

Zbigniew GRUDZIŃSKI\*

## Propozycje struktur cenowych dla węgla kamiennego energetycznego i węgla brunatnego

**STRESZCZENIE.** W Polsce węgiel brunatny i węgiel kamienny są podstawowymi surowcami do produkcji energii elektrycznej. O tym, który z tych nośników będzie miał większy udział w produkcji energii elektrycznej, zadecydują jednostkowe koszty produkcji energii z danego paliwa, a te z kolei zależą, między innymi, od cen za jakie elektrownia może zakupić węgiel.

Konkurencja pomiędzy wytwórcami energii będzie powodować wywieranie presji na producentów paliw (węgla kamiennego i brunatnego) co do poziomu cen tych paliw. W przypadku producentów węgla kamiennego odniesieniem dla maksymalnego dopuszczalnego – z punktu widzenia wytwórcy energii – poziomu cen, będą ceny węgla w imporcie. Natomiast dla producentów węgla brunatnego wyznacznikiem maksymalnych cen węgla będą ceny możliwe do zaakceptowania przez jedyne nabywcę – czyli elektrownię związaną z daną kopalnią.

W pracy przedstawiono dwa modele struktury cen dla węgla kamiennego energetycznego i węgla brunatnego. Formuły przedstawiono zarówno w zapisie ogólnym oraz z wyliczonymi odpowiednimi współczynnikami dla średnich parametrów w branży. Wybór danej postaci formuły uzależniony jest wyłącznie od preferencji i przyzwyczajzeń stron umowy. W przypadku stwierdzenia wysokiej korelacji wartości opałowej i zawartości popiołu można (w obu postaciach formuły) zrezygnować z członu „popiołowego”.

**SŁOWA KLUCZOWE:** ceny węgla, indeksacja cen, struktury cen, formuły cen

---

\* Dr inż. — Zakład Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: g\_zibi@min-pan.krakow.pl

## Wprowadzenie

Formuły cenowe są jednym z najważniejszych elementów systemu cen. Podstawowe elementy systemu cen to: poziom cen węgla, struktura cen – formuły cenowe, indeksacja cen – formuły indeksacyjne.

Przez poziom cen węgla rozumiemy cenę węgla bazowego (wskaźnikowego), o zadanych wartościach wybranych parametrów jakościowych. Najczęściej przyjmuje się średnie parametry w branży albo średnie w dostawach pomiędzy konkretnym producentem i odbiorcą. Poziom cen węgla jest przedmiotem negocjacji pomiędzy producentami a użytkownikami. Negocjacje są elementem funkcjonowania rynku. Z punktu widzenia kopalni negocjacje oparte być muszą na rzetelnym rachunku kosztów pozyskania węgla. Z punktu widzenia elektrowni negocjacje muszą być oparte na rzetelnym rachunku kosztów wytworzenia produktów finalnych. Koszty te mogą, choć nie muszą, być tajemnicą firmową negocjujących stron. Negocjowane ceny muszą uwzględniać z jednej strony ceny na rynku energii elektrycznej, ale także ceny innych nośników energii. Dla węgla brunatnego mogą być to ceny węgla kamiennego energetycznego, a dla węgla energetycznego ceny na międzynarodowym rynku węgla [3, 7, 8, 9].

Następny element systemu cen to indeksacja. To powiązanie ceny z takimi czynnikami, które odpowiedzą na pytanie: jak powinna się zmieniać cena węgla wraz upływem czasu?

Umowy na dostawę węgla powinny być podpisywane na dłuższy okres czasu (ponad 1 rok), a w związku z tym zmiany cen powinny być opisane odpowiednimi formułami indeksacyjnymi które uwzględniają wpływ przyszłej sytuacji rynkowej na ceny węgla bazowego. Szerzej to zagadnienie omówiono w pracach [4, 5, 6, 11].

Wzajemna konkurencja węgla kamiennego i brunatnego jako paliw do produkcji energii elektrycznej rozgrywa się poprzez koszty wytwarzania tej energii. O tym, który z węgli będzie miał większy udział w produkcji energii elektrycznej decydują przede wszystkim ceny węgla, a w konsekwencji koszty produkcji jednostki energii z tego węgla.

Cena węgla powinna odzwierciedlać jego wartość użytkową, ocenianą przez użytkownika (w tym przypadku – wytwórcę energii). Na tę ocenę ma wpływ jakość węgla.

Trzy parametry jakościowe uznaje się za cenotwórcze tj. wartość opałowa, zawartość popiołu i zawartość siarki. To dotyczy zarówno węgla brunatnego jak i kamiennego.

Struktura cen w formułach cenowych określa, jak powinna się zmieniać cena węgla wraz ze zmianą parametrów jakościowych w stosunku do przyjętego wzorca (węgla bazowego). Jakość węgla ma wpływ na jego wartość użytkową, ocenianą przez użytkownika. Dlatego też poszukuje się rozwiązania pozwalającego, poprzez zapis odpowiednich (w miarę prostych) formuł matematycznych, powiązać cenę węgla z jego podstawowymi parametrami jakościowymi [1, 2, 10, 11].

Ze względu na wygodę posługiwania się formułą, powinna mieć ona taką konstrukcję, aby możliwa była jej stosunkowo prosta modyfikacja. Powinna więc mieć wyodrębnione te elementy, które mogą ulegać zmianie jak: cena bazowa, parametry bazowe, rzeczywiste parametry węgla w dostawie. Sposób powiązania tych elementów powinien powodować,

by zmiana ceny wyliczona według formuły odzwierciedlała zmianę jego wartości użytkowej ocenianej przez użytkownika.

## 1. Zapisy formalne struktur cenowych

Poniżej zaproponowano dwa modele struktur cenowych, które zostaną przedstawione w czterech wariantach. Każdy z wariantów może być wykorzystany zarówno dla węgla kamiennego energetycznego jak i brunatnego. Założono, że trzy parametry będą wpływać na cenę we wszystkich proponowanych formułach. W przypadku, gdyby zależności pomiędzy wartością opałową a zawartością popiołu były bardzo wysokie w danej kopalni, można by zrezygnować z tego parametru cenotwórczego.

Proponowane warianty struktur cenowych – formuły to:

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \frac{Q_{rz}}{Q_{baz}} - w_S \cdot (S_{rz} - S_{baz}) - w_A \cdot (A_{rz} - A_{baz}) \quad (1a)$$

albo:

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \left( \frac{Q_{rz}}{Q_{baz}} - \frac{S_{rz} - S_{baz}}{M_S} - \frac{A_{rz} - A_{baz}}{M_A} \right) \quad (1b)$$

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \left( 1 - \frac{Q_{baz} - Q_{rz}}{M_Q} \right) - w_S \cdot (S_{rz} - S_{baz}) - w_A \cdot (A_{rz} - A_{baz}) \quad (2a)$$

albo:

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \left( 1 - \frac{Q_{baz} - Q_{rz}}{M_Q} - \frac{S_{rz} - S_{baz}}{M_S} - \frac{A_{rz} - A_{baz}}{M_A} \right) \quad (2b)$$

gdzie:  $C_w$  – rzeczywista cena węgla dostarczonego [zł/Mg],  
 $C_{wbaz}$  – cena bazowa [zł/Mg],  
 $Q_{rz}$  – rzeczywista wartość opałową węgla brunatnego (w stanie roboczym) [kJ/kg],  
 $A_{rz}, S_{rz}$  – rzeczywista zawartość popiołu i siarki (w stanie roboczym) [%],  
 $Q_{baz}, A_{baz}, S_{baz}$  – parametry węgla bazowego, odpowiednio: wartość opałową, zawartość popiołu, zawartość siarki (w stanie roboczym),  
 $M_Q, M_A, M_S$  – współczynniki określające „siłę” wpływu poszczególnych parametrów na cenę węgla,

- $w_S$  – współczynnik korygujący cenę ze względu na zawartość siarki [zł/Mg],  
 $w_A$  – współczynnik korygujący cenę ze względu na zawartość popiołu [zł/Mg].

Zasadnicze różnice w przedstawionych formułach (1a) i (2a) dotyczą wpływu wartości opałowej na cenę, natomiast w identyczny sposób określa się wpływ zawartości siarki i zawartości popiołu. Współczynniki korygujące cenę w tych formułach, zarówno w członie siarkowym ( $w_S$ ) i popiołowym ( $w_A$ ), określa się na podstawie oceny skutków ekologicznych, powodowanych przez spalanie węgla o określonej zawartości siarki i popiołu. Skutki te wyrażane są poprzez koszty emisji dwutlenku siarki i pyłów, koszty redukcji emisji SO<sub>2</sub> oraz składowanie wytworzonych odpadów stałych. Wyliczenia tych współczynników zostały przedstawione w następnym rozdziale.

Wartości  $w_S$  i  $w_A$  są tak dobierane, aby w członie „siarkowym” i „popiołowym” formuły wynik był wyrażony w zł/Mg. Inna jest sytuacja w formułach (1b) i (2b) wpływ parametrów na cenę jest określony jako procent ceny bazowej (wyrażony przez mianownik w danym równaniu).

Wzory (1a) i (1b) bazują na zapisie stałej wartości GJ w węglu. Iloraz  $Q_{rz}/Q_{baz}$  ma wartość stałą, to powoduje, że cena 1 GJ energii w każdym węglu (o dowolnej wartości opałowej) jest taka sama. Bez względu na to, czy węgiel w dostawie ma wartość opałową np. 21 000 kJ/kg czy 7 000 kJ/kg, to w całym przedziale cena węgla przeliczona na 1 GJ jest stała.

Zapisy wzorów (2a) i (2b) dają nam większą swobodę w uzgodnieniach. Mianownik  $M_Q$  określa wpływ zmiany wartości opałowej na cenę, określając go decydujemy jak zmiana wartości opałowej będzie wpływać na cenę:

- ✧ gdy  $M_Q < Q_{baz}$  ( $M_Q$  jest liczbą niemianowaną) – to wówczas cena węgla w przeliczeniu na 1GJ jest większa dla wartości opałowych wyższych od wielkości bazowej i mniejsza, gdy wartość opałowa w stosunku do parametru bazowego jest mniejsza,
- ✧ gdy  $M_Q > Q_{baz}$  – to wartość 1 GJ energii w węglu gorszym w stosunku do parametrów bazowych jest większa,
- ✧ jeśli  $M_Q = Q_{baz}$  – to wartość 1GJ jest stała, a zapisy członów, wzór 1 i 2, są tożsame.

Trzeba zwrócić uwagę na jeszcze jeden dodatkowy element, że w przypadku wartości opałowej, w liczniku wzorów (2a) i (2b) musi wystąpić różnica ( $Q_{baz} - Q_{rz}$ ), a więc odwrotnie, niż w zapisie odnoszącym się do zawartości popiołu i zawartości siarki. Zasada jest następująca: poprawa parametrów jakościowych musi zawsze powodować wzrost wartości węgla. Dla siarki i popiołu wzrost tych zawartości powinien powodować spadek cena, a dla wartości opałowej wzrost [11].

Przy wyborze określonej struktury cen węgla najważniejsze jest określenie wpływu zmiany wartości opałowej na cenę. Pozostałe elementy cenotwórcze winny mieć tylko wpływ korygujący.

Decyzję o tym, który model struktury zostanie wybrany, wypracowuje się w trakcie negocjacji umowy na dostawy węgla do elektrowni.

Z przeprowadzonych analiz autora wynika, że pewnych elementów struktury cen nie można wyznaczyć w oderwaniu od poziomu cen, a także sposobów ich indeksacji. Poniżej został pokazany algorytm wyznaczania struktury cen. Problem ten został także w sposób obszerniejszy przedstawiony w pracach [7, 10, 11].

Procedura wyznaczania struktury cen jest następująca:

1. Wstępny wybór parametrów jakościowych, które będą wpływać na ceny węgla kamiennego i brunatnego. Zwyczajowo takimi parametrami są: wartość opałowa, zawartość siarki i zawartość popiołu (podawane w stanie roboczym).
2. Analiza zależności pomiędzy parametrami jakościowymi produkowanego węgla. W praktyce wynik tej analizy ma dać odpowiedź, czy można zrezygnować z zawartości popiołu jako parametru cenotwórczego z punktu widzenia kopalni. Konieczne jest również określenie zakresu dopuszczalnych wahań parametrów jakościowych w dostawach węgla.
3. Ocena skutków ekologicznych powodowanych przez spalanie węgla o określonej jakości. Ich miarą są jednostkowe koszty emisji oraz składowania stałych produktów spalania, ponoszone przez elektrownię. Na podstawie tej oceny wyznaczane są współczynniki  $w_S$  i  $w_A$  (wyrażające odpowiednie koszty ekologiczne w odniesieniu do 1 tony spalanego węgla).
4. Podjęcie decyzji, które parametry jakościowe uznaje się za cenotwórcze i w jakich zakresach ich zmienności (powinny być wyznaczone granice, w obrębie których jest stosowana formuła; dla przypadków wykraczających poza wyznaczone zakresy powinny być w umowie zawarte odrębne zapisy).
5. Ustalenie parametrów bazowych: mogą to być średnie parametry w branży, albo średnie parametry węgla dostarczanego do elektrowni. Dla tych parametrów ustala się następnie cenę bazową. Niezbędne jest także uzgodnienie procedur modyfikacji tych parametrów w związku z ich możliwą zmianą w przyszłości.
6. Ustalenie ceny bazowej dla węgla o parametrach bazowych. W tym etapie procedury, konieczne jest zbadanie konkurencyjności danego paliwa, a więc: skonfrontowanie negocjowanego poziomu cen węgla z kosztami jego produkcji oraz z rynkowymi cenami energii elektrycznej, a także z cenami innych nośników energii
7. Podjęcie decyzji: czy wartość jednostki energii w węglu (1 GJ) ma być wartością stałą czy zmienną. Ten wybór wiąże się z wyborem sposobu uwzględniania wpływu wartości opałowej na cenę (wzór (1), wzór (2)).
8. Wybór formuły cenowej:
  - ✧ w przypadku wyboru modelu struktury opisanej wzorem (1 a) wszystkie potrzebne elementy do ostatecznego zapisu formuły są już ustalone, czyli: cena bazowa, parametry bazowe, współczynniki  $w_S$  i  $w_A$ ;
  - ✧ w przypadku wyboru modelu struktury (2a) jako formuły docelowej, konieczne jest ustalenie współczynnika  $M_Q$  (mówiącego, jak ma zmieniać się wartość 1 GJ w węglu); pozostałe elementy potrzebne do zapisu formuły są już ustalone. Ten sam współczynnik jest także wykorzystywany w formule (2b);
  - ✧ w przypadku wyboru modelu struktury (1b) i (2b), czyli formuły o zapisie klasycznym; konieczne jest wyznaczenie współczynników  $M_S$  i  $M_A$ ; jak wspomniano powyżej współczynniki te określa się na podstawie oceny skutków ekologicznych wynikających ze spalania węgla w elektrowni (jak we wzorach (1a) i (2a)), a następnie tak dobiera się współczynniki  $M$ , aby ceny wyliczane na podstawie obu typów formuł były jak najbardziej zbliżone; przeprowadza się więc optymalizację równania.

Podsumowując, idea jest taka, że obojętnie który model struktury cen jest wybrany, konieczne jest wyliczenie w pierwszym etapie współczynników dla struktury (1a) i (2a). W przypadku, gdy chce się zastosować klasyczny zapis formuł, wzory w wariancie (1a) lub (2a) służą do wyznaczenia współczynników  $M_A$  i  $M_S$  dla wariantu struktur (1b) i (2b).

W następnej części oszacowano wielkość współczynników  $w_S$  i  $w_A$  dla węgla kamiennego i brunatnego.

## 2. Obliczanie współczynników $w_Q$ i $w_S$ dla węgla kamiennego i brunatnego

W kosztach korzystania ze środowiska w elektrowniach uwzględniono koszty emisji gazowych i pyłowych oraz koszty składowania odpadów stałych. Koszty emisji zanieczyszczeń gazowych zależą od ilości emitowanych substancji oraz jednostkowych stawek opłat.

Spalanie węgla o określonej zawartości popiołu powoduje nie tylko emisję pyłów, ale również powstawanie odpadów stałych, proporcjonalnie do zawartości popiołu w węglu i w zależności od skuteczności odpylania spalin.

Przy określaniu skutków finansowych wynikających z zawartości popiołu obliczono więc poza kosztami emisji pyłowej, także koszty składowania wytworzonych odpadów stałych (popiołów lotnych i żużli). Koszty te określono na podstawie obowiązującej stawki opłaty za składowanie odpadów (w 2008 roku) z uwzględnieniem oszacowanego kosztu powiększenia składowiska (przyjmowanego zazwyczaj w wysokości stawki opłaty podstawowej) [11].

Wykonano również oszacowanie kosztów eksploatacyjnych dla przypadku zastosowania odsiarczania spalin. Koszty redukcji emisji siarkowej oszacowano w następujący sposób:

- ✧ dla wyliczonego koniecznego stopnia odsiarczania (dla danej pary parametrów  $S$  i  $Q$ ) obliczono zapotrzebowanie na sorbent wapniowy (mielony kamień wapienny) o czystości 95% (przyjmując molowy stosunek  $Ca/S = 2$  – tzw. współczynnik nadmiaru),
- ✧ koszty takiego sorbentu oszacowano na 120 zł/tonę (na podstawie oferty producenta Lhoist Opolwap SA w 2008 r.), zakładając że ta wielkość uwzględnia koszty dostarczenia go do odbiorcy,
- ✧ założono, że produkty odsiarczania są odpadem, podlegającym składowaniu – koszt składowania oszacowano w taki sam sposób, jak dla odpadów ze spalania (czyli w wysokości dwukrotnej stawki opłaty podstawowej).

W tabelach poniżej zamieszczono wyniki obliczeń przeprowadzonych przy opisanych wcześniej założeniach. Ich celem było określenie kosztów „ekologicznych” powodowanych spalaniem węgla kamiennego i brunatnego w szerokim zakresie zmienności parametrów jakościowych – w takich zakresach mieszczą się parametry węgla z wszystkich krajowych kopalń. Obliczenia przeprowadzono dla uśrednionych warunków spalania.

Tabela 3 i 4 zawiera wyliczone jednostkowe koszty, związane z zawartością siarki w spalonym węglu, w złotych na tonę węgla. Koszty te zawierają koszty emisji  $SO_2$  oraz

TABELA 1. Wymagana skuteczność odsiarczania spalin, pozwalająca na dotrzymanie dopuszczalnej emisji SO<sub>2</sub> na poziomie 400 mg/Nm<sup>3</sup> podczas spalania węgla kamiennego [%]

TABLE 1. Required efficiency of flue gas desulphurization, allowing to meet SO<sub>2</sub> emission limits at 400 mg/Nm<sup>3</sup> during hard coal combustion [%]

S [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]								
	26	25	24	23	22	21	20	19	18
0,4	50	52	54	56	58	60	61	63	65
0,5	60	61	63	65	66	68	69	71	72
0,6	67	68	69	70	72	73	74	76	77
0,7	71	72	74	75	76	77	78	79	80
0,8	75	76	77	78	79	80	81	82	83
0,9	78	79	79	80	81	82	83	84	85
1,0	80	81	82	82	83	84	85	85	86
1,1	82	82	83	84	85	85	86	87	87
1,2	83	84	85	85	86	87	87	88	88
1,3	85	85	86	86	87	88	88	89	89
1,4	86	86	87	87	88	88	89	90	90
1,5	87	87	88	88	89	89	90	90	91
1,6	87	88	88	89	89	90	90	91	91
1,7	88	89	89	90	90	90	91	91	92

Źródło: obliczenia własne

TABELA 2. Wymagana skuteczność odsiarczania spalin, pozwalająca na dotrzymanie dopuszczalnej emisji SO<sub>2</sub> na poziomie 400 mg/Nm<sup>3</sup> podczas spalania węgla brunatnego [%]

TABLE 2. Required efficiency of flue gas desulphurization, allowing to meet SO<sub>2</sub> emission limits at 400 mg/Nm<sup>3</sup> during brown coal combustion [%]

S [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]								
	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0
0,2	46	48	51	53	56	58	61	63	66
0,3	64	66	67	69	70	72	74	75	77
0,4	73	74	75	77	78	79	80	82	83
0,5	78	79	80	81	82	83	84	85	86
0,6	82	83	84	84	85	86	87	88	89
0,7	85	85	86	87	87	88	89	89	90
0,8	86	87	88	88	89	90	90	91	91
0,9	88	89	89	90	90	91	91	92	92
1,0	89	90	90	91	91	92	92	93	93
1,1	90	91	91	92	92	92	93	93	94
1,2	91	91	92	92	93	93	93	94	94
1,3	92	92	92	93	93	94	94	94	95
1,4	92	93	93	93	94	94	94	95	95
1,5	93	93	93	94	94	94	95	95	95

Źródło: obliczenia własne

TABELA 3. Szacunkowe koszty ekologiczne ze spalania węgla kamiennego, związane z zawartością siarki [zł/tonę węgla]

TABLE 3. Estimated ecological costs related to sulphur content in hard coal burnt [PLN/t]

S [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]									Zmiana
	26	25	24	23	22	21	20	19	18	
0,4	3,71	3,72	3,74	3,76	3,77	3,79	3,81	3,82	3,84	
0,5	4,74	4,76	4,77	4,78	4,80	4,82	4,84	4,85	4,87	1,03
0,6	5,77	5,79	5,80	5,82	5,84	5,86	5,87	5,88	5,90	1,03
0,7	6,80	6,82	6,83	6,85	6,87	6,88	6,90	6,91	6,93	1,03
0,8	7,84	7,84	7,87	7,88	7,89	7,91	7,93	7,94	7,96	1,03
0,9	8,87	8,88	8,90	8,91	8,92	8,94	8,96	8,97	8,99	1,03
1,0	9,89	9,91	9,93	9,94	9,96	9,97	9,99	10,01	10,02	1,03
1,1	10,92	10,94	10,96	10,97	10,99	11,01	11,02	11,04	11,05	1,03
1,2	11,95	11,98	11,99	12,01	12,02	12,03	12,05	12,07	12,08	1,03

Źródło: obliczenia własne

TABELA 4. Szacunkowe koszty ekologiczne ze spalania węgla brunatnego, związane z zawartością siarki [zł/tonę węgla]

TABLE 4. Estimated ecological costs related to sulphur content in brown coal burnt [PLN/t]

S [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]									Zmiana
	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	
0,2	1,44	1,45	1,45	1,46	1,47	1,48	1,48	1,49	1,50	
0,3	2,24	2,25	2,26	2,27	2,27	2,28	2,29	2,30	2,31	0,80
0,4	3,04	3,05	3,06	3,07	3,08	3,09	3,09	3,10	3,11	0,80
0,5	3,85	3,86	3,87	3,87	3,88	3,89	3,90	3,91	3,91	0,80
0,6	4,66	4,66	4,67	4,68	4,69	4,70	4,70	4,71	4,72	0,81
0,7	5,46	5,47	5,48	5,48	5,50	5,50	5,51	5,52	5,53	0,81
0,8	6,27	6,28	6,28	6,29	6,30	6,31	6,31	6,32	6,33	0,80
0,9	7,07	7,08	7,09	7,10	7,10	7,11	7,12	7,13	7,14	0,81
1,0	7,88	7,89	7,89	7,90	7,91	7,92	7,92	7,93	7,94	0,81
1,1	8,68	8,69	8,70	8,71	8,71	8,72	8,73	8,74	8,74	0,80
1,2	9,49	9,49	9,50	9,51	9,52	9,53	9,53	9,54	9,55	0,80

Źródło: obliczenia własne



koszty redukcji emisji przy odpowiedniej (podanej w tabeli 1 i 2 dla odpowiednich węgli) skuteczności odsiarczania (koszty zakupu sorbentu i koszty składowania wytworzonych odpadów). W ostatniej kolumnie podano, o ile (średnio) zmieniają się te koszty przy zmianie zawartości siarki o 0,1%. Zmianę tę oszacowano na 0,80 zł/tonę.

Ze względu na sposób obliczania wskaźnika emisji jednym z czynników wpływających na koszty ekologiczne związane z zawartością siarki jest współczynnik  $r$ , określający ilość siarki zatrzymanej w popiele i uzależniony od zawartości związków alkalicznych w węglu i popiele. Dla węgla kamiennego wartość tą przyjęto na poziomie 0,04; jest ona zbliżona do wartości we wszystkich kopalniach. W przypadku węgla brunatnego do obliczeń przyjęto wartość zastępczą  $r = 0,25$ . Jednak dla węgla z poszczególnych kopalń węgla brunatnego wartości  $r$  różnią się dość zdecydowanie. Na przykład dla kopalni

TABELA 5. Szacunkowe koszty ekologiczne ze spalania węgla kamiennego z zawartością popiołu [zł/tonę węgla]

TABLE 5. Estimated ecological costs related to ash content in hard coal burnt [PLN/t]

A [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]									Zmiana
	26	25	24	23	22	21	20	19	18	
8	2,57	2,56	2,56	2,56	2,57	2,57	2,56	2,56	2,57	
9	2,88	2,89	2,89	2,89	2,88	2,88	2,89	2,89	2,88	0,32
10	3,21	3,21	3,20	3,21	3,21	3,21	3,20	3,21	3,21	0,32
11	3,52	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	0,32
12	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	0,32
13	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	0,32
14	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	0,32
15	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	0,32
16	5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	0,32
17	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	0,32
18	5,77	5,77	5,78	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	0,32
19	6,09	6,10	6,09	6,10	6,09	6,10	6,09	6,09	6,09	0,32
20	6,42	6,41	6,42	6,41	6,42	6,41	6,42	6,41	6,41	0,32
21	6,73	6,74	6,73	6,74	6,73	6,74	6,73	6,73	6,74	0,32
22	7,06	7,05	7,06	7,05	7,06	7,05	7,06	7,06	7,06	0,32
23	7,37	7,38	7,37	7,38	7,37	7,38	7,38	7,37	7,37	0,32
24	7,70	7,69	7,70	7,69	7,70	7,70	7,69	7,70	7,70	0,32
25	8,02	8,02	8,02	8,02	8,01	8,02	8,02	8,02	8,02	0,32

Źródło: obliczenia własne

Adamów ilość siarki przechodzącej w SO<sub>2</sub> wynosi około 50%, a dla kopalni Turów – 85%. Dla tych przypadków przeciętny skutek dla kosztów ekologicznych, wynikający ze zmiany zawartości siarki o 0,1% wynosiłby odpowiednio 0,60 zł/tonę węgla (Adamów) i 0,90 zł/tonę (Turów).

W tabelach 5 i 6 oszacowano koszty emisji pyłu i składowania odpadów stałych wytworzonych podczas spalania, związanych z zawartością popiołu w węglu. Również i w tych tabelach w kolumnie ostatniej podano, o ile (średnio) zmieniają się te koszty [zł/tonę] przy zmianie zawartości popiołu o 1%. W przypadku popiołu uwzględnienie różnych, bardziej specyficznych dla danego węgla, wartości unosu pyłu, nie powoduje na tyle wyraźnych odchylek od wartości średnich, aby należało je specjalnie wyróżniać.

Wartości oszacowane w kolumnach tabeli 3–6 są potrzebne do określania odpowiednich współczynników  $w_S$  i  $M_S$  w proponowanych formułach cenowych.

TABELA 6. Szacunkowe koszty ekologiczne ze spalania węgla brunatnego, związane z zawartością popiołu [zł/tonę węgla]

TABLE 6. Estimated ecological costs related to ash content in brown coal burnt [PLN/t]

A [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]									Zmiana
	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	
5	1,60	1,61	1,61	1,60	1,61	1,60	1,61	1,60	1,61	
6	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	0,32
7	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0,32
8	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	0,32
9	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	0,32
10	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	0,32
11	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	0,32
12	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	0,32
13	4,17	4,18	4,18	4,17	4,18	4,17	4,17	4,17	4,17	0,32
14	4,49	4,50	4,50	4,50	4,49	4,49	4,50	4,50	4,49	0,32
15	4,81	4,82	4,82	4,81	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	0,32
16	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	0,32
17	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	0,32
18	5,78	5,78	5,78	5,78	5,78	5,78	5,78	5,78	5,78	0,32
19	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	0,32
20	6,42	6,42	6,42	6,42	6,42	6,42	6,42	6,42	6,42	0,32

Źródło: obliczenia własne

## Podsumowanie

Celem przeprowadzonych obliczeń było zdefiniowanie procedury tworzenia struktur cenowych i wyznaczenie współczynników we wzorach uzależnionych od skutków ekologicznych wynikających ze spalania węgla kamiennego i brunatnego.

Punktem wyjścia do oceny tego wpływu było oszacowanie, z jakimi kosztami — dla użytkownika — wiąże się zmiana zawartości siarki i popiołu w węglu. Za miarę tych kosztów przyjęto koszty emisji dwutlenku siarki oraz pyłu, a także koszty składowania odpadów stałych ze spalania węgla. Do wyceny wartościowej przyjęto obowiązujące w Polsce stawki opłat.

Na podstawie obliczeń zaprezentowanych w tabelach 1 i 3 dla węgla kamiennego oraz 2 i 4 dla węgla brunatnego, dokonano wyceny współczynników wartościujących zmiany cen węgla ze względu na zawartość siarki ( $w_S$ ) i popiołu ( $w_A$ ). Wartości przedstawione w ostatniej kolumnie każdej z tych tabel podają, o jaką wartość (w złotych na tonę spalonego węgla) zmieniają się koszty opłat ekologicznych powodowanych spalaniem węgla o danej zawartości siarki i popiołu. Wyliczone różnice podają, że w przypadku zmiany zawartości siarki o 0,1% koszty emisji  $SO_2$  (średnio) zmieniają się o 1,03 zł dla węgla kamiennego i 0,81 zł dla węgla brunatnego. W przypadku zmiany zawartości popiołu o 1% — summaryczne koszty emisji pyłu oraz składowania odpadów stałych ze spalania zmieniają się o 0,32 zł dla obu węgli.

Obliczone koszty emisji  $SO_2$  i pyłu oraz składowania odpadów ze spalania węgla przyjmują stosunkowo niskie wartości. Autor opracowania zaproponował więc zaokrąglenie ich w górę i przyjęcie w następujących wysokościach:

- ✧  $w_S = 1,1$  (co oznacza, że cena węgla zmienia się o 1,1 zł przy zmianie zawartości siarki o 0,1% dla węgla kamiennego i  $w_S = 9$  dla węgla brunatnego),
- ✧  $w_A = 0,4$  (co oznacza, że cena węgla zmienia się o 0,40 zł przy zmianie zawartości popiołu o 1%).

Za parametry bazowe przyjęto średnie parametry w branży (wszystkie parametry podane w stanie roboczym):

- ✧ węgiel kamienny
  - ✧  $Q = 21$  MJ/kg,
  - ✧  $A = 22\%$ ,
  - ✧  $S = 0,9\%$ ;
- ✧ węgiel brunatny
  - ✧  $Q = 8,8$  MJ/kg,
  - ✧  $A = 10\%$ ,
  - ✧  $S = 0,8\%$ .

Poniżej zaprezentowano warianty rekomendowanych zapisów struktur cenowych dla węgla kamiennego i brunatnego.

- ✧ Węgiel kamienny

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \frac{Q_{rz}}{21} - 11 \cdot (S_{rz} - 0,9) - 0,4 \cdot (A_{rz} - 22) \quad (3)$$

albo:

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \left( 1 - \frac{21 - Q_{rz}}{M_Q} \right) - 11 \cdot (S_{rz} - 0,6) - 0,4 \cdot (A_{rz} - 10) \quad (4)$$

✧ Węgiel brunatny

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \frac{Q_{rz}}{8,8} - 9 \cdot (S_{rz} - 0,6) - 0,4 \cdot (A_{rz} - 10) \quad (5)$$

albo:

$$C_w = C_{wbaz} \cdot \left( 1 - \frac{8,8 - Q_{rz}}{M_Q} \right) - 9 \cdot (S_{rz} - 0,6) - 0,4 \cdot (A_{rz} - 10) \quad (6)$$

## Literatura

- [1] BLASCHKE S.A., BLASCHKE W., GAWLIK L., GRUDZIŃSKI Z., LORENZ U., OZGA-BLASCHKE U., 2006 – Problemy budowy struktur cenowych. Przegląd Górniczy nr 4, s. 60–65.
- [2] GAWLIK L., GRUDZIŃSKI Z., LORENZ U., OZGA-BLASCHKE U., 2006 – Methods of establishing prices for hard and brown coals on the basis of their quality parameters. [W:] XV International Coal Preparation Congress and Exhibition ICPCE 2006. China National Coal Association, China University of Mining and Technology Press. – Xuzhou, China: CUMTP. s. 808–816.
- [3] GRUDZIŃSKI Z., 2008 – Poziom cen węgla brunatnego w odniesieniu do cen energii elektrycznej. Polityka Energetyczna t. 11, z. 1 s. 131–146.
- [4] GRUDZIŃSKI Z., LORENZ U., OLKUSKI T., 2007 – Stan górnictwa węgla brunatnego w Polsce w 2007 roku. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej. Zeszyt Nr 23, Seria: Inżynieria Środowiska. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin, s. 339–350.
- [5] GRUDZIŃSKI Z., BLASCHKE S., LORENZ U., 2007 – Formuły indeksacyjne dla cen węgla brunatnego. Polityka Energetyczna tom 10, z. specjalny 2, s. 483–496.
- [6] GRUDZIŃSKI Z., KASZTELEWICZ Z., 2005 – Propozycja powiązania ceny węgla brunatnego ze zmianami cen energii elektrycznej i inflacją. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 112. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 255–263.
- [7] GRUDZIŃSKI Z., LORENZ U., 2007 – Kształtowanie cen węgla brunatnego w warunkach rynkowych – zarys problemu. Przegląd Górniczy nr 5, s. 32–36.
- [8] GAWLIK L., GRUDZIŃSKI Z., KASZTELEWICZ Z., 2007 – Poziom cen węgla brunatnego w aspekcie jego konkurencyjności do węgla kamiennego. Górnictwo odkrywkowe. Nr 5–6, s. 51–56.
- [9] LORENZ U., 1999 – Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego. Studia, Rozprawy, Monografie nr 64. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków.

- [10] LORENZ U., BLASCHKE W., GRUDZIŃSKI Z., 2002 – Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie nr 112. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków, 78 s.
- [11] Praca zbiorowa pod red. Grudziński Z., Lorenz U., 2008 – Opracowanie metodyki tworzenia systemu cen węgla brunatnego. Wyd. Instytutu Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, s. 255.

Zbigniew GRUDZIŃSKI

## Proposals of prize structure for steam hard coal and lignite

### Abstract

Hard coal and lignite are the basic fuels for power generation in Poland. The share of production from these fuels is determined by the unit costs of production which in turn depend among others on prices of fuel purchases.

The competition between power producers invokes the pressure on the level of prices. IN case of hard coal the maximum price could be referred to the price of imported coal. Maximum price for lignite is equal to the ones which could be accepted by a power producer a single buyer linked directly with the mine.

The paper presents two models of prices structures for hard steam coal and lignite. They were presented as general formulas as well as with average coefficients for the sectors. The form selection is based on individual preferences and customs of both trade parties. The formulas could be simplified in case of strong correlation between ash content and heat value by deleting the “ash” component.

KEY WORDS: Coal prices, price indexes, price structures, price formulas

