

Wiesław BLASCHKE\*

## Problem głębokości wzbogacania węgla kamiennego energetycznego przed jego użytkowaniem w energetyce

STRESZCZENIE. Omówiono problem wzbogacania węgla kamiennego energetycznego dla potrzeb energetyki. Opisano wskaźnik energetyczny obciążenia popiołem jednostki ciepła. Przedstawiono zmiany tego wskaźnika w zależności od przyjętej gęstości rozdziału węgla surowego na koncentrat i odpady. W oparciu o dane zamieszczone na Kongresie w Liege obliczono zmniejszenie zużycia węgla potrzebnego na wyprodukowanie 1 kWh brutto. Okazało się, że wystarczy tylko odkamienienie węgla, aby zużycie paliwa spadło od 2,8 do 18,26% w zależności od pochodzenia węgla z różnych kopalń. Zaproponowano utworzenie programu badawczego analizującego koszty pozyskania czystych koncentratów węglowych w powiązaniu z kosztami pozyskania energii.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel kamienny, wzbogacanie, użytkowanie węgla w energetyce, zmiany zużycia paliwa na 1 kWh

### Wprowadzenie

Analizy efektywności użytkowania węgla w energetyce prezentowane już na III Międzynarodowym Kongresie Przeróbki Węgla [1–5] obradującym w Liege w 1958 roku

---

\* Prof. dr hab. inż. — Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

pokazują skutki stosowania węgla gorszej jakości. Podsumowując rozważania autorów w/w Kongresu można stwierdzić, że wartość użytkowa węgla przeznaczonego do celów energetycznych zależy od jego wartości opałowej oraz od zawartości balastu. W praktyce przyjmuje się, że wartość użytkowa 1 kalorii ciepła zawartego w paliwie obniża się proporcjonalnie do obciążenia tej kalorii popiołem i wilgocią. Wielkość tę wyraża się w gramach popiołu (lub w gramach wilgoci) na megakalorię ciepła (w tamtym czasie wartość opałową nie podawano tak jak obecnie w megadżulach) i nazywa się wskaźnikiem energetycznym [7, 8] obciążenia popiołem jednostki ciepła. Paliwo staje się bezwartościowe dla użytkownika w następujących przypadkach: gdy węgiel nie zawierający wilgoci ma zapopielenie w granicach od 250 do 300 g/Mcal lub gdy węgiel bezpopiołowy ma zawilgocenie w granicach 1700 do 1800 g/Mcal. Zwiększenie zawartości popiołu o 1 g/Mcal powiększa o 0,12% nakłady inwestycyjne na każdy 1 MW mocy zainstalowanej, natomiast zwiększenie zawartości wilgoci o 1g/Mcal zwiększa te nakłady o 0,3%. Ze wzrostem o 1g/Mcal zawartości wilgoci lub popiołu zużycie paliwa na 1 kWh wytworzoną brutto wzrasta o 0,3%.

W niniejszym artykule pokazano jak zmieniają się wskaźniki energetyczne obciążenia popiołem jednostki ciepła w miarę obniżania gęstości rozdziału węgla surowego (nadawy) na koncentrat i odpady dla dwuproduktowego wzbogacania węgla kamiennego energetycznego.

## 1. Wzbogacanie węgla przed spalaniem

Specjaliści interesujący się problemami spalania wiedzą, że praktycznie każdy węgiel, niezależnie od jego jakości, może być użytkowany w energetyce. Można, co jest oczywiste, spalać węgiel bardzo dobrej jakości (wysoka wartość opałowa, mała zawartość popiołu), można też spalać węgiel bardzo złej jakości. Problemem jest tylko dostosowanie kotłów i instalacji nawęglających do jakości otrzymywanego węgla. Tu należy przypomnieć, że budowane w poprzednim systemie gospodarczym elektrownie przystosowywane były do spalania węgla coraz gorszej jakości, gdyż taki produkt otrzymywano z kopalń węgla kamiennego. Spowodowane to było brakiem zakładów wzbogacania miałów energetycznych, a tego rodzaju węgiel jest spalany w kotłach pyłowych.

W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia wybudowano sekcje miałowe w zakładach przeróbki węgla. Stworzono w ten sposób możliwość dostarczania do elektrowni, elektrociepłowni i innych użytkowników, dobrej jakości miałów, co było od lat postulatem energetyki. Jednak zainteresowanie użytkowników wzbogacaniem węgla skończyło się gdy dostarczany węgiel zaczął uzyskiwać parametry gwarancyjne poszczególnych kotłów [8]. Spalanie jeszcze lepszego jakościowo węgla nie przynosiło już w energetyce poprawy efektów technologicznych i ekonomicznych. Zwiększone koszty zakupu wzbogacanego węgla nie przekładają się (bez wymiany kotłów) na odpowiednie obniżenie kosztów pozyskania energii.

Produkcja czystych [9] węgla zatrzymała się na poziomie jakości odpowiadającej posiadanym przez energetykę kotłów. Niestety do spalania nadal trafiają węgle zawierające mniejsze lub większe ilości ziarn czystego kamienia. Kamień ten trafia do węgla w trakcie eksploatacji (przybierki stropu i spągu, wkładki kamienne w pokładach) a czasami podczas transportu podziemnego urobku z robót przygotowawczych.

Budowane w okresie powojennym elektrownie przystosowane były do spalania węgla niewzbogaconego, tzw. surowych miałów energetycznych. Dostosowane one miały kotły do spalania węgla o zawartości popiołu od 20 do 35%. Im później budowane były elektrownie, tym wyższą zawartość popiołu przyjmowano jako podstawową jakość węgla. Z tego też powodu, w poprzednim systemie funkcjonowania gospodarki, praktycznie nie budowano zakładów przerobczych wzbogacających miały energetyczne. W ówczesnym okresie nie przywiązywano większego znaczenia do problemu zanieczyszczenia środowiska wskutek spalania złej jakości węgla.

Przeprowadzone w ostatnich kilkunastu latach modernizacje elektrowni i elektrociepłowni nie zakładały dużych zmian w zakresie jakości dostarczanego do spalania węgla. W większości przypadków zakładano spalanie węgla o zawartości popiołu od 18 do 25%. Tu trzeba dodać, że po usunięciu z urobku węglowego ziarn czystego kamienia uzyskany w ten sposób produkt zawiera około 12–14% popiołu. Energetyka stosuje do produkcji energii węgiel zawierający znaczne ilości kamienia. Jest to nonsens tak z technologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia.

Spalanie złej jakości węgla powoduje zwiększenie kosztów pozyskania energii i pogorszenie sprawności przemian energetycznych. Jeżeli w programie Polityki Energetycznej [10] przewiduje się radykalne działania na rzecz poprawy efektywności energetycznej oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko, niezbędne jest nowe spojrzenie na procesy wzbogacania węgla dla energetyki.

Jak już powyżej wspomniano górnictwo węgla kamiennego jest przygotowane do produkcji miałów węgla energetycznych o bardzo dobrej jakości (niska zawartość popiołu, wysoka wartość opałowa). Uruchomienie takiej produkcji zależy od zainteresowania potencjalnych odbiorców zakupem węgla wzbogaconego lub głęboko wzbogaconego. Przez głębokość wzbogacania rozumie się gęstość rozdziału węgla na koncentrat i odpady. Im gęstość jest niższa, tym węgiel jest głębiej wzbogacony, a jego jakość znacznie się poprawia.

Jakość węgla kamiennych opisywana jest zespołem krzywych wzbogacalności. Obejmują one krzywe zawartości popiołu, krzywe wartości opałowych, krzywe zawartości siarki itd. Krzywe wzbogacalności pokazują jak zmieniają się parametry jakościowe koncentratu wzbogacanego przy różnych gęstościach rozdziału węgla surowego na koncentrat i odpady. Węgla pochodzące z różnych pokładów posiadają odmienne, właściwe sobie krzywe wzbogacalności. Z tego też względu związku pomiędzy zawartością popiołu a wartością opałową trzeba badać indywidualnie dla każdego węgla. Krzywe wzbogacalności, nazywane czasami krzywymi charakterystyki technologicznej węgla, pokazują, jakie są możliwe teoretycznie do osiągnięcia parametry jakościowe koncentratów (produktów handlowych) uzyskiwanych w trakcie procesów wzbogacania węgla.

Krzywe wzbogacalności są, jak już wspomniano, krzywymi teoretycznymi, gdyż dane do ich sporządzenia otrzymywane są w wyniku rozdziału surowego węgla na frakcje gęsto-

ściowe w warunkach laboratoryjnych. W warunkach przemysłowego wzbogacania węgla, na skutek mniejszej lub większej dokładności rozdziału węgla na produkty, otrzymywane parametry jakościowe koncentratu są gorsze niż wyniki badań laboratoryjnych. Zjawisko to jest powszechnie znane specjalistom przeróbki węgla. Otrzymywane w warunkach przemysłowych charakterystyki technologiczne węgla noszą nazwę krzywych wzbogacania.

W niniejszym artykule analiza wskaźników energetycznych obciążenia popiołem jednostki ciepła prowadzona będzie na krzywych wzbogalności.

## 2. Wskaźniki energetyczne obciążenia popiołem jednostki ciepła w zależności od gęstości rozdziału nadawy na koncentrat i odpady

Wskaźniki energetyczne obciążenia popiołem jednostki ciepła podawane są w gramach popiołu na 1000 kcal i opisuje je wzór:

$$A_w = 10000 \frac{A^a}{Q_w^a}$$

gdzie:  $A_w$  – wskaźnik energetyczny obciążenia popiołem jednostki ciepła (gramów na 1000 kcal),  
 $A^a$  – zawartość popiołu w stanie analitycznym [%],  
 $Q_w^a$  – wartość opałowa w stanie analitycznym [kcal/kg].

Obliczenia wskaźników energetycznych obciążenia popiołem jednostki ciepła przeprowadzono dla kilkunastu węgli, których dane w postaci zespołów krzywych wzbogalności znajdują się w bazie Zakładu Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego IGSMiE PAN. Dane dotyczą miałów węgla kamiennego energetycznego. Na podstawie wyników rozdziału węgla surowego (nadawy) na frakcje gęstościowe obliczono teoretyczne parametry jakościowe (wychód, zawartość popiołu, wartość opałowa) koncentratów otrzymywanych przy założeniu różnych gęstości rozdziału pomiędzy koncentratem a odpadami. Przyjęto gęstości począwszy od 1,3 g/cm<sup>3</sup> do 2,0 g/cm<sup>3</sup>. Obliczenia dla przykładowych węgli z dwóch kopalń zestawiono w tabeli 1.

Pamiętając, że 1 kcal/kg jest równa 4,1868 kJ/kg przeliczono wartości opałowe podane w KJ/kg na wartości w kcal/kg, a następnie wykorzystując podany powyżej wzór obliczono wskaźniki energetyczne obciążenia jednostki ciepła popiołem. Wskaźniki podano w jednostkach gramów popiołu na jedną Mcal, aby możliwe było porównanie wyników z informacjami przekazanymi na Kongresie w Liege. Można oczywiście obliczać wskaźniki w gramach na jednego MJ/kg, ale w celach porównawczych należałoby także przeliczyć wielkości podawane w referatach wygłoszonych na wspomnianym Kongresie.

TABELA 1. Zmiana parametrów jakościowych koncentratu i wskaźnika energetycznego obciążenia popiołem jednostki ciepła w zależności od gęstości rozdziálu pomiędzy koncentratem a odpadami

Gęstość rozdziálu koncentrat/odpady [g/cm <sup>3</sup> ]	Kopalnia A				Kopalnia B			
	wychód produktu handlowego [%]	zawartość popiołu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	wskaźnik energetyczny obciążenia popiołem [g/Mcal]	wychód produktu handlowego [%]	zawartość popiołu [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	wskaźnik energetyczny obciążenia popiołem [g/Mcal]
1.30	12,15	4,30	28 439	6,33	32,80	4,20	29 309	6,18
1.35	30,11	5,85	27 682	8,85	43,30	4,95	29 015	7,14
1.40	41,06	7,01	27 215	10,78	46,20	5,33	28 866	7,73
1.50	49,54	8,67	26 594	13,65	52,50	6,56	28 379	9,68
1.60	56,97	10,79	25 815	17,50	56,50	7,81	27 947	11,70
1.70	63,99	13,27	24 898	22,31	59,20	8,93	27 535	13,58
1.80	67,95	14,88	24 304	25,63	64,30	11,74	26 465	18,54
1.90	71,98	16,72	23 692	29,54	65,60	12,44	26 214	19,87
2.00	74,56	18,00	23 170	32,52	67,10	13,43	25 870	21,74
w. surowy	100,00	31,61	18 251	72,50	100,00	34,94	18 091	80,86

Źródło : obliczenia własne

Analizując wartości wskaźników podanych w tabeli 1 łatwo zauważyć, co jest oczywiste, że im niższa gęstość rozdziału to wartości wskaźników są coraz mniejsze. Największa różnica występuje przy porównaniu wskaźnika  $A_w$  dla węgla surowego z koncentratem wydzielonym przy gęstości rozdziału  $2,0 \text{ g/cm}^3$ . Przy tej gęstości można przyjąć, że nastąpiło odkamienienie węgla surowego.

W warunkach przemysłowych wzbogacanie węgla kamiennego energetycznego odbywa się przy gęstościach w przedziale  $1,8\text{--}2,0 \text{ g/cm}^3$ , rzadziej przy niższych. Gęstość rozdziału dobierana jest tak, aby koncentraty posiadały wartość opałową i zawartość popiołu zgodną z ustalonymi w umowach kupna/sprzedaży parametrami wytwarzanego produktu handlowego. Przyjmowane niższe gęstości rozdziału niż  $2,0 \text{ g/cm}^3$  oznaczają, że oprócz ziarn czystego kamienia usuwane mają być ziarna łupków, przerostów itp.

Jak już podano we wstępie z badań zamieszczonych w referatach Kongresu w Liege wynika, że obniżenie wskaźnika energetycznego obciążenia popiołem jednostki ciepła o 1 gram na megakalorię zmniejsza zużycie paliwa potrzebnego na wytworzenie 1 kWh (brutto) o 0,3%. Zakładając, że powyższa zależność jest podobna dla krajowych elektrowni można byłoby przyjąć, że tylko odkamienienie węgla surowego dla podanych w tabeli 1 przykładowych węgli pozwoliłoby zmniejszyć zużycie węgla o 11,99% (węgiel A) i 17,74% (węgiel B). Przy niższych gęstościach rozdziału np.  $1,8 \text{ g/cm}^3$  zużycie węgla zmniejsza się odpowiednio o 14,06 i 18,70%.

W tabeli 2 zestawiono obliczenia dla węgli z 16 kopalń [11] przyjmując, że w procesie wzbogacania usuwane są wyłącznie ziarna o gęstości powyżej  $2,0 \text{ g/cm}^3$ . Zakładając taką graniczną gęstość rozdziału mamy gwarancję usunięcia z węgla surowego wszystkich ziarn czystego kamienia a także części ziarn przerostów. Analizując dane zawarte w tabeli 2 łatwo zauważyć, że odkamienione produkty handlowe węgla energetycznego zawierają od około 6,6% do 12,3% popiołu. Tylko w jednym przypadku zawartość popiołu sięgała 18%. Wzrasta też ich wartość opałowa. Interesujące, z punktu widzenia użytkowników jest porównanie obciążenia popiołem jednej megakalorii w przypadku spalania węgla surowych i spalania koncentratów. W tabeli 2 podano wskaźniki obciążenia popiołem jednostki ciepła dla węgla surowego i dla koncentratu. Odejmując wartości wskaźnika dla koncentratu od wartości dla węgla surowego otrzymujemy zmniejszenie wskaźnika po wzbogaceniu węgla. W skrajnych przypadkach obniżenie to wynosi 60,68 g/Mcal (KWK3) i 9,35 g/Mcal (KWK15). Oznacza to, że w pierwszym przypadku zużycie węgla potrzebnego na wytworzenie 1 kWh brutto zmniejszy się o 18,26%, a w drugim o 2,8%.

Zakładając, że oszczędności w zużyciu paliwa podawane we wzmiankowanych referatach są podobne jak dla warunków krajowych tylko odkamienienie węgla poprawia efekty pracy nad elektrowniami. Należy też podkreślić, że zmniejszenie zużycia węgla w znaczący sposób wpływa na emisję  $\text{CO}_2$ . Jest to ważna informacja w świetle polityki Unii Europejskiej dążącej do zakupów pozwoleń na emisję  $\text{CO}_2$  [12–14].

TABELA 2. Zmiana parametrów jakościowych produktów i wskaźnika energetycznego obciążenia popiołem jednostki ciepła po wzbogaceniu węgla surowego przy gęstości rozdziału 2,0 g/cm<sup>3</sup>

Nr KWK	Produkt	Wychód produktu [%]	Zawartość popiołu [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Wskaźnik energetyczny obciążenia popiołem [g/Mcal]	Krotność poprawy wskaźnika	Zmniejszenie zużycia paliwa na 1 kWh brutto [%]
	2	3	4	5	6	7	8
1	w. surowy	100,00	34,69	18 619	77,75	4,21	17,78
	koncentrat	64,90	12,19	27 634	18,46		
2	w. surowy	100,00	31,61	18 251	72,50	2,23	11,99
	koncentrat	74,56	18,00	23 170	32,52		
3	w. surowy	100,00	31,27	16 151	81,01	4,02	18,26
	koncentrat	68,38	11,02	22 889	20,15		
4	w. surowy	100,00	30,83	20 644	62,53	4,98	14,99
	koncentrat	63,30	8,82	29 386	12,56		
5	w. surowy	100,00	25,64	22 485	47,75	4,82	11,35
	koncentrat	74,10	6,95	29 404	9,90		
6	w. surowy	100,00	25,55	20 125	53,15	3,61	11,53
	koncentrat	76,30	8,97	25 515	14,72		
7	w. surowy	100,00	24,00	20 649	48,66	2,34	8,35
	koncentrat	81,60	12,34	24 814	20,82		
8	w. surowy	100,00	23,93	23 014	43,53	2,85	8,47

TABELA 2 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8
8	w. surowy	100,00	23,93	23 014	43,53	2,85	8,47
	koncentrat	75,30	10,41	28 493	15,30		
9	w. surowy	100,00	23,43	21 607	45,40	4,77	10,76
	koncentrat	73,70	6,61	29 103	9,51		
10	w. surowy	100,00	23,36	20 261	48,29	4,00	10,87
	koncentrat	77,75	7,42	25 736	12,07		
11	w. surowy	100,00	23,03	23 603	40,86	2,21	6,70
	koncentrat	84,00	12,35	27 678	18,53		
12	w. surowy	100,00	22,73	17 321	54,94	3,98	12,35
	koncentrat	74,55	7,54	22 889	13,79		
13	w. surowy	100,00	20,02	21 985	38,13	2,46	6,79
	koncentrat	84,78	9,55	25 821	15,48		
14	w. surowy	100,00	19,46	23 269	35,01	2,33	6,90
	koncentrat	85,45	9,64	26 880	15,02		
15	w. surowy	100,00	15,78	26 529	24,91	1,60	2,80
	koncentrat	92,30	10,64	28 620	15,56		
16	w. surowy	100,00	13,25	22 937	24,19	2,02	3,67
	koncentrat	91,22	7,12	24 931	11,96		

Źródło: W. Blaschke [11] i obliczenia własne



## Podsumowanie

Dyskusja na temat wzbogacania węgla (miałów) kamiennego dla potrzeb energetyki toczy się od kilkadziesiąt lat. Wiele prac [np. 15–21] udowadnia, że do spalania powinny być kierowane wzbogacone miały a przynajmniej odkamienione. Daje to poważne efekty technologiczne i ekonomiczne u użytkowników. Barięą jest jednak to, że wiele elektrowni nie posiada urządzeń przystosowanych do spalania jakościowo dobrych węgla. Spalanie czystych węgla wymagałoby, w wielu przypadkach, wymiany instalacji nawęglania węgla i kotłów. To są duże nakłady inwestycyjne, ale niezbędne do poniesienia, jeżeli mamy poprawić sprawność przemian energetycznych i zmniejszyć zużycie paliwa.

Krajowe zakłady wzbogacania węgla są przygotowane do produkcji wzbogaconych miałów energetycznych, Musi być jednak na to zainteresowanie użytkowników. Istnieją możliwości dostosowania głębokości wzbogacania do nawet wyrafinowanych żądań odbiorców.

Jest sprawą oczywistą, że głębookie wzbogacanie węgla spowoduje wzrost kosztów pozyskania czystego węgla co musi się przełożyć na wzrost ich cen. Łatwo jest to policzyć dla każdej kopalni.

Wzbogacony węgiel skutkuje w elektrowniach zmniejszonym zużyciem paliwa liczonym na wytworzenie 1 kWh brutto. Zmniejsza się także nakłady inwestycyjne co jest ważne przy planowanych modernizacjach elektrowni.

Przeprowadzone w pracy obliczenia, dla przykładowych kopalń, pokazują korzyści stosowania wzbogaconego węgla w oparciu o wskaźnik energetycznego obciążenia popiołem jednostki ciepła. Dla analizowanych (tylko odkamienionych) węgla zużycie paliwa zmniejsza się od 2,8 do 18,26%. Przy głębszym wzbogacaniu zużycia paliwa jest jeszcze mniejsze. Wartości te opierają się na danych referatów Kongresu w Liege. Od obrad kongresu minęło wiele lat. Konieczne byłoby przeprowadzenie podobnych obliczeń dla aktualnych warunków pracy krajowych elektrowni.

Wydaje się celowe utworzenie w Polsce kompleksowego programu badawczego dotyczącego technologii czystego węgla obejmującego etapy przygotowania węgla do spalania oraz jego spalania.

Autor zaproponował uzupełnienie Programu Działañ Wykonawczych – Załącznik 3 Polityki energetycznej państwa do 2030 roku [10]. W Priorytecie II. Działanie 2.9 proponuje się wstawić do sposobu realizacji działañ dodatkowy punkt o brzmieniu:

„Przygotowanie kompleksowego programu badawczo-wdrożeniowego w zakresie oczyszczania węgla przed spalaniem, eliminacji szkodliwych domieszek w trakcie spalania i oczyszczania spalin w celu zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko procesów pozyskania energii z węgla”.

Wniosek w tej sprawie został przekazany (e-mail z dnia 12.07.2009) do Ministerstwa Gospodarki, jednak nie znalazł dotychczas pozytywnego rozwiązania.

Autor jest przekonany, że dla poprawy sprawności przemian energetycznych, dla ochrony środowiska przyrodniczego, dla zmniejszenia skutków konieczności zakupów pozwoleń na emisję CO<sub>2</sub> itp. działania takie są w Polsce potrzebne.

## Literatura

- [1] BLAS E., PETER G., LEMKE K., 1958 – The valuation of low-grade fuels and economic preparation on smalls as boiler fuels. III Międz. Kong. Przer. Węgla, Bruksela-Liege.
- [2] LIGNY I., HAUMONT H., 1958 — Coal preparation in relation to its utilisation in electrical power station. III Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Bruksela-Liege.
- [3] NONAT L., 1958 – La preparation du charbon on relation avec son utilisation dans les Centrales. III Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Bruksela – Liege.
- [4] VAN der GRINTEN F.L.H., 1958 – The value of low-grade coal fired in a colliery power station and its influence on coal washing. Part A. III Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Bruksela – Liege.
- [5] VAN OS W.E., MEERMAN P.G., 1958 – Value and preparation of low-grade coal for power generation. III Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Bruksela – Liege.
- [6] BLASCHKE S., 1981 – Przeróbka mechaniczna kopaln. Część I. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- [7] BLASCHKE W., 2009 – Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wyd. Instytut GSMiE PAN, Kraków.
- [8] BLASCHKE W., NYCZ R., 2001 – Clean Coal Preparation Barriers in Poland. Proceedings International Workshop on Clean Coal Use – a Reliable Option for Sustainable energy. Vol. 1, Wyd. GIG, Szczyrk.
- [9] BLASCHKE W., NYCZ R., 2003 – Problemy produkcji czystych energetycznych węgla kamiennych. Zesz. Nauk. Pol. Koszalińskiej, Inżynieria Środowiska No 21, Koszalin.
- [10] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku oraz Załącznik 3. Program działań wykonawczych na lata 2009–2012. Ministerstwo Gospodarki. Warszawa, marzec 2009.
- [11] BLASCHKE W., 2010 – Wytwarzanie energii – z „czystego” czy z „brudnego” węgla. W książce: Czynniki ENERGIA w polityce gospodarczej (red. J. Tarajkowski). Wydawnictwo Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, Poznań. s. 69–81
- [12] GAJDA A., MELKA K., 2008 – Możliwości i zagrożenia w dostosowaniu sektora energetycznego do przyjętych przez Polskę zobowiązań i wymogów ekologicznych Unii Europejskiej. Polityka Energetyczna t. 11, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [13] BEDNORZ J., 2010 – Polityka państwa wobec pakietu klimatycznego z uwzględnieniem znaczenia węgla kamiennego w gospodarce Polski. Polityka Energetyczna t. 13, z. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [14] SOWIŃSKI J., 2010 – Analiza wpływu na polski system energetyczny propozycji Dyrektywy IED w sprawie zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli. Polityka Energetyczna t. 13, z. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [15] TURYN B., WOJTASZEK Z., 1968 – Stosowanie węgla niskojakościowych czy ich wzbogacanie dla wielkich elektrowni. Ref. na Międz. Kongres Energetyczny, Moskwa.
- [16] SLETTEN J.D. 1994 — Wzbogacanie węgla w celu dostosowania go do polskich standardów ochrony środowiska i poprawy gospodarki elektrowni. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t.10, z. 4, s. 629–636, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- [17] SOBOTA J., 1994 — Wpływ jakości węgla kamiennego na ciepłne parametry pracy oraz zużycie elementów kotłów energetycznych. Materiały VIII Konferencji z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”. Sympozja i Konferencje Nr 15, Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.

- [18] LORENZ U., 1994 – Analiza wpływu parametrów jakościowych węgla na składniki kosztów zmiennych wytwarzania energii elektrycznej dla wybranych elektrowni na węglu kamiennym. Materiały VIII Konferencji z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”. Sympozja i Konferencje Nr 15, s. 181–187, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- [19] LIĞEZA J., 1995 – W kierunku rynku węgla. Wpływ jakości węgla na parametry elektrowni. Materiały IX Konferencji z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”. Sympozja i Konferencje Nr 17, s. 151–160, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- [20] SOBOTA J., 1996 – Czynniki wpływające na sprawność kotłów energetycznych przy zmianie jakości spalanego węgla kamiennego. Materiały X Konferencji z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej”. Sympozja i Konferencje Nr 23, s. 149–158, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- [21] LIĞEZA J., 1996 – Techniczno-ekonomiczne oraz ekologiczne uwarunkowania doboru optymalnej jakości węgla dla elektrowni ze względu na koszty wytwarzania energii elektrycznej. Prace GIG seria Konferencje nr 12, Katowice.