

Andrzej KROWIAK\*

## Efektywność ekonomiczna procesów wzbogacania węgla kamiennego

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono metodę obliczania efektywności ekonomicznej procesów wzbogacania węgla oraz dokonano obliczeń na danych rzeczywistych z dwóch kopalń. W wyniku analizy otrzymano wyniki niejednoznaczne, nie pozwalające stwierdzić, że w przypadku wszystkich kopalń proces pogłębionego wzbogacania węgla jest opłacalny ekonomicznie. W konkluzji oznacza to, że analizy takie należałoby przeprowadzić indywidualnie dla każdej z kopalń.

**SŁOWA KLUCZOWE:** ekonomia, przetwórstwo, węgiel, efektywność, metoda badań

### Wprowadzenie

Zadałem sobie pytanie, czy wzbogacanie węgla kamiennego jest procesem ekonomicznie uzasadnionym dla kopalń. Odpowiedź na to pytanie nie jest oczywista przed dokonaniem obliczeń prowadzących do konkluzji. Z jednej strony pogłębione wzbogacanie węgla daje większe straty w węglu surowym oraz większe koszty zagospodarowania odpadów. Z drugiej jednak strony otrzymuje się produkt charakteryzujący się wyższymi parametrami jakościowymi, za który możemy uzyskać wyższą cenę sprzedaży. Dopiero porównanie tych kosztów ze zwiększonymi przychodami daje podstawy do wniosku.

\* Dr inż. — Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: sexak@gig.katowice.pl

Recenzent: prof. dr hab. inż. Wiesław BLASCHKE

Analizie poddano procesy wzbogacania miałów energetycznych w dwóch kopalniach węgla kamiennego. Wyniki tych analiz nie pozwalają na dokonanie uogólnień rozciągających się na cały przemysł węglowy w Polsce. Niemniej zaproponowana w tym artykule metoda analizy oraz model matematyczny obliczeń nadają się do wykorzystania i sprawdzenia w przypadku innych kopalń węgla kamiennego.

Postawione na samym początku artykułu pytanie jest fragmentem znacznie szerszego rozumowania i prowokuje do zadania innego pytania, czy na linii współpracy pomiędzy górnictwem węgla kamiennego a energetyką zawodową stosowanie węgla wzbogaconego, o wyższych parametrach jakościowych, ma uzasadnienie ekonomiczne. Innymi słowy, czy stosowanie w energetyce zawodowej węgla o wyższych parametrach jakościowych, zakupionego po wyższej cenie, znajduje uzasadnienie ekonomiczne. Pochodną tego rozumowania jest poszukiwanie ceny równowagi, przy której korzyści ekonomiczne z produkcji i stosowania węgla uszlachetnionego będą równomiernie rozłożone pomiędzy górnictwo a energetykę. W przedstawionym artykule nie próbuję rozstrzygnąć tego problemu, gdyż wymaga to przeprowadzenia jeszcze wielu analiz i obliczeń, uznałem jednak za zasadne zasygnalizowanie tego problemu jako swoiście rozumianego impulsu do dalszych prac prowadzonych przez autora, a może również do prac prowadzonych przez innych naukowców zajmujących się tą dziedziną.

## Opis metody

### Obliczanie kosztów przeróbki węgla

Dla realizacji celu zbudowano nowy model liczenia kosztów przeróbki i wzbogacania węgla, odmienny od metody praktycznie stosowanej liczenia tych kosztów stosowany do tej pory w górnictwie. Istotną różnicą jest przejście od liczenia kosztów w układzie organizacyjnym (oddziały) na liczenie kosztów w poszczególnych węzłach technologicznych [3].

Zaproponowana metoda opiera się na umownym wydzieleniu z węgla surowego strumieni węgla handlowego oraz odpadów przepływających przez poszczególne węzły technologiczne Zakładu Wzbogacania. Dla każdego z węzłów technologicznych wyliczono koszty jednostkowe odniesione do strumienia masy przepływającej przez dany węzeł. Takie rozumowanie pozwoliło na określenie rzeczywistych kosztów przeróbki i wzbogacania poszczególnych sortymentów węgla. Dla uproszczenia rozumowania i poprawności bilansu mas przyjęto, że strumień węgla surowego, węgla handlowego oraz odpadów sprowadzono do postaci powietrzno suchej. Analizy wariantowe prowadzono dla różnych poziomów wzbogacania węgla przyjmując jako poziom odniesienia przeróbkę mechaniczną sortowania węgla surowego przy zerowej ilości odpadów.

Do każdego z przyjętych sortymentów węgla przypisano charakterystyczny dla niego strumień odpadów, wynikający z wydzielenia ich na danym etapie procesu technologicznego. W ten sposób przyjęto, że koszty przeróbki i wzbogacania danego sortymentu

węgla obciążone są tylko kosztami wydzielenia i zagospodarowania odpadów jemu przypisanych.

W wyliczeniach kosztów produkcji węgla poszczególnych sortymentów wprowadzono kategorię kosztów utraconych według następującego rozumowania. Na wydobywie na powierzchnię węgla surowego poniesiono określone koszty. Jeżeli część węgla surowego, w wyniku procesu przeróbki i wzbogacania przeznaczana jest na odpady, to koszty ich wydobywania z punktu widzenia ekonomiki całej kopalni są kosztami utraconymi. Koszty utracone przypisane do poszczególnych sortymentów węgla handlowego podwyższają ogólne koszty przeróbki i wzbogacania tych sortymentów.

Reasumując tę część rozważań można przyjąć, że na koszt przeróbki i wzbogacania danego sortymentu węgla składają się: koszty techniczne wynikające z przepływu strumienia węgla handlowego przez wybrane węzły technologiczne, koszty techniczne wynikające z przepływu strumienia odpadów (przypisanych do danego sortymentu węgla) przez wybrane węzły technologiczne, koszty zagospodarowania odpadów przypisanych do danego sortymentu węgla oraz koszty utracone przypisane do danego sortymentu węgla.

### Model matematyczny wyliczania kosztów jednostkowych przeróbki i wzbogacania węgla

Model wyliczania kosztów całkowitych przeróbki i wzbogacania węgla opiera się na bilansie mas, przy założeniach:

$$M_0 = \sum_{i=1}^N (Mh_i + Modp_i) \quad (1)$$

gdzie:  $M_0$  — strumień węgla surowego,  
 $Mh_i$  — strumień węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu,  
 $Modp_i$  — strumień odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla,  
 $N$  — liczba rozpatrywanych sortymentów węgla handlowego.

Dla ułatwienia analizy przyjmuje się, że wszystkie strumienie liczone są w stanie powietrzno-suchym.

Dla tego bilansu mas obowiązuje również zależność:

$$M_i = \sum^P M_j \quad (2)$$

gdzie:  $M_i$  — strumień masy wpływający do danego węzła technologicznego,  
 $M_j$  — strumienie masy wypływające z danego węzła technologicznego.

Cząstkowy koszt techniczny przeróbki i wzbogacania węgla dla  $i$ -tego węzła technologicznego  $Kw_i$  zależy od strumienia masy przepływającej przez ten węzeł i liczony jest według wzoru:

$$Kw_i = kw_i \cdot M_i \quad (3)$$

gdzie:  $Kw_i$  — cząstkowy koszt techniczny przeróbki i wzbogacania węgla dla  $i$ -tego węzła technologicznego,  
 $kw_i$  — techniczny koszt jednostkowy dla  $i$ -tego węzła technologicznego,  
 $M_i$  — strumień masy przepływający przez dany węzeł technologiczny (na wejściu do danego węzła technologicznego).

Łączny koszt przeróbki danego sortymentu węgla handlowego dla umownej wielkości strumienia węgla surowego opisywany jest wzorem:

$$Kh_i = Kh1_i + Kh2_i + Kh3_i + Kh4_i \quad (4)$$

gdzie:  $Kh_i$  — koszty całkowite przeróbki i wzbogacania węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu,  
 $Kh1_i$  — koszty techniczne przeróbki i wzbogacania węgla  $i$ -tego sortymentu wynikające z przepływu wydzielonego strumienia węgla handlowego przez wybrane węzły technologiczne,  
 $Kh2_i$  — koszty techniczne przeróbki odpadów wynikające z przepływu strumienia odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla handlowego przez wybrane węzły technologiczne,  
 $Kh3_i$  — koszty zagospodarowania strumienia odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla,  
 $Kh4_i$  — koszty strat powstałych w procesie wzbogacania węgla przypisanych do strumienia odpadów odpowiadających  $i$ -temu sortymentowi węgla handlowego.

Rozpisanie poszczególnych składników wzoru (4) przedstawia się następująco:

$$Kh1_i = (kw_1 + \dots + kw_j) \cdot Mh_i \quad (5)$$

gdzie:  $Kh1_i$  — koszty techniczne przeróbki i wzbogacania węgla  $i$ -tego sortymentu wynikające z przepływu wydzielonego strumienia węgla handlowego przez wybrane węzły technologiczne,  
 $kw_i$  — techniczny koszt jednostkowy dla  $i$ -tego węzła technologicznego. Uwzględnia się tylko wybrane koszty jednostkowe dla węzłów technologicznych, przez które przechodzi strumień węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu,  
 $Mh_i$  — strumień węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu.

$$Kh2_i = (kw_1 + \dots + kw_j) \cdot Qodp_i \quad (6)$$

gdzie:  $Kh2_i$  — koszty techniczne przeróbki odpadów wynikające z przepływu strumienia odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla handlowego przez wybrane węzły technologiczne,  
 $kw_i$  — techniczny koszt jednostkowy dla  $i$ -tego węzła technologicznego. Uwzględnia się tylko wybrane koszty jednostkowe dla węzłów technologicznych, przez które przechodzi strumień węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu. Strumień odpadów przypisanych do danego sortymentu węgla handlowego przechodzi przez te same węzły technologiczne co strumień tegoż sortymentu węgla,  
 $Qodp_i$  — strumień odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla handlowego.

$$Kh3_i = K_{odp} \cdot Q_{odp_i} \quad (7)$$

gdzie:  $Kh3_i$  — koszty zagospodarowania strumienia odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla,  
 $K_{odp}$  — koszt jednostkowy zagospodarowania 1 tony odpadów,  
 $Q_{odp_i}$  — strumień odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla handlowego.

$$Kh4_i = k_s \cdot Q_{odp_i} \quad (8)$$

gdzie:  $Kh4_i$  — koszty strat powstałych w procesie wzbogacania węgla przypisanych do strumienia odpadów odpowiadających  $i$ -temu sortymentowi węgla handlowego,  
 $k_s$  — jednostkowy koszt wydobycia węgla surowego,  
 $Q_{odp_i}$  — strumień odpadów przypisanych do  $i$ -tego sortymentu węgla handlowego.

Wyliczenie kosztu jednostkowego przeróbki węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu przeprowadza się według wzoru:

$$kh_i = Kh_i / Mh_i \quad (9)$$

gdzie:  $kh_i$  — koszt jednostkowy przeróbki  $i$ -tego sortymentu węgla,  
 $Kh_i$  — koszty całkowite przeróbki i wzbogacania węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu,  
 $Mh_i$  — strumień węgla handlowego  $i$ -tego sortymentu.

Obliczenia powyższe dla wzorów od (4) do (9) powtarza się dla różnych poziomów wzbogacania uzyskując różne wielkości kosztu jednostkowego dla węgla danego sortymentu, ale o różnych parametrach jakościowych.

## Przychody jednostkowe

Dla obliczenia przychodów jednostkowych zastosowano jeden z wzorów cennikowych podanych w literaturze, wprowadzając pewne modyfikacje. Wzór ten przedstawia się następująco [1]:

$$(S_c = r_c \cdot W_c \cdot C_0 \cdot (Q^r / 25120,8 - (S^r - 1) / 10 - (A^r - 12) / 100) \quad (10)$$

gdzie:  $S_c$  — cena węgla energetycznego [zł/Mg],  
 $r_c$  — wskaźnik relacji cen między sortymentami,  
 $W_c$  — wskaźnik obniżający cenę w zależności od przedziału zapopielenia:  $W_c = 1$  dla zawartości popiołu 5,0–12%;  $W_c = 0,98$ – $0,82$  dla zawartości popiołu w przedziale 12,1–21% (zmniejszenie wskaźnika o 0,02 na każdy przyrost popiołu o 1%;  $W_c = 0,8$  dla przedziału zawartości popiołu 21,1–45,0%  
 $C_0$  — cena węgla wskaźnikowego energetycznego [zł/Mg],  
 $Q^r$  — wartość opałowa w stanie roboczym [kJ/kg],  
 $S^r$  — zawartość siarki całkowitej w stanie roboczym [%],  
 $A^r$  — zawartość popiołu w stanie roboczym [%].

We wzorze (1) wprowadza się pojęcie „węgla wskaźnikowego energetycznego”, którego parametry są następujące:  $Q^r = 25120,8$  [kJ/kg],  $S^r = 1\%$ ,  $A^r = 12\%$ .

W obliczeniach, dla potrzeb analizy przedstawionej w artykule przyjęto, że wskaźnik relacji cen  $r_c$  dla miałow energetycznych wynosi 1.

Modyfikacja wzoru dla obliczeń przedstawionych w tym artykule polega na tym, że w miejsce parametrów  $Q^r$ ,  $A^r$  i  $S^r$  w stanie roboczym podstawia się parametry  $Q^a$ ,  $A^a$  i  $S^a$  w stanie powietrzno suchym. Taka zamiana jest dopuszczalna, gdyż poszukujemy miary przychodów jednostkowych, a nie ceny rynkowej. Zamiana tych parametrów nie wpływa na poprawność wnioskowania.

## Dane źródłowe

Dane źródłowe do analiz zostały zaczerpnięte z pracy [2]. Ponieważ analiza przedstawiona w tej pracy dotyczy jedynie miałow energetycznych, przywołane dane dotyczą jedynie tego sortymentu produkcji.

Parametry jakościowe węgla, wyznaczone z krzywych densymetrycznych podane zostały w tabeli 1.

Bilanse strumieni miału handlowego i odpadów, w odniesieniu do 1 tony węgla surowego, podano w tabeli 2.

Dodatkowo przyjęto, na podstawie danych rzeczywistych, że:

✧ dla kopalni 1:

- ✧ koszty techniczne przeróbki miałow — 2,24 [zł/Mg] masy przepływającej przez węzły technologiczne,
- ✧ koszty jednostkowe zagospodarowania odpadów — 4,63 zł/Mg;

TABELA 1. Parametry jakościowe węgla w zależności od poziomu wzbogacania

TABLE 1. Qualitative parameters of coal depending on enrichment level

Poziom wzbogacania (gęstość frakcji)	Kopalnia 1			Kopalnia 2		
	$Q^a$ [kJ/kg]	$A^a$ [%]	$S^a$ [%]	$Q^a$ [kJ/kg]	$A^a$ [%]	$S^a$ [%]
1,4	25 199	5,12	0,77	24 210	8,61	0,85
1,5	24 873	6,17	0,90	24 146	8,85	0,87
1,6	24 553	7,20	1,03	24 048	9,21	0,90
1,7	24 268	8,06	1,16	23 933	9,64	0,95
1,8	23 973	8,94	1,28	23 844	9,97	0,98
1,9	23 588	10,09	1,41	23 781	10,20	1,01

Źródło: [3]

TABELA 2. Bilans węgla handlowego i odpadów

TABLE 2. Balance of trade coal and waste

Poziom wzbogacania (gęstość frakcji)	Kopalnia 1		Kopalnia 2	
	węgiel handlowy [kg]	odpady [kg]	węgiel handlowy [kg]	odpady [kg]
1,4	324,4	138,6	296,1	145,9
1,5	352,3	110,7	303,2	138,8
1,6	369,5	93,5	309,8	132,2
1,7	380,9	82,1	315,4	126,6
1,8	391,2	71,8	319,6	122,4
1,9	403,1	59,9		

Źródło: [3]

❖ dla kopalni 2:

- ❖ koszty techniczne przeróbki mialów — 2,52 [zł/Mg] masy przepływającej przez węzły technologiczne,
- ❖ koszty jednostkowe zagospodarowania odpadów — 10,52 zł/Mg.

W obliczeniach podanych w modelu przyjęto, że na koszt produkcji węgla handlowego składają się: koszty produkcji węgla surowego, koszty techniczne przeróbki węgla, koszty utracone wynikające ze strat węgla surowego w odpadach oraz koszty zagospodarowania odpadów.

## Wyniki analiz

Koszty produkcji węgla handlowego oraz przychody jednostkowe, w zależności od głębokości wzbogacania, zawarte są odpowiednio: dla kopalni 1 w tabeli 3, a dla kopalni 2 w tabeli 4. W tabeli wprowadzono oznaczenia skrótowe, które oznaczają: Koszty XX — koszty produkcji węgla surowego, cena XX — cena jednostkowa węgla wskaźnikowego.

W analizie wprowadzono pojęcie marży jako różnicy pomiędzy przychodami jednostkowymi i jednostkowymi kosztami produkcji węgla handlowego.

Odpowiednio dane dla kopalni 1 zawarte są w tabeli 5, a dane dla kopalni 2 w tabeli 6.

W tabelach tych pokazano wielkości marży w zależności od *ceny* węgla wskaźnikowego oraz kosztów produkcji węgla surowego — dla różnych głębokości wzbogacania. Dla określenia zależności matematycznych zastosowano analizę trendów wyznaczając krzywe trendu najlepszego dopasowania dla maksymalnych wartości  $R^2$ . W tym przypadku wyznaczano krzywą wielomianową 3 stopnia.

TABELA 3. Koszty produkcji węgla handlowego i przychody (kopalnia 1)[ zł/Mg]  
 TABLE 3. Manufacturing costs of trade coal and income (mine 1)[ Polish zlotys/Mg]

Opis	Poziom wzbogacania					
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Koszty 90	109,37	106,23	104,35	103,13	102,04	100,76
Koszty 95	115,20	111,92	109,95	108,67	107,53	106,20
Koszty 100	121,02	117,60	115,55	114,22	113,02	111,63
Koszty 105	126,85	123,29	121,15	119,76	118,52	117,06
Koszty 110	132,68	128,98	126,75	125,31	124,01	122,50
Koszty 115	138,50	134,67	132,35	130,85	129,50	127,93
Koszty 120	144,33	140,35	137,96	136,39	135,00	133,37
Cena 100	109,49	105,84	102,24	98,95	95,69	91,71
Cena 110	120,44	116,43	112,46	108,84	105,26	100,88
Cena 120	131,39	127,01	122,69	118,73	114,83	110,05
Cena 130	142,34	137,60	132,91	128,63	124,40	119,22
Cena 140	153,29	148,18	143,14	138,52	133,97	128,39
Cena 150	164,24	158,77	153,36	148,42	143,54	137,56

Koszty — koszty jednostkowe produkcji węgla surowego.  
 Cena — cena jednostkowa sprzedaży węgla wskaźnikowego.  
 Źródło: opracowanie własne

TABELA 4. Koszty produkcji węgla handlowego i przychody (kopalnia 2)[ zł/Mg]  
 TABLE 4. Manufacturing costs of trade coal and income (mine 2)[ Polish zlotys/Mg]

Opis	Poziom wzbogacania				
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Koszty 90	113,65	112,54	111,68	110,93	110,16
Koszty 95	119,53	118,38	117,49	116,71	115,92
Koszty 100	125,40	124,22	123,29	122,49	121,67
Koszty 105	131,28	130,06	129,1	128,26	127,43
Koszty 110	137,15	135,90	134,91	134,04	133,19
Koszty 115	143,02	141,74	140,71	139,82	138,94
Koszty 120	148,90	147,58	146,52	145,60	144,70
Cena 100	101,26	100,57	99,52	98,13	97,15
Cena 110	111,39	110,63	109,47	107,94	106,86
Cena 120	121,52	120,68	119,42	117,76	116,58
Cena 130	131,64	130,74	129,38	127,57	126,29
Cena 140	141,77	140,80	139,33	137,38	136,01
Cena 150	151,90	150,85	149,28	147,20	145,72

Koszty — koszty jednostkowe produkcji węgla surowego.  
 Cena — cena jednostkowa sprzedaży węgla wskaźnikowego.  
 Źródło: opracowanie własne



TABELA 5. Marże i funkcje opisujące zależności (kopalnia 1)

TABLE 5. Mark-ups and function describing (mine 1)

Opis	Poziom wzbogacania(gęstość frakcji)						Funkcja opisująca
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	x — gęstość frakcji; z — cena węgla wskaźnikowego
1	2	3	4	5	6	7	8
	Koszty 90						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0429) \cdot x^3 +$ $+ (0,0449 \cdot z - 0,6779) \cdot x^2 +$ $+ (-0,4848 \cdot z + 1,4342) \cdot x + (11,396 \cdot z - 11,57)$
cena 100	0,12	-0,39	-2,11	-4,18	-6,35	-9,05	$y = 0,0386 \cdot x^3 - 0,633 \cdot x^2 + 0,9358 \cdot x - 0,1735$
cena 110	11,07	10,2	8,11	5,71	3,22	0,12	$y = 0,0343 \cdot x^3 - 0,5881 \cdot x^2 + 0,4517 \cdot x + 11,223$
cena 120	22,02	20,78	18,34	15,6	12,79	9,29	$y = 0,03 \cdot x^3 - 0,5432 \cdot x^2 + 0,0323 \cdot x + 22,619$
cena 130	32,97	31,37	28,56	25,5	22,36	18,46	$y = 0,0257 \cdot x^3 - 0,4984 \cdot x^2 - 0,5164 \cdot x + 34,015$
cena 140	43,92	41,95	38,79	35,39	31,93	27,63	$y = 0,0213 \cdot x^3 - 0,4535 \cdot x^2 - 1,004 \cdot x + 45,412$
cena 150	54,87	52,54	49,01	45,29	41,5	36,8	$y = 0,017 \cdot x^3 - 0,4086 \cdot x^2 - 1,4845 \cdot x + 56,808$
	Koszty 95						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0459) \cdot x^3 +$ $+ (0,0449 \cdot z - 0,719) \cdot x^2 + (-0,4841 \cdot z + 1,6616) \cdot$ $\cdot x + (11,396 \cdot z - 17,603)$
cena 100	-5,71	-6,08	-7,71	-9,72	-11,84	-14,49	$y = 0,0415 \cdot x^3 - 0,6741 \cdot x^2 + 1,1776 \cdot x - 6,2069$
cena 110	5,24	4,51	2,51	0,17	-2,27	-5,32	$y = 0,0372 \cdot x^3 - 0,6292 \cdot x^2 + 0,6935 \cdot x + 5,1894$
cena 120	16,19	15,09	12,74	10,06	7,3	3,85	$y = 0,0329 \cdot x^3 - 0,5843 \cdot x^2 + 0,2095 \cdot x + 16,586$
cena 130	27,14	25,68	22,96	19,96	16,87	13,02	$y = 0,0285 \cdot x^3 - 0,5394 \cdot x^2 - 0,2746 \cdot x + 27,982$
cena 140	38,09	36,26	33,19	29,85	26,44	22,19	$y = 0,0242 \cdot x^3 - 0,4945 \cdot x^2 - 0,7586 \cdot x + 39,378$
cena 150	49,04	46,85	43,41	39,75	36,01	31,36	$y = 0,0199 \cdot x^3 - 0,4496 \cdot x^2 - 1,2427 \cdot x + 50,775$
	Koszty 100						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0497) \cdot x^3 +$ $+ (0,0449 \cdot z - 0,7684) \cdot x^2 +$ $+ (-0,4841 \cdot z + 1,9183) \cdot x + (11,396 \cdot z - 23,633)$
cena 100	-11,53	-11,76	-13,31	-15,27	-17,33	-19,92	$y = 0,0454 \cdot x^3 - 0,7235 \cdot x^2 + 1,4343 \cdot x - 12,237$
cena 110	-0,58	-1,17	-3,09	-5,38	-7,76	-10,75	$y = 0,0411 \cdot x^3 - 0,6786 \cdot x^2 + 0,9502 \cdot x - 0,8406$
cena 120	10,37	9,41	7,14	4,51	1,81	-1,58	$y = 0,0367 \cdot x^3 - 0,6337 \cdot x^2 + 0,4662 \cdot x + 10,556$
cena 130	21,32	20	17,36	14,41	11,38	7,59	$y = 0,0324 \cdot x^3 - 0,5888 \cdot x^2 - 0,0179 \cdot x + 21,952$
cena 140	32,27	30,58	27,59	24,3	20,95	16,76	$y = 0,0281 \cdot x^3 - 0,5439 \cdot x^2 - 0,5019 \cdot x + 33,348$
cena 150	43,22	41,17	37,81	34,2	30,52	25,93	$y = 0,0238 \cdot x^3 - 0,499 \cdot x^2 - 0,986 \cdot x + 44,745$

TABELA 5 cd.  
TABLE 5 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
	Koszty 105						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0537) \cdot x^3 + (0,0449 \cdot z - 0,82) \cdot x^2 + (0,4841 \cdot z + 2,1884) \cdot x + (11,396 \cdot z - 29,686)$
cena 100	-17,36	-17,45	-18,91	-20,81	-22,83	-25,35	$y = 0,0494 \cdot x^3 - 0,7751 \cdot x^2 + 1,7044 \cdot x - 18,29$
cena 110	-6,41	-6,86	-8,69	-10,92	-13,26	-16,18	$y = 0,045 \cdot x^3 - 0,7302 \cdot x^2 + 1,2203 \cdot x - 6,8939$
cena 120	4,54	3,72	1,54	-1,03	-3,69	-7,01	$y = 0,0407 \cdot x^3 - 0,6853 \cdot x^2 + 0,7363 \cdot x + 4,5024$
cena 130	15,49	14,31	11,76	8,87	5,88	2,16	$y = 0,0364 \cdot x^3 - 0,6404 \cdot x^2 + 0,2522 \cdot x + 15,899$
cena 140	26,44	24,89	21,99	18,76	15,45	11,33	$y = 0,0321 \cdot x^3 - 0,5955 \cdot x^2 - 0,2318 \cdot x + 27,295$
cena 150	37,39	35,48	32,21	28,66	25,02	20,5	$y = 0,0278 \cdot x^3 - 0,5506 \cdot x^2 - 0,7159 \cdot x + 38,691$
	Koszty 110						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,057) \cdot x^3 + (0,0449 \cdot z - 0,8642) \cdot x^2 + (-0,484 \cdot z + 2,4367) \cdot x + (11,396 \cdot z - 35,723)$
cena 100	-23,19	-23,14	-24,51	-26,36	-28,32	-30,79	$y = 0,0526 \cdot x^3 - 0,8193 \cdot x^2 + 1,9526 \cdot x - 24,327$
cena 110	-12,24	-12,55	-14,29	-16,47	-18,75	-21,62	$y = 0,0483 \cdot x^3 - 0,7744 \cdot x^2 + 1,4686 \cdot x - 12,931$
cena 120	-1,29	-1,97	-4,06	-6,58	-9,18	-12,45	$y = 0,044 \cdot x^3 - 0,7295 \cdot x^2 + 0,9846 \cdot x - 1,5343$
cena 130	9,66	8,62	6,16	3,32	0,39	-3,28	$y = 0,0396 \cdot x^3 - 0,6846 \cdot x^2 + 0,5005 \cdot x + 9,8621$
cena 140	20,61	19,2	16,39	13,21	9,96	5,89	$y = 0,0353 \cdot x^3 - 0,6397 \cdot x^2 + 0,0165 \cdot x + 21,258$
cena 150	31,56	29,79	26,61	23,11	19,53	15,06	$y = 0,031 \cdot x^3 - 0,5948 \cdot x^2 - 0,4676 \cdot x + 32,655$
	Koszty 115						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0598) \cdot x^3 + (0,0449 \cdot z - 0,9034) \cdot x^2 + (-0,4841 \cdot z + 2,666) \cdot x + (11,396 \cdot z - 41,736)$
cena 100	-29,01	-28,83	-30,11	-31,9	-33,81	-36,22	$y = 0,0555 \cdot x^3 - 0,8585 \cdot x^2 + 2,182 \cdot x - 30,34$
cena 110	-18,06	-18,24	-19,89	-22,01	-24,24	-27,05	$y = 0,0512 \cdot x^3 - 0,8137 \cdot x^2 + 1,6979 \cdot x - 18,944$
cena 120	-7,11	-7,66	-9,66	-12,12	-14,67	-17,88	$y = 0,0468 \cdot x^3 - 0,7688 \cdot x^2 + 1,2139 \cdot x - 7,5476$
cena 130	3,84	2,93	0,56	-2,22	-5,1	-8,71	$y = 0,0425 \cdot x^3 - 0,7239 \cdot x^2 + 0,7298 \cdot x + 3,8487$
cena 140	14,79	13,51	10,79	7,67	4,47	0,46	$y = 0,0382 \cdot x^3 - 0,679 \cdot x^2 + 0,2458 \cdot x + 15,245$
cena 150	25,74	24,1	21,01	17,57	14,04	9,63	$y = 0,0339 \cdot x^3 - 0,6341 \cdot x^2 - 0,2383 \cdot x + 26,641$
	Koszty 120						$y = (-0,0043 \cdot z + 0,0636) \cdot x^3 + (0,0449 \cdot z - 0,9535) \cdot x^2 + (-0,484 \cdot z + 2,9307) \cdot x + (11,396 \cdot z - 47,784)$
cena 100	-34,84	-34,51	-35,72	-37,44	-39,31	-41,66	$y = 0,0593 \cdot x^3 - 0,9086 \cdot x^2 + 2,4467 \cdot x - 36,387$
cena 110	-23,89	-23,92	-25,5	-27,55	-29,74	-32,49	$y = 0,055 \cdot x^3 - 0,8637 \cdot x^2 + 1,9626 \cdot x - 24,991$
cena 120	-12,94	-13,34	-15,27	-17,66	-20,17	-23,32	$y = 0,0506 \cdot x^3 - 0,8188 \cdot x^2 + 1,4786 \cdot x - 13,594$
cena 130	-1,99	-2,75	-5,05	-7,76	-10,6	-14,15	$y = 0,0463 \cdot x^3 - 0,7739 \cdot x^2 + 0,9946 \cdot x - 2,1979$
cena 140	8,96	7,83	5,18	2,13	-1,03	-4,98	$y = 0,042 \cdot x^3 - 0,729 \cdot x^2 + 0,5105 \cdot x + 9,1984$
cena 150	19,91	18,42	15,4	12,03	8,54	4,19	$y = 0,0377 \cdot x^3 - 0,6841 \cdot x^2 + 0,0265 \cdot x + 20,595$

Źródło: opracowanie własne

TABELA 6. Marże i funkcje opisujące zależności (kopalnia 2)

TABLE 6. Mark-ups and function describing (mine 2)

Opis	Poziom wzbogacania(gęstość frakcji)					Funkcja opisująca
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	x — gęstość frakcji; z — cena węgla wskaźnikowego
1	2	3	4	5	6	7
	Koszty 90					$y = (0,0063 \cdot z + 0,0794) \cdot x^3 + (-0,0636 \cdot z - 0,8299) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,4649) \cdot x + (10,101 \cdot z - 24,236)$
cena 100	-12,39	-11,97	-12,16	-12,8	-13,01	$y = 0,0857 \cdot x^3 - 0,8935 \cdot x^2 + 2,5467 \cdot x - 14,135$
cena 110	-2,26	-1,91	-2,21	-2,99	-3,3	$y = 0,0921 \cdot x^3 - 0,957 \cdot x^2 + 2,6285 \cdot x - 4,034$
cena 120	7,87	8,14	7,74	6,83	6,42	$y = 0,0984 \cdot x^3 - 1,0205 \cdot x^2 + 2,7103 \cdot x + 6,0667$
cena 130	17,99	18,2	17,7	16,64	16,13	$y = 0,1047 \cdot x^3 - 1,0839 \cdot x^2 + 2,7921 \cdot x + 16,167$
cena 140	28,12	28,26	27,65	26,45	25,85	$y = 0,111 \cdot x^3 - 1,1474 \cdot x^2 + 2,8739 \cdot x + 26,268$
cena 150	38,25	38,31	37,6	36,27	35,56	$y = 0,1174 \cdot x^3 - 1,2108 \cdot x^2 + 2,9557 \cdot x + 36,369$
	Koszty 95					$y = (0,0063 \cdot z + 0,079) \cdot x^3 + (-0,0634 \cdot z - 0,8294) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,5033) \cdot x + (10,064 \cdot z - 29,954)$
cena 100	-18,27	-17,81	-17,97	-18,58	-18,77	$y = 0,0853 \cdot x^3 - 0,8927 \cdot x^2 + 2,5851 \cdot x - 20,053$
cena 110	-8,14	-7,75	-8,02	-8,76	-9,06	$y = 0,0916 \cdot x^3 - 0,9565 \cdot x^2 + 2,6669 \cdot x - 9,5224$
cena 120	1,99	2,3	1,93	1,05	0,66	$y = 0,098 \cdot x^3 - 1,0197 \cdot x^2 + 2,7487 \cdot x + 0,1484$
cena 130	12,11	12,36	11,89	10,86	10,37	$y = 0,1043 \cdot x^3 - 1,0831 \cdot x^2 + 2,8305 \cdot x + 10,249$
cena 140	22,24	22,42	21,84	20,68	20,09	$y = 0,1106 \cdot x^3 - 1,1466 \cdot x^2 + 2,9123 \cdot x + 20,35$
cena 150	32,37	32,47	31,79	30,49	29,8	$y = 0,1169 \cdot x^3 - 1,21 \cdot x^2 + 2,9941 \cdot x + 30,451$
	Koszty 100					$y = (0,0063 \cdot z + 0,0787) \cdot x^3 + (-0,0635 \cdot z - 0,8276) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,5344) \cdot x + (10,101 \cdot z - 36,057)$
cena 100	-24,14	-23,65	-23,77	-24,35	-24,52	$y = 0,085 \cdot x^3 - 0,8911 \cdot x^2 + 2,6161 \cdot x - 25,956$
cena 110	-14,01	-13,59	-13,82	-14,54	-14,81	$y = 0,0913 \cdot x^3 - 0,9546 \cdot x^2 + 2,6982 \cdot x - 15,856$
cena 120	-3,88	-3,54	-3,87	-4,73	-5,09	$y = 0,0976 \cdot x^3 - 1,018 \cdot x^2 + 2,78 \cdot x - 5,7549$
cena 130	6,24	6,52	6,09	5,09	4,62	$y = 0,1039 \cdot x^3 - 1,0815 \cdot x^2 + 2,8618 \cdot x + 4,3458$
cena 140	16,37	16,58	16,04	14,9	14,34	$y = 0,1102 \cdot x^3 - 1,145 \cdot x^2 + 2,9436 \cdot x + 14,447$
cena 150	26,5	26,63	25,99	24,71	24,05	$y = 0,1166 \cdot x^3 - 1,2084 \cdot x^2 + 3,0254 \cdot x + 24,547$
	Koszty 105					$y = (0,0063 \cdot z + 0,0783) \cdot x^3 + (-0,0635 \cdot z - 0,8274) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,5744) \cdot x + (10,101 \cdot z - 41,977)$
cena 100	-30,02	-29,49	-29,58	-30,13	-30,28	$y = 0,0846 \cdot x^3 - 0,8909 \cdot x^2 + 2,6562 \cdot x - 31,876$
cena 110	-19,89	-19,43	-19,63	-20,32	-20,57	$y = 0,0909 \cdot x^3 - 0,9544 \cdot x^2 + 2,738 \cdot x - 21,775$
cena 120	-9,76	-9,38	-9,68	-10,51	-10,85	$y = 0,0972 \cdot x^3 - 1,0178 \cdot x^2 + 2,8198 \cdot x - 11,674$
cena 130	0,36	0,68	0,28	-0,69	-1,14	$y = 0,1036 \cdot x^3 - 1,0813 \cdot x^2 + 2,9017 \cdot x - 1,5735$
cena 140	10,49	10,74	10,23	9,12	8,58	$y = 0,1099 \cdot x^3 - 1,1448 \cdot x^2 + 2,9835 \cdot x + 8,5272$
cena 150	20,62	20,79	20,18	18,93	18,29	$y = 0,1162 \cdot x^3 - 1,2082 \cdot x^2 + 3,0653 \cdot x + 18,628$

TABELA 6 cd.

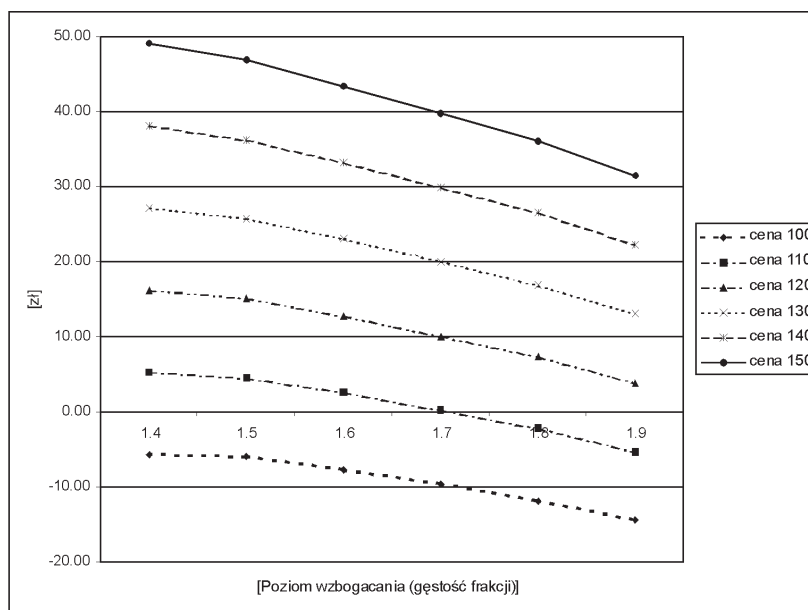
TABLE 6 cont.

1	2	3	4	5	6	7
	Koszty 110					$y = (0,0063 \cdot z + 0,0771) \cdot x^3 + (-0,0632 \cdot z - 0,8188) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,584) \cdot x + (10,01 \cdot z - 47,864)$
cena 100	-35,89	-35,33	-35,39	-35,91	-36,04	$y = 0,0834 \cdot x^3 - 0,8818 \cdot x^2 + 2,6658 \cdot x - 37,763$
cena 110	-25,76	-25,27	-25,44	-26,1	-26,33	$y = 0,0897 \cdot x^3 - 0,9452 \cdot x^2 + 2,7477 \cdot x - 27,662$
cena 120	-15,63	-15,22	-15,49	-16,28	-16,61	$y = 0,0961 \cdot x^3 - 1,0087 \cdot x^2 + 2,8295 \cdot x - 17,562$
cena 130	-5,51	-5,16	-5,53	-6,47	-6,9	$y = 0,1024 \cdot x^3 - 1,0722 \cdot x^2 + 2,9113 \cdot x - 7,4608$
cena 140	4,62	4,9	4,42	3,34	2,82	$y = 0,1087 \cdot x^3 - 1,1356 \cdot x^2 + 2,9931 \cdot x + 2,6399$
cena 150	14,75	14,95	14,37	13,16	12,53	$y = 0,115 \cdot x^3 - 1,1991 \cdot x^2 + 3,0749 \cdot x + 12,741$
	Koszty 115					$y = (0,0063 \cdot z + 0,0768) \cdot x^3 + (-0,0635 \cdot z - 0,8167) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,6153) \cdot x + (10,101 \cdot z - 53,765)$
cena 100	-41,76	-41,17	-41,19	-41,69	-41,79	$y = 0,0831 \cdot x^3 - 0,8802 \cdot x^2 + 2,6971 \cdot x - 43,666$
cena 110	-31,63	-31,11	-31,24	-31,87	-32,08	$y = 0,0894 \cdot x^3 - 0,9436 \cdot x^2 + 2,7789 \cdot x - 33,566$
cena 120	-21,5	-21,06	-21,29	-22,06	-22,36	$y = 0,0957 \cdot x^3 - 1,0071 \cdot x^2 + 2,8608 \cdot x - 23,456$
cena 130	-11,38	-11	-11,33	-12,25	-12,65	$y = 0,102 \cdot x^3 - 1,0705 \cdot x^2 + 2,9426 \cdot x - 13,364$
cena 140	-1,25	-0,94	-1,38	-2,43	-2,93	$y = 0,1083 \cdot x^3 - 1,134 \cdot x^2 + 3,0244 \cdot x - 3,2634$
cena 150	8,88	9,11	8,57	7,38	6,78	$y = 0,1147 \cdot x^3 - 1,1975 \cdot x^2 + 3,1062 \cdot x + 6,8374$
	Koszty 120					$y = (0,0827 \cdot z + 0,0764) \cdot x^3 + (-0,0635 \cdot z - 0,8165) \cdot x^2 + (0,0818 \cdot z + 2,6552) \cdot x + (10,101 \cdot z - 59,687)$
cena 100	-47,64	-47,01	-47	-47,47	-47,55	$y = 0,0827 \cdot x^3 - 0,88 \cdot x^2 + 2,737 \cdot x - 49,586$
cena 110	-37,51	-36,95	-37,05	-37,65	-37,84	$y = 0,089 \cdot x^3 - 0,9434 \cdot x^2 + 2,8188 \cdot x - 39,485$
cena 120	-27,38	-26,9	-27,1	-27,84	-28,12	$y = 0,0953 \cdot x^3 - 1,0069 \cdot x^2 + 2,9006 \cdot x - 29,384$
cena 130	-17,26	-16,84	-17,14	-18,03	-18,41	$y = 0,1017 \cdot x^3 - 1,0703 \cdot x^2 + 2,9824 \cdot x - 19,283$
cena 140	-7,13	-6,78	-7,19	-8,21	-8,69	$y = 0,108 \cdot x^3 - 1,1338 \cdot x^2 + 3,0642 \cdot x - 9,1827$
cena 150	3	3,27	2,76	1,6	1,02	$y = 0,1143 \cdot x^3 - 1,1973 \cdot x^2 + 3,146 \cdot x + 0,9181$

Źródło: opracowanie własne

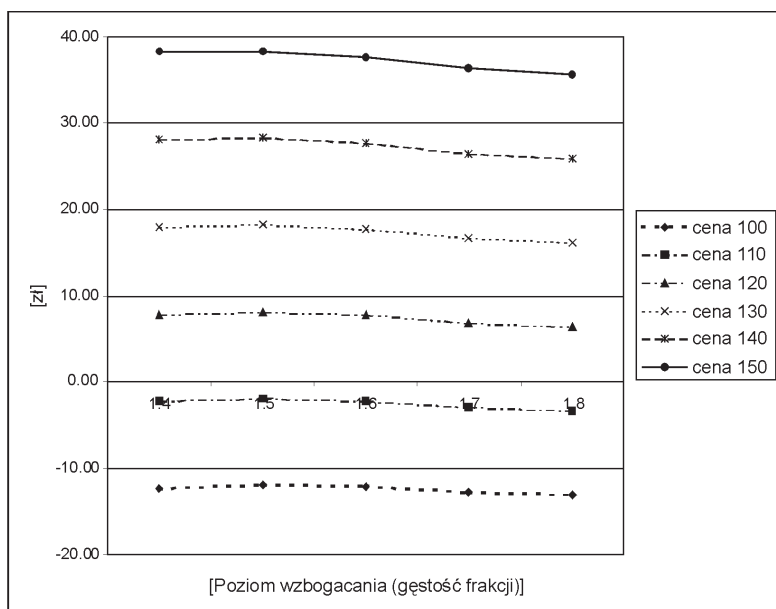
W tabeli podane są dwa rodzaje krzywych. Pierwsza dotyczy zależności wielkości marży dla różnych głębokości wzbogacania dla odpowiednio jednoznacznie przypisanej cenie węgla wskaźnikowego i kosztów produkcji węgla surowego. Chcąc praktycznie wykorzystać te wzory do obliczeń należy za zmienną  $x$  podstawić kolejną liczbę naturalną odpowiadającą miejscu danego poziomu wzbogacania w tabeli. Przykładowo dla wyznaczenia marży dla głębokości wzbogacania 1,5 należy podstawić za zmienną  $x$  liczbę 2.

Drugi rodzaj krzywych uwzględni dwie zmienne  $x$  — poziom wzbogacania i  $z$  — jednostkową cenę sprzedaży węgla wskaźnikowego. Wyznaczane są one dla różnych po-



Rys. 1. Przykładowe przebiegi krzywych marży jednostkowej dla kopalni 1 (dla kosztu 95)  
 Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Exemplary course of individual mark-up curve for mine 1 (for cost 95)



Rys. 2. Przykładowy przebieg zależności marży jednostkowej dla kopalni 2 (koszty 90)  
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Exemplary course of individual mark-up curve for mine 2 (for cost 90)

ziomów kosztów produkcji węgla surowego. Logika korzystania z tych wzorów, przy podstawianiu za  $z$  odpowiednich liczb naturalnych odpowiadających kolejności *ceny* w tabeli jest analogiczna jak dla pierwszego rodzaju krzywych.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono odpowiednio przykłady przebiegów zmienności krzywych marży w zależności od głębokości wzbogacania. Na rysunku 1 przedstawiono zbiór krzywych obrazujących przebiegi zmienności marży dla kopalni 1, przy kosztach jednostkowych produkcji węgla surowego wynoszącej 95 zł/Mg i parametrze ceny wyznaczającej kolejne krzywe. Rysunek 2 dotyczy kopalni 2, przy kosztach jednostkowych produkcji węgla surowego wynoszącej 90 zł/Mg.

## Wnioski

Wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy są niejednoznaczne. W przypadku kopalni 1 wzrost głębokości wzbogacania wyraźnie poprawia relacje ekonomiczne wyrażone marżą z tym, że są to zależności nieliniowe.

W przypadku kopalni 2 zmiany wartości marży w zależności od głębokości wzbogacania są relatywnie niewielkie. Występuje tutaj punkt przegięcia dla głębokości wzbogacania 1,5, po którym dalsze pogłębienie wzbogacania pogarsza relacje ekonomiczne.

Na podstawie tej częściowej analizy należałoby więc stwierdzić, że efektywność ekonomiczna procesów wzbogacania węgla kamiennego jest cechą indywidualną dla każdej z kopalń. Zależy ona od składu i wzbogacalności węgla surowego, ale również od rozkładu kosztów wydobycia węgla surowego, przeróbki i zagospodarowania odpadów. Nie można więc sformułować tezy, że produkcja węgla o wyższych parametrach jakościowych, w kontekście przyjętej w analizie gradacji przychodów dla węgla wyższej jakości jest słuszna ogólnie dla całego przemysłu węglowego w Polsce. Dla każdej z kopalń należałoby więc przeprowadzić taką analizę efektywności ekonomicznej, która powinna być podstawą do decyzji modernizacyjnych i rynkowych.

## Literatura

- [1] BLASCHKE W., 2000 — „System cen energetycznego węgla kamiennego”. Studia, Rozprawy Monografie 77. IGSMiE PAN, Kraków.
- [2] KROWIAK A., ALEKSA H., DYDUCH F., 2004 — Metoda oceny efektywności procesów wzbogacania węgla. Praca statutowa, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- [3] MOKRZYCKI E., 2001 — Rachunek kosztów w zakładzie przeróbki węgla kamiennego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

Andrzej KROWIAK

## Economic effectiveness of hard coal preparation processes

### Abstract

In the article presented method of scaling of economic efficiency of coal enrichment process and it performed accounts on real data from two mines. In the result of analysis received ambiguous results, not allowing ascertain, that in case of all mines process of deepened enrichment coal is profitable economically. In conclusion it means, that it would belong to carry such analyses for all of mines individually.

KEY WORDS: economy, processing, coal, efficiency, method of research