

Izabela JONEK-KOWALSKA, Maciej WOLNY, Adam SOJDA

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

DYLEMATY PROGNOZOWANIA CEN WĘGLA KAMIENNEGO NA RYNKACH MIĘDZYNARODOWYCH¹

Streszczenie. Celem artykułu jest opracowanie prognoz cen węgla kamiennego na podstawie trendów historycznych oraz identyfikacja uwarunkowań wpływających na ich dokładność i wiarygodność. W części teoretycznej dokonano przeglądu literaturowego z zakresu podjętej problematyki. W części badawczej opracowano prognozy cen węgla kamiennego na rynkach międzynarodowych przy wykorzystaniu modeli ekonometrycznych oraz stwierdzono, że ceny węgla kamiennego na rynkach międzynarodowych podlegają trudno przewidywalnym wahaniom koniunkturalnym i są kształtowane przez wiele złożonych uwarunkowań, co znacznie utrudnia ich prognozowanie.

Słowa kluczowe: ceny węgla kamiennego, międzynarodowe rynki węgla kamiennego, prognozowanie na podstawie trendów historycznych.

DILEMMAS OF PREDICTING COAL PRICES IN INTERNATIONAL MARKETS

Summary. The purpose of this article is to develop econometric predictions of coal prices in international markets based on historical trends. In the theoretical part of the article the literature review in the research area is done. In the research part of the article the forecasts of coal prices in international markets are developed using econometric models. The main research conclusion is that the coal prices in international markets are characterized by hardly predictable conjunctural fluctuations and a lot of complex conditions, which significantly impedes creating their forecasts.

Keywords: coal prices, international coal markets, forecasts based on historical trends.

¹ Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 341640 „Metoda wyznaczania wartości kopalni węgla kamiennego”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

1. Wprowadzenie

Źródła zaspokajania światowych potrzeb energetycznych to temat ważny i aktualny zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i praktycznym. W ramach tego obszaru badawczego podejmuje się liczne interdyscyplinarne dyskusje o charakterze technicznym², ekonomicznym³, społecznym⁴ i ekologicznym⁵. W niniejszym artykule skoncentrowano się na ekonomiczno-ekonometrycznej analizie cen węgla kamiennego, jako jednego z kluczowych dla światowej energetyki surowców nieodnawialnych.

Przedmiotową analizę przeprowadzono w ujęciu *ex post*, obejmującym lata 2002-2013, oraz ujęciu *ex ante*, odnoszącym się do lat 2014-2020. Celem prowadzonych rozważań i badań jest opracowanie prognoz cen węgla kamiennego na podstawie trendów historycznych oraz identyfikacja uwarunkowań wpływających na ich dokładność i wiarygodność.

Realizacja tak określonych zamierzeń poprzedza wymóg przeglądu literatury z zakresu prognozowania cen węgla kamiennego. Następnie przedstawiono przyjętą metodykę badawczą. W kolejnej części artykułu zaprezentowano wyniki opracowanych prognoz cen węgla kamiennego na rynkach międzynarodowych wraz z ich weryfikacją i krytyczną analizą. Artykuł zakończono podsumowaniem, zawierającym główne wnioski z niniejszego opracowania i kierunki dalszych badań.

² Szerzej: Bebbington A.: Mining and the possibilities of development. „Development and Change”, No. 39 (6), 2008, p. 887-914; Brzychczy E.: The planning optimization system for underground hard coal mines. „Archives of Mining Sciences”, No. 56 (2), 2011, p. 161-178; Turek M.: Eksploatacja pokładów węgla kamiennego, [w:] Konopko W. (red.): Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. T. 1. Górnictwo I środowisko. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013, s. 42-110.

³ Szerzej: Ivanova G., Rolfé J., Lockie S., Timmer V.: Assessing social and economic impacts associated with changes in the coal mining industry in the Bowen Basin, Queensland, Australia. „Management of Environmental Quality: An International Journal”, No. 18 (2), 2007, p. 211-228; Turek M. (red.): Analiza i ocena kosztów w górnictwie węgla kamiennego w Polsce w aspekcie poprawy efektywności wydobywania. Difin, Warszawa, 2013; Turek M.: System zarządzania kosztami w kopalni węgla kamiennego w cyklu istnienia wyrobiska wybierkowego, Difin, Warszawa 2013; Sierpińska M., Kustra A.: Nowoczesne narzędzia zarządzania finansami w przedsiębiorstwie górnictwym. Cz. 10, Koszty kapitałów i sposoby ich zmniejszania w przedsiębiorstwie, „Wiadomości Górnicze”, nr 4, 2006, s. 234-240.

⁴ Szerzej: Campbell, G., Roberts, M.: Permitting a new mine. Insights from the community debate. „Resources Policy”, No. 35, 2010, p. 210-217; Hilson, G.: Corporate Social Responsibility in the extractive industries. Experiences from developing countries. „Resources Policy”, No. 37, 2012, p. 131-137.

⁵ Szerzej: Mishra, S.K., Hitzhusen, J.F., Sohngen, B.L., Guldmann, J.M.: Cost of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio. „Journal of Environmental Management”, No. 100, 2012, p. 52-58; Onkila T.: Multiple forms of stakeholder interaction in environmental management: business arguments regarding differences in stakeholder relationships. „Business Strategy and the Environment”, No. 20(6), 2011, p. 379-393; Williamson J.M., Thurston H.W., Heberling M.T.: Valuing acid main drainage remediation in West Virginia: a hedonic modeling approach. „The Annals of Regional Science”, No. 42, (4), 2008, p. 987-999.

2. Przegląd literatury z zakresu prognozowania cen węgla kamiennego

Szacowanie cen surowców energetycznych to zagadnienie, które w literaturze przedmiotu jest poruszane w ramach kilku wątków dominujących, do których można zaliczyć: globalizację rynków surowcowych, powiązania rynków węgla kamiennego w różnych lokalizacjach geograficznych, wpływ cen węgla kamiennego na ceny energii⁶ i gospodarke, związek cen węgla kamiennego ze zmianami technologii⁷ oraz kosztami produkcji górniczej⁸, metodykę prognozowania cen węgla kamiennego oraz identyfikację determinant cen surowców energetycznych.

Na podstawie badań i rozważań prowadzonych w wymienionych obszarach można stwierdzić, że obecnie rynki nieodnawialnych surowców energetycznych, tj. ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla kamiennego, są ze sobą silnie powiązane, co skutkuje także silnym wzajemnym uzależnieniem cenowym tych surowców. Warto także dodać, że w ubiegłym stuleciu zmienność cen węgla kamiennego była wyraźnie mniejsza od zmienności cen gazu ziemnego i ropy naftowej⁹. W XXI wieku, przede wszystkim w wyniku postępującej globalizacji, zmienność cen węgla kamiennego znacznie wzrosła, wzrosła także siła powiązań tych cen z cenami nieodnawialnych substytutów węgla kamiennego.

W ostatnim czternastoleciu rynek węgla kamiennego uległ także znacznemu umiędzynarodowieniu¹⁰, co potwierdza silne skorelowanie indeksów cen węgla kamiennego w poszczególnych lokalizacjach geograficznych¹¹, do których zalicza się: Newcastle (Australia), Richards Bay (RPA), Bolivar (Kolumbia), Amsterdam, Rotterdam, Antwerpię (ARA; Europa) i Japonię. Badania wykazują, że nie jest to jednak tak silne skorelowanie, jak w przypadku cen ropy naftowej, które można uznać za w pełni skorelowane globalnie, czy gazu ziemnego, dla którego ceny są silnie skorelowane regionalnie. Za główne czynniki wpływające na poziom korelacji cen węgla kamiennego na rynkach światowych uznaje się warunki długoterminowych węglowych kontraktów handlowych.

W literaturze dotyczącej cen węgla kamiennego na rynkach światowych¹² sporo uwagi poświęca się największym producentom tego surowca – Chinom i Stanom Zjednoczonym

⁶ Szerzej: Kamiński J.: Market power in a coal-based power generation sector: The case of Poland. „Energy”, No. 36, 2011, p. 6634-6644.

⁷ Rong F., Victor D.G.: Coal liquefaction policy in China: Explaining the policy reversal since 2006. „Energy Policy”, No. 39, 2011, p. 8175-8184.

⁸ Por. Li A-B., Zhou B., Lu M-Y.: Economic analysis and realization mechanism design for full cost of coal mining. „Procedia Earth and Planetary Science”, No. 1, 2009, p. 1686-1694.

⁹ Jang Ch-J., Xuan X., Jacson R.B.: China's coal price disturbances: Observations, explanations, and implications for global energy economies. „Energy Policy”, No. 51, 2012, p. 720-727.

¹⁰ Patrz: Papież M., Śmiech S.: Causality-in-mean and causality-in-variance within the international steam market. „Energy Economics”, No. 36, 2013, p. 594-604.

¹¹ Lokalizacje te wyróżniane są na podstawie portów morskich wykorzystywanych w międzynarodowym handlu węglem kamiennym.

¹² Zob. Liu M-H., Margaritis D., Zhang Y.: Market-driven coal prices and state-administered electricity prices in China. „Energy Economics”, No. 40, 2013, p. 167-175; He Y., Xia T., Xiong W., Wang B., Liu Y.: Risk

Ameryki Północnej, których uważa się za międzynarodowych kreatorów handlu węglem kamiennym. Szerokiej i wielowątkowej analizie poddawany jest m.in. wpływ cen węgla kamiennego na regulowane ceny energii elektrycznej oraz rozwój gospodarczy w Chinach¹³.

Sporo uwagi poświęca się również czynnikom kształtującym ceny węgla kamiennego w obszarze danej lokalizacji geograficznej¹⁴, a w szczególności wykorzystywanej technologii, poziomowi kosztów produkcji górniczej czy polityce rozwoju przemysłu wydobywczego.

W wielu publikacjach można także odnaleźć wątki dotyczące metodyki prognozowania cen węgla kamiennego. W szacowaniu cen tego surowca wykorzystuje się zarówno tradycyjne metody ekonometryczne w postaci uniwersalnych lub zmodyfikowanych modeli regresji¹⁵, jak i bardziej złożone modele, wzbogacone branżowym wkładem autorskim, takie jak: model fraktalny oparty na zjawisku tzw. powrotu cen do średniej (*fractional mean reversion*¹⁶), teorii gier czy teorii chaosu.

3. Metodyka badawcza

W niniejszym artykule w prognozowaniu cen węgla kamiennego posłużono się powszechnie wykorzystywanymi indeksami cenowymi tego surowca w poszczególnych lokalizacjach geograficznych. Indeksy te pozwalają na standaryzację jakościową węgla kamiennego, ponieważ uwzględniają jego kaloryczność oraz zawartość siarki i popiołu. Do indeksów tych należą: Norwest Europe Marker Price, US Central Appalachian Coal Spot Price Index, Japan Steam Coal Import Cif Price, Asian Marker Price, Coal Australian, Coal Columbian oraz Coal South African.

Analiza trendów cenowych w ramach wymienionych indeksów obejmowała okres od stycznia 2002 roku do grudnia 2013 roku. Jej wyniki pozwoliły zaobserwować wysokie (istotne) wartości współczynników korelacji liniowej między czasem a średniorocznymi cenami węgla (tabela 1). Uprawnia to do zastosowania liniowego modelu trendu do opisu i prognozowania zmian poszczególnych wartości indeksów cenowych w czasie.

transmission assessment of electricity price chain in China based on ISM and ECM. „Electrical Power and Energy Systems”, No. 46, 2013, p. 274-282.

¹³ Szerzej: He X. Y., Shang L. E., Yang L. Y., Wang Y. J., Wang J.: Economic analysis of coal price–electricity price adjustment in China based on the CGE model. „Energy Policy”, No. 38, 2010, p. 6629-6637; Zhihua D., Meihua Z., Yan L.: Effects of coal prices on merchandise prices in China. „Mining Science and Technology”, 2011, p. 651-654; Zhihua D., Meihua Z., Bo N.: Research on the influencing effect of coal price fluctuation on CPI of China. „Energy Procedia”, No. 5, 2011, p. 1508-1513.

¹⁴ Szerzej: Zaklan A., Cullmann A., Neumann A., von Hirschhausen Ch.: The globalization of steam coal markets and the role of logistics: An empirical analysis. „Energy Economics”, No. 34, 2012, p. 105-116.

¹⁵ Por. Bo Z., Junhai M.: Price Index Forecast by a New Partial Least Squares Regression. „Procedia Engineering”, No. 15, 2011, p. 5025-5029.

¹⁶ Por. Sun Q., Xu W., Xiao W.: An empirical estimation for mean-reverting coal prices with long memory. „Economic Modelling”, No. 33, 2013, p. 174-181.

Tabela 1

Wartości współczynników korelacji liniowej między badanymi indeksami cen a zmienną czasową w latach 2002-2013

Wyszczególnienie	Indeksy cenowe						
	Norwest Europe Marker Price	US Central Appalachian Coal Spot Price Index	Japan Steam Coal Import Cif Price	Asian Marker Price	Coal Australian	Coal Columbian	Coal South African
Współczynnik korelacji liniowej	,706*	,600	,950**	,792**	,796**	,674*	,780**
Istotność dwustronna	,015	,051	,000	,004	,002	,016	,003

* - poziom istotności 0,05

** - poziom istotności 0,01

Źródło: opracowanie własne.

W modelach liniowych postać analityczna zależności jest najczęściej ustalana na podstawie najlepszego dopasowania funkcji do danych empirycznych. Należy przy tym pamiętać, że postać analityczna nie powinna być zbyt skomplikowana, ponieważ może to uniemożliwić interpretację merytoryczną parametrów modelu¹⁷. Najczęściej buduje się więc liniowy model zależności w następującej postaci:

$$x^*(t) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot t, \quad (1)$$

gdzie:

α_0, α_1 – parametry strukturalne modelu,

t – zmienna czasowa.

Warto jednak zauważyć, że stosowanie liniowych modeli w prognozowaniu zjawisk gospodarczych może powodować ich zniekształcenie¹⁸ i wówczas konieczne jest wykorzystanie innych modeli, wśród których można wymienić modele wykładnicze, logarytmiczne, wielomianowe, ilorazowe, potęgowe i inne.

Dla prognoz indeksów cenowych opracowanych przy wykorzystaniu modelu liniowego wyznaczono błąd *ex ante* na okres/moment prognostyczny $T > t$, posługując się następującą formułą:

¹⁷ Zob. Wolny M.: Wprowadzenie do metod prognozowania opartych na szeregach czasowych, [w:] A. Sojda (red.): Prognozowanie i racjonalizacja kosztów w przedsiębiorstwie. Difin, Warszawa 2013, s. 35.

¹⁸ Por. Dittman P. (red.): Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Oficyna Wolters Kluwer Business, Kraków 2009, s. 77.

$$v(T) = s \cdot \sqrt{\frac{(T - \bar{t})^2}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2} + \frac{1}{n} + 1}, \quad (2)$$

gdzie:

s – odchylenie standardowe składnika resztowego modelu (standardowy błąd modelu),

T – okres/moment prognostyczny,

n – długość szeregu czasowego (liczba branych pod uwagę danych historycznych),

Błąd *ex ante* jest wyrażony w jednostkach wielkości prognozowanych. W badanym przypadku są nimi ceny węgla kamiennego wyrażone w dolarach za tonę (\$/t). Dodatkowo w ocenie dopuszczalności prognozy wykorzystuje się także błąd względny, pozwalający określić, jaką część prognozy cen węgla kamiennego stanowi błąd bezwzględny *ex ante*¹⁹. Błąd względny (V) jest zatem stosunkiem błędu bezwzględnego do wartości prognozy w danym okresie:

$$V = \frac{v(T)}{x_T}, \quad (3)$$

gdzie:

$v(T)$ – bezwzględny błąd *ex ante*,

x_T – wartość prognozy w okresie/momentcie T .

4. Prognozy cen węgla kamiennego na rynkach światowych i ich weryfikacja

W tabeli 2 przedstawiono wyniki testów istotności parametrów strukturalnych modeli regresji średniorocznych cen względem czasu (modele trendu liniowego) dla poszczególnych indeksów cenowych.

¹⁹ Zob. Jakowska-Suwalska K.: Prognozowanie kosztów przedsiębiorstwa na podstawie modelu ekonometrycznego, [w:] A. Sojda (red.): Prognozowanie i racjonalizacja kosztów w przedsiębiorstwie. Difin, Warszawa 2013, s. 55.

Tabela 2

Wyniki testów istotności parametrów strukturalnych modeli regresji średniorocznych cen względem czasu dla poszczególnych indeksów cenowych (dla 2002 roku $t=1$)

Model, zmienna zależna		Współczynniki niestandardyzowane		t	Istotność
		B	Błąd standardowy		
Northwest Europe Marker Price	(Stała)	37,909	16,116		
	rok	7,100	2,376	2,988	,015
US Central Appalachian Coal Spot Price Index	(Stała)	41,982	12,647		
	rok	4,197	1,865	2,251	,051
Japan Steam Coal Import Cif Price	(Stała)	18,511	8,110		
	rok	10,956	1,196	9,162	,000
Asian Marker Price	(Stała)	30,149	15,164		
	rok	8,699	2,236	3,890	,004
Coal Australian	(Stała)	23,391	13,324		
	rok	7,518	1,810	4,153	,002
Coal Colombian	(Stała)	34,087	13,351		
	rok	5,235	1,814	2,886	,016
Coal South African	(Stała)	26,127	12,515		
	rok	6,709	1,700	3,946	,003

Źródło: opracowanie własne.

Na poziomie istotności 0,1 wszystkie parametry strukturalne badanych modeli są istotnie różne od zera. Dla poziomu istotności 0,05 jedynie dla modelu opisującego kształtowanie się indeksu cen związanych z regionem środkowych Appalachów (US Central Appalachian Coal Spot Price Index) nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o nieistotnych wartościach parametrów. O braku istotnej na poziomie 0,05 liniowości tego trendu świadczy również wartość współczynnika korelacji oraz jej graniczna istotność, przedstawione w tabeli 1.

Dodatkowo, w ramach prowadzonych analiz zbadano losowość oraz normalność rozkładu reszt. Wyniki tego etapu badań przedstawiono na rysunku 1. Z kolei wyniki prognoz cen węgla kamiennego wraz z wartościami błędów *ex ante* dla poszczególnych indeksów cenowych w latach 2014-2015, opracowanych przy wykorzystaniu modeli linowych, zawarto w tabeli 3.

Podsumowanie testu hipotezy

	Hipoteza zerowa	Test	Istotność	Decyzja
1	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $1 \leq 0,000$ i $> 0,000$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,777	Przyjmij hipotezę zerową.
2	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $2 \leq 0,001$ i $> 0,001$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,777	Przyjmij hipotezę zerową.
3	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $3 \leq 0,001$ i $> 0,001$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,502	Przyjmij hipotezę zerową.
4	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $4 \leq 0,001$ i $> 0,001$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,777	Przyjmij hipotezę zerową.
5	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $5 \leq -0,000$ i $> -0,000$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,908	Przyjmij hipotezę zerową.
6	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $6 \leq 0,001$ i $> 0,001$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,403	Przyjmij hipotezę zerową.
7	Sekwencja wartości jest zdefiniowana przez Reszty modelu $7 \leq 0,000$ i $> 0,000$ jest losowa.	Test serii dla jednej próby	,908	Przyjmij hipotezę zerową.
8	Rozkład zmiennej Reszty modelu 1 jest normalny ze średnią 0,000 i odchyleniem standardowym 23,64.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,590	Przyjmij hipotezę zerową.
9	Rozkład zmiennej Reszty modelu 2 jest normalny ze średnią 0,001 i odchyleniem standardowym 18,55.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,761	Przyjmij hipotezę zerową.
10	Rozkład zmiennej Reszty modelu 3 jest normalny ze średnią 0,001 i odchyleniem standardowym 11,90.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,952	Przyjmij hipotezę zerową.
11	Rozkład zmiennej Reszty modelu 4 jest normalny ze średnią 0,001 i odchyleniem standardowym 22,25.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,821	Przyjmij hipotezę zerową.
12	Rozkład zmiennej Reszty modelu 5 jest normalny ze średnią 0,000 i odchyleniem standardowym 20,64.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,608	Przyjmij hipotezę zerową.
13	Rozkład zmiennej Reszty modelu 6 jest normalny ze średnią 0,001 i odchyleniem standardowym 20,69.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,290	Przyjmij hipotezę zerową.
14	Rozkład zmiennej Reszty modelu 7 jest normalny ze średnią 0,000 i odchyleniem standardowym 19,39.	Test Kołmogorowa-Smirnowa dla jednej próby	,478	Przyjmij hipotezę zerową.

Przedstawiono asymptotyczne istotności. Poziom istotności wynosi ,05.

Rys. 1. Wyniki testów losowości oraz normalności rozkładu reszt badanych liniowych modeli trendu, wykonanych z wykorzystaniem programu IBM SPSS Statistics

Fig. 1. Results of tests of randomness and normality of distribution of residuals for studied linear trend models, made by using IBM SPSS Statistics

Source: own work.

Tabela 3

Wyniki prognoz cen węgla kamiennego oraz wartości błędów *ex ante* dla poszczególnych indeksów cenowych w latach 2014-2015 w modelu liniowym

Model, zmienna zależna	Rok	Prognoza [\$/t]	Standardowy błąd modelu	Bezwzględny błąd prognozy [\$/t]	Względny błąd prognozy [%]
Northwest Europe marker price	2014	130,21	24,92	30,89	24%
	2015	137,31		32,23	23%
US Central Appalachian coal spot price index	2014	96,54	19,56	24,24	25%
	2015	100,74		25,29	25%
Japan steam coal import cif price	2014	160,94	12,54	15,55	10%
	2015	171,89		16,22	9%
Asian Marker price	2014	143,23	23,45	29,07	20%
	2015	151,93		30,33	20%
Coal, Australian	2014	121,12	21,65	25,42	21%
	2015	128,64		26,31	20%
Coal, Colombian	2014	102,15	21,69	25,47	25%
	2015	107,38		26,36	25%
Coal, South African (\$/t)	2014	113,35	20,33	23,88	21%
	2015	120,06		24,71	21%

Źródło: opracowanie własne.

Wykonane prognozy trudno uznać za dopuszczalne ze względu na duże wartości błędów *ex ante*. Potwierdza to również współczynnik zmienności losowej, zawierający się w przedziale od 35% do 45%, co wskazuje na znaczny wpływ odchyłek losowych na kształtowanie się badanych wartości. Dlatego też, przy uwzględnieniu dużej zmienności wahań losowych względem trendu, zasadne jest wykorzystanie modelu liniowego Holta.

Model liniowy Holta jest modelem dwurównaniowym następującej postaci:

$$F(t) = \alpha \cdot x(t) + (1 - \alpha) \cdot [F(t-1) + S(t-1)], \quad (4)$$

$$S(t) = \beta \cdot [F(t) - F(t-1)] + (1 - \beta) \cdot S(t-1), \quad (5)$$

gdzie:

$\alpha, \beta \in [0;1]$ – parametry wygładzania.

W modelu tym prognozę na okres/moment prognostyczny $T > n$ wyznacza się przy wykorzystaniu następującej formuły:

$$x^*(T) = F(n) + (T - n) \cdot S(n). \quad (6)$$

Model Holta należy do modeli wygładzania wykładniczego. Do jego budowy niezbędne jest przyjęcie wartości początkowej prognozy (wygasłej) – dokładniej wartości $F(1)$ oraz $S(1)$. Jedną z propozycji jest przyjęcie wartości początkowej prognozy na poziomie wartości rzeczywistej pierwszej obserwacji ($F(1)=x(1)$ oraz $S(1)=0$).

Prognozy postawione za pomocą modelu Holta przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wyniki prognoz cen węgla kamiennego oraz wartości błędów *ex ante* dla poszczególnych indeksów cenowych w latach 2014-2015 w modelu Holta

Model, zmienna zależna	Rok	Prognoza [\$/t]	RMSE ²⁰ [\$/t]
Northwest Europe marker price	2014	120,37	23,65
	2015	125,42	
US Central Appalachian coal spot price index	2014	85,59	17,48
	2015	87,50	
Japan steam coal import cif price	2014	162,36	12,13
	2015	173,59	
Asian Marker price	2014	134,82	22,43
	2015	141,76	
Coal Australian	2014	115,97	20,83
	2015	122,22	
Coal Colombian	2014	95,68	20,55
	2015	99,34	
Coal South African	2014	108,59	19,66
	2015	114,15	

Źródło: opracowanie własne.

Porównując prognozy zawarte w tabeli 4 z prognozami wykonanymi przy użyciu modeli liniowych, można zauważyć, że w przypadku modelu Holta ceny węgla kamiennego szacowane w ramach poszczególnych indeksów są niższe od cen uzyskanych w modelach liniowych. Z kolei odnosząc ceny z modelu Holta do cen prognozowanych dla indeksu *Coal Australia* na lata 2014-2015 przez Bank Światowy,²¹ można jednak stwierdzić, że nadal są to ceny zawyżone. Bank Światowy prognozuje bowiem, że w 2014 r. cena za jedną tonę wyniesie 87 \$, a w 2015 r. 90 \$. W prognozie uzyskanej z modelu Holta wynoszą one odpowiednio 116 \$ i 122 \$. Przyczyn tak znacznego rozrzutu należy upatrywać w wysokiej zmienności losowej cen węgla kamiennego na rynkach światowych oraz w istnieniu licznych niestatystycznych czynników je kształtujących. Dlatego też prognozowanie cen węgla kamiennego wymaga rozległej wiedzy eksperckiej, obejmującej znajomość nie tylko modeli ekonometrycznych, lecz także zasad funkcjonowania rynku surowców energetycznych.

²⁰ Root Mean Squared Error – pierwiastek z błędu średniokwadratowego.

²¹ The World Bank, World Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet), <http://data.worldbank.org/topic/energy-and-mining>.

5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki studiów literaturowych oraz wykonanych wstępnych badań z zakresu prognozowania cen węgla kamiennego na rynkach światowych pozwalają stwierdzić, że jest to zagadnienie wieloaspektowe i złożone. Wynika to przede wszystkim z trudno przewidywalnych zdarzeń losowych, które są w stanie w szybki i gwałtowny sposób wstrząsać rynkami surowców energetycznych na świecie. Z uwagi na to, że rynki te są zglobalizowane i coraz silniej ze sobą powiązane, takie zdarzenia, jak powódź w Australii, wzmożona eksploatacja gazu łupkowego w Stanach Zjednoczonych czy boom energetyczny w Chinach, powodują radykalne zmiany w popycie i podaży nieodnawialnych nośników energii, intensywnie oddziałujące na ich ceny. Nie bez znaczenia dla cen węgla kamiennego są także zmiany o charakterze technologicznym, w tym przede wszystkim prace nad podziemnym zgazowaniem węgla oraz czystymi technologiami węglowymi. Na wahania popytu na węgiel kamienny wpływają również coraz silniej czynniki ekologiczne i społeczne, szczególnie w Europie, w której nasila się presja dekarbonizacji. Wymienione determinanty nie zawsze przyjmują postać zmiennych kwantyfikowalnych, stąd też trudności w ich przewidywaniu i uwzględnianiu w prognozach cenowych.

Przedstawione zmienności i koniunkturalność cen węgla kamiennego na rynkach światowych powinny także uświadomić polskim producentom tego surowca, że jest to rynek kapryśny, charakteryzujący się trudno przewidywalnymi wahaniami cenowymi, do którego należy racjonalnie dostosowywać strategię kosztową. Należy też zachować zdolność elastycznego dostosowywania kosztów do niekorzystnej koniunktury. Trzeba także założyć, że mimo obserwowalnej tendencji wzrostowej cen węgla kamiennego przewidywany wzrost cen w Europie może zostać zakłócony przez nadpodaż tego surowca (tani import z USA i Australii) oraz radykalną dekarbonizację.

W związku z powyższym dalsze badania dotyczące cen węgla kamiennego można ująć w następujące obszary tematyczne:

- ✓ doskonalenie ekonometrycznych metod prognozowania cen węgla kamiennego przy wykorzystaniu m.in. metod autoregresji i teorii chaosu,
- ✓ uwzględnienie w prognozowaniu ekologicznych i społecznych determinantów cen surowców energetycznych,
- ✓ określenie wpływu zmian technologicznych na ceny węgla kamiennego na rynkach węgla kamiennego,
- ✓ dostosowanie strategii kosztowych polskich producentów węgla kamiennego do zmian cen tego surowca na rynkach międzynarodowych.

Bibliografia

1. Bebbington, A.: Mining and the possibilities of development. „Development and Change”, No. 39 (6), 2008.
2. Bednorz J.: Dekarbonizacja Unii Europejskiej zagrożeniem dla jej bezpieczeństwa energetycznego i zrównoważonego rozwoju. „Polityka Energetyczna”, t. 15, z. 3, 2012.
3. Bo Z., Junhai M.: Price Index Forecast by a New Partial Least Squares Regression. „Procedia Engineering”, No. 15, 2011.
4. Brzychczy E.: The planning optimization system for underground hard coal mines. „Archives of Mining Sciences”, No. 56 (2), 2011.
5. Campbell, G., Roberts, M.: Permitting a new mine. Insights from the community debate. „Resources Policy”, No. 35, 2010.
6. Dittman P. (red.): Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Oficyna Wolters Kluwer Business, Kraków 2009.
7. He X.Y., Shang L.E., Yang L.Y., Wang Y.J., Wang J.: Economic analysis of coal price–electricity price adjustment in China based on the CGE model. „Energy Policy”, No. 38, 2010.
8. He Y., Xia T., Xiong W., Wang B., Liu Y.: Risk transmission assessment of electricity price chain in China based on ISM and ECM. „Electrical Power and Energy Systems”, No. 46, 2013.
9. Hilson G.: Corporate Social Responsibility in the extractive industries. Experiences from developing countries. „Resources Policy”, No. 37, 2012.
10. Ivanova G., Rolfe J., Lockie S., Timmer V.: Assessing social and economic impacts associated with changes in the coal mining industry in the Bowen Basin, Queensland, Australia. „Management of Environmental Quality: An International Journal”, No 18 (2), 2007.
11. Jakowska-Suwalska K.: Prognozowanie kosztów przedsiębiorstwa na podstawie modelu ekonometrycznego, [w:] A. Sojda (red.): Prognozowanie i racjonalizacja kosztów w przedsiębiorstwie. Difin, Warszawa 2013.
12. Jang Ch-J., Xuan X., Jacson R.B.: China’s coal price disturbances: Observations, explanations, and implications for global energy economies. „Energy Policy”, No. 51, 2012.
13. Kaliski M., Szurlej A., Grudziński Z.: Węgiel i gaz ziemny w produkcji energii elektrycznej Polski i UE. „Polityka Energetyczna”, t. 15, z. 4, 2012.
14. Kamiński J.: Market power in a coal-based power generation sector: The case of Poland. „Energy”, No. 36, 2011, p. 6634-6644.
15. Li A-B., Zhou B., Lu M-Y.: Economic analysis and realization mechanism design for full cost of coal mining. „Procedia Earth and Planetary Science”, No. 1, 2009.

16. Liu M.-H., Margaritis D., Zhang Y.: Market-driven coal prices and state-administered electricity prices in China. *Energy Economics*, No. 40, 2013.
17. Lorenz U.: Prognozy dla rynków węgla energetycznego na świecie. *„Polityka Energetyczna”*, t. 14, z. 2, 2011.
18. Mishra S.K., Hitzhusen J.F., Sohngen B.L., Guldmann J.M.: Cost of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio. *„Journal of Environmental Management”*, No. 100, 2012.
19. Onkila T.: Multiple forms of stakeholder interaction in environmental management: business arguments regarding differences in stakeholder relationships. *„Business Strategy and the Environment”*, No. 20(6), 2011.
20. Papież M., Śmiech S.: Causality-in-mean and causality-in-variance within the international steam market. *„Energy Economics”*, No. 36, 2013.
21. Rong F., Victor D.G.: Coal liquefaction policy in China: Explaining the policy reversal since 2006. *„Energy Policy”*, No. 39, 2011.
22. Sierpińska M., Kustra A.: Nowoczesne narzędzia zarządzania finansami w przedsiębiorstwie górniczym. Cz. 10, Koszty kapitałów i sposoby ich zmniejszania w przedsiębiorstwie, *„Wiadomości Górnicze”*, nr 4, 2006.
23. Sun Q., Xu W., Xiao W.: An empirical estimation for mean-reverting coal prices with long memory. *„Economic Modelling”*, No. 33, 2013.
24. Turek M. (red.): Analiza i ocena kosztów w górnictwie węgla kamiennego w Polsce w aspekcie poprawy efektywności wydobywania. Difin, Warszawa, 2013.
25. Turek M.: Eksploatacja pokładów węgla kamiennego, [w:] Konopko W. (red.): Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. T. 1. Górnictwo i środowisko. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
26. Turek M.: System zarządzania kosztami w kopalni węgla kamiennego w cyklu istnienia wyrobiska wybierkowego. Difin, Warszawa 2013.
27. Williamson J.M., Thurston H.W., Heberling M.T.: Valuing acid main drainage remediation in West Virginia: a hedonic modeling approach. *„The Annals of Regional Science”*, No. 42, (4), 2008.
28. Wolny M.: Wprowadzenie do metod prognozowania opartych na szeregach czasowych, [w:] A. Sojda (red.): Prognozowanie i racjonalizacja kosztów w przedsiębiorstwie. Difin, Warszawa 2013.
29. Zaklan A., Cullmann A., Neumann A., von Hirschhausen Ch.: The globalization of steam coal markets and the role of logistics: An empirical analysis. *„Energy Economics”*, No. 34, 2012.
30. Zhihua D., Meihua Z., Bo N.: Research on the influencing effect of coal price fluctuation on CPI of China. *„Energy Procedia”*, No. 5, 2011.
31. Zhihua D., Meihua Z., Yan L.: Effects of coal prices on merchandise prices in China. *„Mining Science and Technology”* 2011.

Abstract

Preliminary research in the field of forecasting coal prices on world markets, undertaken in this article, allows to conclude that it is a multifaceted and complex issue. It is mainly caused by unpredictable random events, which are able to quickly and violently shake the markets of energy resources in the world. And due to the fact that these markets are increasingly globalized and interconnected, events such as flooding in Australia, increase in exploitation of shale gas in the United States, or an energy boom in China, could cause radical changes in the demand and supply of non-renewable resources and could influence on their prices intensively.

Technical changes are not also without significance for coal prices, including primarily work on underground coal gasification and clean coal technologies. Fluctuations in demand for coal is also affected by ecological and social factors, particularly in Europe, where decarbonisation is still increasing. These determinants do not always take the form of quantifiable variables, and therefore the forecasting the coal prices is difficult and very often inaccurate.