfekcja	0,14				0,16			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	14,96	30 934	3,99	0,58	15,75	30 809	4,29	0,59
1,35	25,72	30 515	4,88	0,61	25,93	30 241	5,11	0,61
1,40	35,80	30 141	5,75	0,63	35,42	30 069	5,94	0,63
1,45	43,69	29 798	6,59	0,64	43,04	29 743	6,74	0,64
1,50	49,41	29 479	7,40	0,65	48,75	29 439	7,51	0,65
1,60	56,44	28 913	8,86	0,66	58,94	28 900	8,89	0,66
1,80	62,35	28 123	10,92	0,67	62,20	28 093	10,99	0,67
02,00	65,38	27 313	12,98	0,66	65,97	27 055	13,62	0,66

Imperfekcja	0,18				0,20			
	wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość		wychód koncentratu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	zawartość	
			popiołu [%]	siarki [%]			popiołu [%]	siarki [%]
1,30	16,48	30 688	4,54	0,59	17,16	30 571	4,81	0,60
1,35	26,13	30 326	5,35	0,62	26,34	30 231	5,58	0,62
1,40	35,09	29 994	6,14	0,63	34,82	29 917	6,34	0,63
1,45	42,43	29 684	6,90	0,64	41,87	29 623	7,06	0,64
1,50	48,07	29 395	7,63	0,65	47,40	29 348	7,75	0,65
1,60	55,39	28 882	8,94	0,66	54,80	28 854	9,02	0,66
1,80	62,11	28 024	11,16	0,67	62,06	27 917	11,42	0,66
2,00	66,58	26 872	14,30	0,66	67,16	26 514	14,97	0,66

4. Rezultaty analiz wpływu dokładności wzbogacania na efekty ekonomiczne

Dane zamieszczone w tabelach 1–3 pozwalają na analizę wpływu wartości wskaźnika imperfekcji na efekty ekonomiczne dla każdej wyróżnionej w nich gęstości rozdziału węgla surowego na koncentrat i odpady. Do dalszych obliczeń przyjęto umownie, że węgle te będą wzbogacane przy gęstości rozdziału równej $1,6 \text{ g/cm}^3$ oraz przy gęstości rozdziału $2,0 \text{ g/cm}^3$.

Gęstość rozdziału $1,6 \text{ g/cm}^3$ jest najczęściej wybieraną gęstością dla wzbogacania węgla energetycznego. W warunkach przemysłowych prowadzi się też proces wzbogacania przy innych gęstościach rozdziału. Gęstość rozdziału $2,0 \text{ g/cm}^3$ – rzadko stosowaną w warunkach przemysłowych – przyjęto dla pokazania rezultatów wzbogacania stosując jedynie proces odkamieniania węgla surowego. Ziarna kamienia znajdujące się w urobku węglowym mają gęstość powyżej $2,0 \text{ g/cm}^3$. Dysponując tabelami 1–3 oraz cennikiem B9/00/2008 każdy czytelnik może sam obliczyć rezultaty ekonomiczne uzyskiwane przy innych gęstościach rozdziału.

Analizując parametry jakościowe koncentratów węglowych łatwo zauważyć, że już samo odkamienienie węgla pozwala na uzyskanie koncentratów o parametrach jakościowych lepszych niż większość produktów handlowych wykorzystywanych obecnie w krajowej energetyce. Wzbogacanie przy gęstości $1,6 \text{ g/cm}^3$ daje bardzo czyste koncentraty o parametrach jakościowych kierowanych do spalania w zagranicznych elektrowniach. Dodać tu można, że bardzo dobre jakościowo koncentraty powinno się produkować w ramach programu Czystych Technologii Węglowych. To jest już jednak zagadnienie wykraczające poza zakres niniejszej pracy.

Dla obu przyjętych gęstości rozdziału ($1,6$ i $2,0 \text{ g/cm}^3$) zestawiono w tabelach 4 i 5 wychody koncentratów z poszczególnych kopalń uzyskane przy różnych wskaźnikach imperfekcji. Dla odpowiadających im parametrów jakościowych odczytano z cennika odpowiednie ceny zestawiając je w kolejnych kolumnach. Następnie wychody pomnożono przez ceny otrzymując wartość produkcji. Iloczyny oczywiście dzieli się przez 100 (wychody koncentratów wówczas nie są podane w procentach, lecz w ułamku jedności. Wartości produkcji zestawiono w odpowiednich kolumnach.

Wartość produkcji pokazuje jakie wpływy (utarg) osiągnie się przy wzbogacaniu jednej tony węgla surowego. Efekty ekonomiczne kopalni określi iloczyn wartości produkcji i ilości ton węgla surowego (miału) kierowanego do wzbogacania.

Analizując ceny zbytu łatwo zauważyć, że są one w zasadzie identyczne dla produktów otrzymywanych przy różnej dokładności wzbogacania. Jest kilka wyjątków, gdzie ceny zmieniają się i to dość znacznie. Dotyczy to tych przypadków gdy na skutek zmiany dokładności wzbogacania zmienia się klasa zbytu węgla. Prześledzić to można analizując tabele 1–3. Parametry jakościowe koncentratów znajdujące się na granicy klasy zbytu mogą na skutek różnych dokładności procesu (wpływających na ich zmianę) przejść do wyższej lub niższej klasy zbytu. Zmieni się wówczas cena, a więc i wartość produkcji.

TABELA 4. Wartość produkcji węgla energetycznego przy różnych wielkościach imperfekcji (gęstość rozdziału na koncentrat i odpady 1,6 g/cm³)

TABLE 4. Production value of power coal for different values of imperfection at density of separation equal 1.6 g/cm³

I Imperfekcja	Kopalnia A			Kopalnia B			Kopalnia C		
	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]
0,04	57,06	314,46	179,43	71,27	402,71	287,01	57,71	367,52	212,10
0,06	57,06	314,46	179,43	71,19	402,71	286,69	57,61	367,52	211,73
0,08	57,06	314,46	179,43	71,16	402,71	286,57	57,45	367,52	211,14
0,12	56,99	314,46	179,21	71,21	402,71	286,77	56,86	367,52	208,97
0,14	56,88	314,46	178,86	71,27	402,71	287,01	56,44	367,52	207,43
0,16	56,71	314,46	178,33	71,33	402,71	287,25	58,94	367,52	216,62
0,18	56,49	314,46	177,64	71,37	402,71	287,41	55,39	367,52	203,57
0,20	56,23	314,46	176,82	71,40	402,71	287,53	54,80	367,52	201,40

TABELA 5. Wartość produkcji węgla energetycznego przy różnych wielkościach imperfekcji (gęstość rozdziału na koncentrat i odpady 2,0 g/cm³)

TABLE 5. Production value of power coal for different values of imperfection at density of separation equal 2.0 g/cm³

I Imperfekcja	Kopalnia A			Kopalnia B			Kopalnia C		
	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]	wychód koncentratu [%]	cena zbytu [PLN/Mg]	wartość produkcji [PLN/Mg]
0,04	74,08	284,72	210,92	83,73	355,09	297,32	64,84	351,65	228,01
0,06	73,75	284,72	209,98	83,09	355,09	295,04	64,69	351,65	227,50
0,08	73,53	284,72	209,35	82,50	355,09	292,95	64,58	351,65	227,10
0,12	73,79	284,72	210,09	81,79	370,96	303,41	64,91	351,65	228,26
0,14	74,11	284,72	211,01	81,65	370,96	302,89	65,38	351,65	229,91
0,16	74,44	265,40	197,56	81,62	370,96	302,78	65,97	351,65	231,98
0,18	74,73	265,40	198,33	81,66	370,96	302,93	66,58	335,78	223,56
0,20	74,95	265,40	198,92	81,74	355,09	290,25	67,16	335,78	225,51

Wychody koncentratów zmieniają się na skutek wpływu dokładności rozdziału w różnych granicach (od 1 do 3%). Wydaje się, że nie są to duże wahania. Ale należy zauważyć, że mnożąc wychody przez ceny zbytu i przez ilość wzbogacanego węgla rezultaty ekonomiczne mogą być dość znaczne.

Rezultaty ekonomiczne najłatwiej zaobserwować analizując wartości produkcji uzyskiwane dla tego samego węgla przy różnej dokładności wzbogacania. Wahają się one od 0,5

do 12 zł/t. Ma to, jak już uprzednio wspomniano, istotne znaczenie dla ekonomiki kopalń. Uzyskiwanie dodatkowych wpływów ze sprzedaży koncentratu otrzymanego z jednej tony węgla surowego w wysokości np. 10 zł/t stanowi poważny efekt ekonomiczny przy uwzględnieniu tonażu wzbogacanego węgla surowego.

Podsumowanie

1. Dokładność wzbogacania węgla kamiennego energetycznego ma mniejszy wpływ na ekonomikę kopalń niż w przypadku węgla koksowego.
2. Dodatkowy utarg waha się do kilkunastu złotych na jednej tonie węgla surowego, ale w przypadku węgla koksowego wynosiło to kilkadziesiąt, a nawet kilkaset złotych.
3. Dokładność wzbogacania odgrywa dużą rolę, gdy parametry jakościowe uzyskiwanych koncentratów znajdują się na granicy klas zbytu wyznaczonych w konkretnych cennikach.
4. Skutki niedokładności wzbogacania należy badać dla każdego węgla i każdego urządzenia wzbogacającego. Jak wykazała analiza, są one różne dla różnych kopalń i nie można uogólniać uzyskanych w pracy rezultatów.
5. Dla poprawy efektów ekonomicznych, wyrażonych wartością produkcji, należy przeprowadzić badania dokładności posiadanych przez kopalnię maszyn wzbogacających, należy też ocenić możliwości udoskonalenia procesów rozdziału w tych urządzeniach.

Literatura

- [1] STĘPIŃSKI W., 1964 – Wzbogacanie grawitacyjne. PWN, Łódź – Warszawa – Kraków.
- [2] NAWROCKI J., 1976 – Analityczno-graficzne metody oceny pracy wzbogacalników grawitacyjnych. Śląsk, Katowice.
- [3] TROMP K., 1937 – Neue Wege für die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen. Glückauf nr 73.
- [4] TERRA A., 1939 – Determination pratique de l'écart probable en densité. Rev. Ind. Miner. nr 446.
- [5] BLASCHKE W., BLASCHKE S.A., GRUDZIŃSKI Z., MOKRZYCKI E., OLKUSKI T., RŻANY J., 2002 – Opłacalność wzbogacania wynikająca ze struktur cenowych formuł sprzedażnych i właściwości technologicznych energetycznego węgla kamiennego. Inżynieria Mineralna z. spec. 2 (8).
- [6] BLASCHKE W., TARNAWSKA K., 2007 – Wpływ dokładności wzbogacania w zakładach przerobczych na wyniki ekonomiczne kopalń węgla kamiennego. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2.

Wiesław BLASCHKE, Stanisław BLASCHKE, Henryk ALEKSA, Krzysztof WIERZCHOWSKI

Analysis of influence of cleaning accuracy (imperfection) on value of power coal production

Abstract

Accuracy of hard coal smalls cleaning affects on the change of concentrate yield and its quality parameters. Using accuracy indicator (imperfection) prognoses of coal cleaning for three mines were calculated. Eight values of imperfection and eight values of coal separation density were used. For two values of separation density the prognosed: yields, lower heating values and ash and sulphur contents for concentrate were estimated. The concentrate sale prices and production values were calculated on the basis of price list used in Kompania Węglowa SA. It has been shown, that while cleaning one ton of raw coal, differences in production values vary from fraction of 1 PLN up to several PLN. These differences impact economic results of hard coal mines.

KEY WORDS: coal cleaning, separation accuracy, quality parameters, sale prices, economic effects of cleaning

