

Joachim PIELOT
Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA FORMUŁ SPRZEDAŻNYCH WĘGLA ENERGETYCZNEGO POD WZGLĘDEM LINIOWOŚCI CEN WĘGLA OD ZAWARTOŚCI POPIOŁU

Streszczenie. W opracowaniu przyjęto do analizy symulacyjnej kilka nadaw węgla surowego o różnych charakterystykach składu ziarnowego oraz różnych charakterystykach wzbogacalności (wzbogacanie w osadzarce przy różnych gęstościach rozdziału). Wyznaczone zostały wartości cenotwórczych parametrów koncentratu oraz ceny jednostkowe koncentratu. Wykazano, że nie zawsze można mówić o liniowej zależności pomiędzy zawartością popiołu a ceną węgla.

ANALYSIS OF SALE FORMULAS OF STEAM COAL ON ACCOUNT OF LINEAR RELATION BETWEEN ASH CONTENT AND UNIT PRICE

Summary. In this paper several types of the raw coal with different granulometric and washability characteristics are presented. The raw coal have been separated in the jigger. Quality parameters of concentrate and unit prices have been calculated. Relation between ash content in coal and unit price can be nonlinear. .

1. Wstęp

W 1990 roku wprowadzono nowy system cen, którego głównym celem była poprawa jakości węgla energetycznego. Od tego czasu system ten był modyfikowany, co wynikało z wielu przesłanek technologicznych, ekonomicznych oraz uzależnień gospodarczych w relacjach między producentami a nabywcami węgla.

Obecnie przy ustalaniu cen kontraktowych pomiędzy producentami a odbiorcami węgla ceny obliczane z formuł sprzedażnych nie są ściśle obowiązujące, mają jednak charakter pomocniczy i są stosowane w negocjacjach i transakcjach kupna-sprzedaży węgla. Struktura

cen węgla energetycznego w tych systemach zależna jest od parametrów cenotwórczych: wartości opałowej, zawartości popiołu i siarki całkowitej w stanie roboczym [1, 22]. Autor wcześniej przeprowadził analizy porównawcze efektów wzbogacania przy różnych formułach sprzedażnych węgla oraz ocenę wartości produkcji węgla przy różnych parametrach odniesienia w formułach sprzedażnych [25, 26]. W niniejszym opracowaniu wskazane zostało wzajemne uzależnienie parametrów cenotwórczych, co w pewnych przypadkach powoduje nieliniową zależność pomiędzy zawartością popiołu a ceną jednostkową węgla.

2. Formuły sprzedażne węgla energetycznego

Ceny jednostkowe, czyli ceny 1 tony sortymentów handlowych, wyznaczone mogą być z różnych formuł sprzedażnych [1, 3, 4, 6, 8, 10-12, 22], które zawierają różne struktury cen. W przypadku uproszczonej w 1994 roku formuły sprzedażnej z 1990 roku [1, 11, 12]:

$$C_j = 0,8C_{wsk} \left(\frac{Q_i^r}{25,1} - \frac{S_i^r - 1}{10} - \frac{A^r - 12}{100} \right) \quad (1)$$

gdzie:

C_j – cena jednostkowa węgla energetycznego [zł/t],

C_{wsk} – cena węgla wskaźnikowego [zł/t],

Q_i^r – wartość opałowa w stanie roboczym [MJ/kg],

S_i^r – zawartość siarki całkowitej w stanie roboczym [%],

A^r – zawartość popiołu w stanie roboczym [%].

W 1993 roku zaproponowano formułę sprzedażną, wykorzystującą zamiast węgla wskaźnikowego węgiel normatywny (wcześniej nazywany węglem wzorcowym [6]) [10]:

$$C_j = r_e C_{norm} \left(\frac{Q_i^r}{21} - \frac{S_i^r - 0,9}{10} - \frac{A^r - 22}{100} \right) \quad (2)$$

gdzie: r_e – wskaźnik relacji cen pomiędzy produktami,

C_{norm} – cena węgla normatywnego (wzorcowego) [zł/t].

W 2002 roku zaproponowana została nowa formuła. Jej czwarta wersja ma postać [8, 22]:

$$C_j = C_{baz} \frac{Q_i^r}{21} - w_s (S_i^r - 0,9) - w_A (A^r - 22) \quad (3)$$

gdzie:

C_{baz} – cena bazowa węgla normatywnego [zł/t],

w_s – współczynnik korygujący cenę ze względu na zawartość siarki,

w_A – współczynnik korygujący cenę ze względu na zawartość popiołu, pozostałe oznaczenia są takie same jak w formule (1).

2.1. Indywidualne struktury cen węgla [15]

Ponieważ opłacalność wzbogacania każdego węgla zależy ściśle od struktury cen [3], a w przedstawionych powyżej formułach cenowych relacje cen węgla odbiegają od relacji kosztów jego pozyskania [16], dlatego istnieją poglądy, że każdy zakład przerobczy powinien znać najkorzystniejszą, z punktu widzenia swojej specyfiki, strukturę cen węgla. Obok funkcjonujących formuł sprzedażnych i wobec ich ewolucji czy proponowanych modyfikacji (z przykładami konkretnych tabel cennikowych [7]), podawane są więc różne propozycje tworzenia indywidualnych struktur cen węgla dla poszczególnych producentów węgla, skorelowane z kosztami pozyskania sortymentów handlowych [16] i wartościami parametrów jakościowych węgla surowego i koncentratów [13]. Problemy producentów oraz użytkowników węgla mogą też rozwiązać odpowiednio skonstruowane struktury cen koncernowych i wewnątrzkoncernowych [2, 10]. Proponowane są również metody tworzenia struktur cen węgla, opartych na skutkach zmian parametrów jakościowych u użytkowników, zwłaszcza w elektrowniach. Są to struktury cenowe indywidualne, odrębne dla każdego użytkownika [21], co jest ważne zwłaszcza w warunkach braku obowiązującej struktury cenowo-jakościowej węgla i przy zaostrzonych wymaganiach ekologicznych [20].

Reasumując, można stwierdzić, że struktury cen węgla mogą się znacząco różnić między sobą. Zatem wpływ poszczególnych parametrów jakościowych na ceny zbywanego węgla może być istotnie różny.

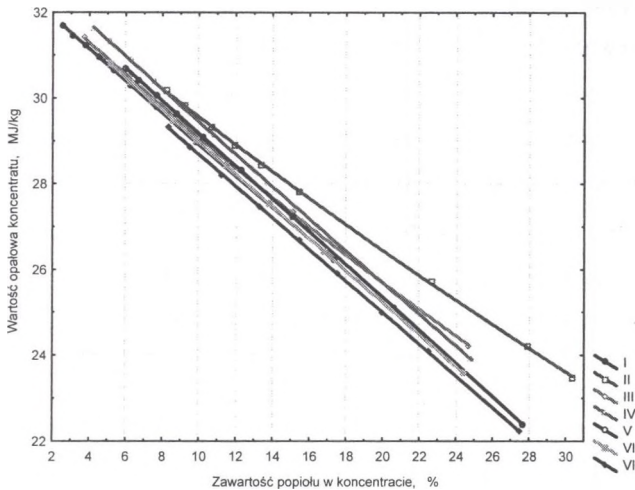
3. Współzależności między cenotwórczymi parametrami węgla

Ziarna węgla surowego różnią się gęstością, zawartościami popiołu, siarki, wilgoci, wartością opałową oraz wymiarami geometrycznymi. Zanieczyszczenia węgla surowego składają się z różnych substancji mineralnych [12]. Parametry produktów wzbogacania zależą więc od własności technologicznych węgla surowego, układu technologicznego zakładu przeróbki węgla i głębokości wzbogacania.

W niniejszym opracowaniu przyjęto do analizy symulacyjnej 7 nadaw węgla surowego o różnych charakterystykach składu ziarnowego oraz różnych charakterystykach

wzbogacalności; ziarna mniejsze od 50 mm zostały wzbogacane w osadzarce przy różnych gęstościach rozdziału, w zakresie od 1,40 do 2,20 g/cm³. Prognozy symulacyjne wykonano z wykorzystaniem modeli matematycznych [17] opisanych w [15].

Na rys. 1 przedstawione są zależności wartości opałowej koncentratów od zawartości popiołu w tych koncentratkach. Surowy węgiel kamienny składa się z palnej substancji organicznej, która stanowi o wartości opałowej, niepalnej substancji mineralnej, z której po spaleniu tworzy się popiół, i wody. Wraz ze zwiększaniem się zawartości popiołu w węglu liniowo maleje wartość gospodarcza energii chemicznej zawartej w tym węglu [19]. Z tego powodu im większa jest zawartość popiołu w węglu, tym mniejsza jego wartość opałowa. Widoczny rozrzut wartości wynika z tego, że substancję organiczną tworzy kilka pierwiastków, a wzajemny ich udział i rodzaje wiązań decydują o typie węgla; im wyższa zawartość czystego węgla (pierwiastka C), tym typ węgla jest wyższy [14] i większa jest jego wartość opałowa. Ponadto różna jest również zawartość wilgoci w poszczególnych nadawach.

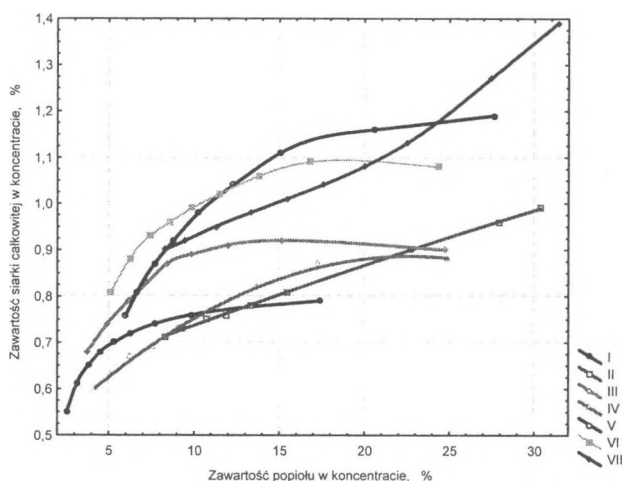


Rys. 1. Zależność wartości opałowej od zawartości popiołu w koncentracie

Fig. 1. The calorific value of concentrate as function on ash content in the concentrate

Na rys. 2 przedstawione są zależności zawartości siarki całkowitej w poszczególnych koncentratkach od zawartości popiołu w tych koncentratkach. Siarka występuje w postaci związków nieorganicznych i organicznych, a wzbogacanie węgla usuwa z niego tylko siarkę nieorganiczną. Zasadniczo zawartość siarki wzrasta wraz ze wzrostem gęstości frakcji (co widoczne jest na rys. 2) i zmniejszaniem wymiarów ziarn [5]. W wielu jednak przypadkach rozkład zawartości siarki w poszczególnych frakcjach gęstościowych i klasach ziarnowych jest raczej przypadkowy i jest spowodowany geną tworzenia się siarki w złożu węgla [9].

W procesach wzbogacania węgla można więc zawsze uzyskać koncentraty o niskiej zawartości popiołu, natomiast nie zawsze o niskiej zawartości siarki. Niekiedy zawartość siarki w koncentracie może nawet być większa niż w węglu surowym [5, 28]¹.



Rys. 2. Zależność siarki całkowitej od zawartości popiołu w koncentracie
 Fig. 2. The total sulphur content of contrate as function on ash content in the contrate

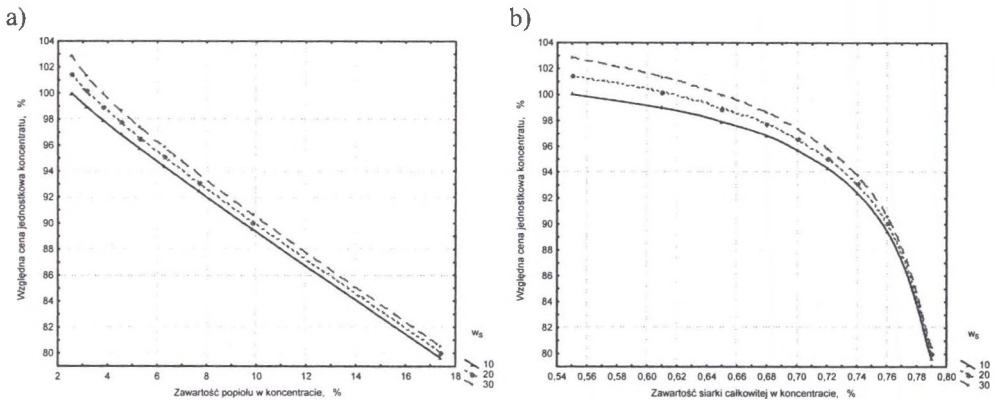
4. Zależność cen węgla od ilości składników balastowych

W literaturze dotyczącej formuł sprzedażnych operuje się pojęciem liniowości cen węgla w funkcji zawartości popiołu [3, 10], zwłaszcza w odniesieniu do utworzonych za pomocą formuły sprzedażnej (1) cenników węgla o zagregowanych parametrach jakościowych. We wszystkich formułach sprzedażnych (1), (2), (3) bezpośredni wpływ, na przykład, zawartości popiołu (A') na cenę węgla jest rzeczywiście liniowy, pod warunkiem że pozostałe parametry jakościowe są stałe, jak to ma miejsce w poszczególnych wierszach bądź kolumnach cenników węgla [1].

Wzajemne powiązanie trzech cenotwórczych parametrów jakościowych skutkuje jednak tym, że przytoczone formuły sprzedażne oraz inne, opisane w p.2.1, stają się funkcjami uwikłanymi z punktu widzenia zawartości popiołu. Szczególnie istotna jest tu nieliniowa zależność pomiędzy zawartością siarki całkowitej a zawartością popiołu (rys. 2).

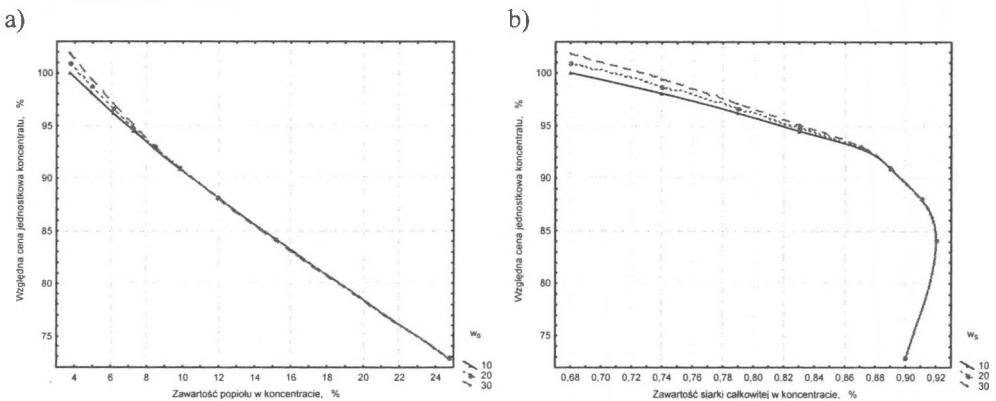
¹ W przypadku węgla energetycznego stosuje się mieszanki węgla, umożliwiające zagospodarowanie miałów i mulów węglowych [24]. Mieszanki stosuje się również w celu ograniczenia emisji gazów. Przez selektywny dobór węgla i tworzenie mieszanek o wymaganej jakości można ograniczyć zawartość związków siarki, tworzących się w procesie spalania węgla. Jest to najprostszy sposób regulacji emisji tlenków siarki przy wszelkiego rodzaju paleniskach [18].

Poniżej zilustrowane zostały zmiany cen koncentratów przy zmianach zawartości składników balastowych w przypadku czterech wybranych nadaw. Tak jak w p.3 prognozy dotyczyły wzbogacania w osadzarce przy różnych gęstościach rozdziału, w zakresie od 1,40 do 2,20 g/cm³. Uzyskane wartości cenotwórczych parametrów węgla, które są wzajemnie zależne, posłużyły do wyznaczenia cen koncentratu z formuły (3). Cenę bazową węgla normalywnego oraz wartości współczynników korygujących cenę przyjęto jak w opracowaniach [8, 22]. Na rysunkach 3-6 pokazane zostały zmiany względnych cen koncentratów przy zmianach składników balastowych (wynikających ze zmian gęstości rozdziału).



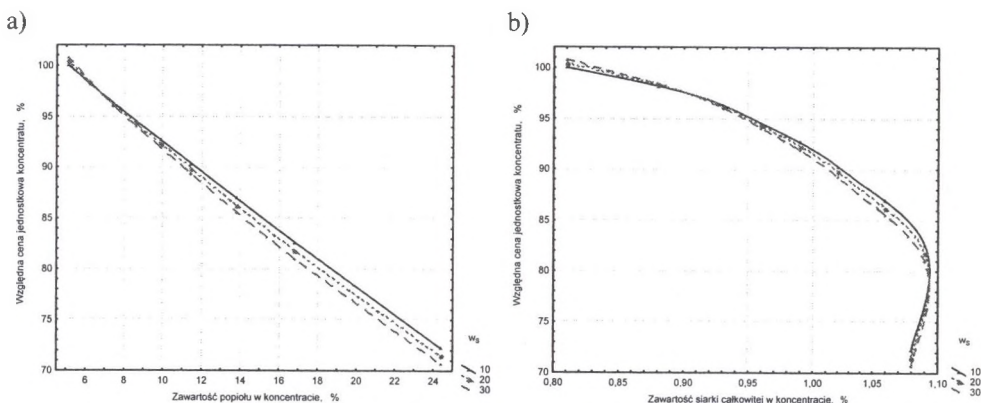
Rys. 3. Zależność względnej ceny koncentratu od zawartości popiołu (a) i siarki całkowitej (b) w koncentracie – nadawa I

Fig. 3. The relative concentrate price as function on ash content (a) and total sulphur content (b) in the concentrate – feed I



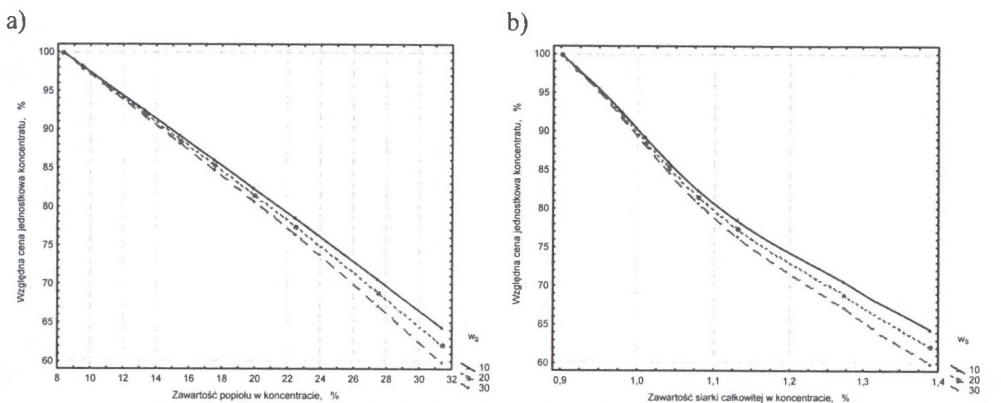
Rys. 4. Zależność względnej ceny koncentratu od zawartości popiołu (a) i siarki całkowitej (b) w koncentracie – nadawa III

Fig. 4. The relative concentrate price as function on ash content (a) and total sulphur content (b) in the concentrate – feed III



Rys. 5. Zależność względnej ceny koncentratu od zawartości popiołu (a) i siarki całkowitej (b) w koncentracie – nadawa VI

Fig. 5. The relative concentrate price as function on ash content (a) and total sulphur content (b) in the concentrate – feed VI



Rys. 6. Zależność względnej ceny koncentratu od zawartości popiołu (a) i siarki całkowitej (b) w koncentracie – nadawa VII

Fig. 6. The relative concentrate price as function on ash content (a) and total sulphur content (b) in the concentrate – feed VII

Mimo, że wpływ zawartości popiołu i siarki całkowitej w formule (3) uległ zmniejszeniu [22], to i tak skutkuje to nieliniową zależnością ceny węgla od zawartości popiołu – linie ciągłe na rysunkach (a) przy współczynniku $w_s = 10$. W szczególności, w celu zbadania większego wzajemnego (nieliniowego – rys. 2) wpływu składników balastowych przyjęte zostały podwyższone wartości współczynnika $w_s = 20$ i $w_s = 30^2$. Ceny koncentratów

² Oznacza to, że ceny węgla zmieniają się odpowiednio o 2 zł i 3 zł przy zmianie zawartości siarki o 0,1%

wyliczone dla tak przyjętych wartości w_s , obrazują linie przerywane na rysunkach 3-6. Rysunki (b) ilustrują nieliniową zależność ceny węgla od zawartości siarki całkowitej³.

5. Wnioski

Procesy wzbogacania mają decydujący wpływ na realne możliwości zbytu sortymentów węgla na rynku krajowym oraz silnie konkurencyjnych rynkach zagranicznych. Wobec rosnących wymagań ekologicznych oraz ciągłego wzrostu wydobycia węgla o dużej zawartości siarki, co jest tendencją światową [29], należy się liczyć z wymogiem silniejszego oddziaływania składników balastowych na cenę węgla. Wydaje się, że zwłaszcza w indywidualnych strukturach cen może zaistnieć silniejszy wpływ tych składników. Ponieważ parametry cenotwórcze węgla są zawsze wzajemnie ze sobą ściśle powiązane, więc silniejsze oddziaływanie składników balastowych na cenę węgla będzie skutkowało nieliniowym wpływem zawartości popiołu.

BIBLIOGRAFIA

1. Blaschke W.: System cen energetycznego węgla kamiennego. Studia, Rozprawy, Monografie nr 77, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2000.
2. Blaschke W., Blaschke S.A., Gawlik L., Grudziński Z., Mokrzycki E.: Ceny koncernowe a ceny wewnątrzkoncernowe węgla kamiennego – zarys problemu. Materiały XXVI Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 7-9 września 1994, s. 285-290.
3. Blaschke W., Blaschke S.A., Grudziński Z.: System cen energetycznego węgla kamiennego a opłacalność jego wzbogacania. Przegląd Górniczy 1997, nr 1, s. 21-33.
4. Blaschke W., Blaschke S.A., Grudziński Z., Mokrzycki E., Olkuski T., Rżany J.: Opłacalność wzbogacania wynikająca ze struktur cenowych formuł sprzedażnych i właściwości technologicznych energetycznego węgla kamiennego. Inżynieria Mineralna 2002, Zeszyt spec. nr S. 2 (8), s. 21-33.
5. Blaschke W., Blaschke S.A., Olkuski T., Rżany J., Blaschke Z.: Rozkład zawartości siarki w węglach energetycznych a opłacalność ich odsiarczania. Materiały XXV Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 8-10 września 1993, s. 93-109.

³ Charakter zmian zawartości siarki od zawartości popiołu (rys. 2) wpływa na charakter zmian cen węgla od zawartości siarki całkowitej.

6. Blaschke W., Grudziński Z.: Węgiel kamienny energetyczny. Cz.I. Ceny światowe – wartość węgla. Wiadomości Górnicze 1996, nr 9, s. 403-411.
7. Blaschke W., Grudziński Z., Kapinos J., Mokrzycki E., Ozga U.: Koncepcja struktur cen koncernowych węgla energetycznego w oparciu o system cennika z 1990 roku. Materiały XXVI Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 7-9 września 1994, s.291-301.
8. Blaschke W., Grudziński Z., Lorenz U.: Koncepcja formuły sprzedażnej węgla kamiennego energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Inżynieria Mineralna, Zeszyt specjalny nr S. 3 (10) wrzesień 2003, s. 185-193.
9. Blaschke W., Grudziński Z., Lorenz U., Mokrzycki E.: Zawartość siarki a struktura cen węgla energetycznego. Materiały XXV Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 8-10 września 1993, s. 111-126.
10. Blaschke W., Grudziński Z., Lorenz U., Mokrzycki E., Olkusi T., Ozga U., Rżany J.: Nowa, koncernowa formuła sprzedażna dla węgla kamiennego energetycznego. Materiały XXVI Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 7-9 września 1994, s. 303-312.
11. Blaschke W., Mokrzycki E., Blaschke S.A., Grudziński Z., Karcz A., Blaschke Z., Jaworski A.: System cen na węgiel kamienny. Przegląd Górniczy 1991, nr 2, s. 18-26.
12. Blaschke W., Mokrzycki E., Shan Z.: Ekonomia przeróbki węgla kamiennego. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t. 5, s. 101-121.
13. Blaschke Z.: Propozycja określenia cen węgla z poszczególnych kopalni do rozliczeń wewnętrznych w spółkach węglowych. Materiały XXVI Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Szczawnica, 7-9 września 1994, s. 313-318.
14. Blaschke Z., Sztaba K.: Aktualna jakość węgla energetycznego oraz możliwości i warunki jej poprawy. Gospodarka Paliwami i Energią 1994, nr 9, s. 13-15.
15. Cierpisz S., Pielot J.: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 28, Gliwice 2001.
16. Gawlik L.: Zarys koncepcji zindywidualizowanych struktur cenowych węgla w oparciu o koszty jego pozyskania. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Przeróbki Kopalni, Zakopane, 14-17 listopada 1995, s. 401-408.
17. Goodman F., McCreery J.: Coal Preparation Computer Model. Vol.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washigton 1980.
18. Hycnar J.J., Pinko L.: Aspekty ekologiczne i ekonomiczne przy spalaniu węgla. Karbo Energochemia Ekologia 1997, nr 1, st. 3-6.
19. Jabłońska-Firek B.: Racjonalny zakres wzbogacania węgla w aspekcie makroekonomicznym. Archiwum Górnictwa t. 41: 1996, z.1, s. 131-147.
20. Ligęza J.: Techniczno-ekonomiczne oraz ekologiczne uwarunkowania doboru optymalnej jakości węgla dla elektrowni ze względu na koszty wytwarzania energii elektrycznej. Karbo Energochemia Ekologia 1996, nr 8, s. 287-294.
21. Lorenz U.: Wyznaczanie struktur cen węgla kamiennego energetycznego przy pomocy formuły ECO. Przegląd Górniczy 1997, nr 4, s. 28-36.
22. Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z.: Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie nr 112, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
23. Niemyski M., Jankowski B.: Wpływ wymagań z zakresu ochrony środowiska na efektywność zastosowania paliw węglowych o podwyższonych parametrach jakościowych w wybranych obiektach w energetyce. Materiały Konferencji: „Poprawa

- jakości węgla w programie dostosowania górnictwa węglowego do warunków gospodarki rynkowej”, Szczyrk, 19-21 czerwca 1996, s. 75-89.
24. Nycz R.: Aktualny stan przeróbki węgla kamiennego w Polsce. Inżynieria Mineralna, Kraków 2000, nr 2, s. 3-29.
 25. Pielot J.: Porównanie efektów wzbogacania w układzie technologicznym przy różnych formułach sprzedażnych węgla. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, Katowice 2005, nr 9 (416), s. 27-37.
 26. Pielot J.: Wartość produkcji węgla przy różnych parametrach odniesiona w formułach sprzedażnych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, Katowice 2005, nr 9 (416), s. 37-46.
 27. Pielot J.: Ocena wartości produkcji uzyskiwanej z węgla surowego o różnej jakości. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1736, seria Górnictwo, z. 273, Gliwice 2006, s. 291-304.
 28. Sztaba K., Blaschke Z.: O podstawowych uwarunkowaniach podnoszenia jakości koncentratów węglowych. Materiały Konferencji: „Poprawa jakości węgla w programie dostosowania górnictwa węglowego do warunków gospodarki rynkowej”, Szczyrk, 19-21 czerwca 1996, s. 261-276.
 29. Wachowska H., Kozłowski M., Pietrowski M.: Analiza form siarki w polskich węglach kamiennych. Karbo Energochemia Ekologia 1996, nr 6, s. 199-204.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Jaracz, prof. AP