

Monika Papież

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

WPLYW CEN SUROWCÓW ENERGETYCZNYCH NA CENY SPOT ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA WYBRANYCH GIEŁDACH ENERGII W EUROPIE¹

Streszczenie: Celem analizy jest zidentyfikowanie wpływu poszczególnych cen surowców energetycznych na ceny energii elektrycznej oraz zbadanie, czy istnieje powiązanie tego wpływu z wykorzystaniem różnych surowców energetycznych do produkcji energii elektrycznej. Badanie krótkookresowych zależności przeprowadzono w ramach analizy przyczynowości w sensie Grangera na danych miesięcznych z okresu lipiec 2005-czerwiec 2012 z wykorzystaniem metody Tody-Yamamoto. Analiza wskazała na łączny wpływ cen surowców na ceny energii elektrycznej na analizowanych rynkach, oprócz włoskiego i szwedzkiego. Natomiast ceny gazu wpływają na ceny energii, oprócz cen na giełdzie skandynawskiej. Stwierdzono powiązanie wpływu ceny surowca energetycznego na cenę energii z profilem wykorzystywanych surowców do produkcji energii.

Słowa kluczowe: ceny energii elektrycznej, ceny surowców energetycznych, metoda Tody-Yamamoto.

1. Wstęp

W celu utworzenia jednolitego rynku energii elektrycznej Unia Europejska wprowadziła odpowiednie dyrektywy (np. dyrektywa 2003/54/WE) i rozporządzenia (np. 1228/2003). Mają one zobligować kraje Unii Europejskiej do wprowadzenia reform. Stworzenie jednolitego rynku energii ma bowiem stymulować konkurencję oraz prowadzić do efektywnego podziału rezerw mocy.

Analizy rynku energii w Europie ze względu na ceny energii elektrycznej wskazują jednak jedynie na ich częściowe zintegrowanie. Zachmann [2008] na podstawie cen energii elektrycznej dla sześciu krajów Europy Zachodniej, dwóch Europy Centralnej oraz dwóch Europy Północnej wskazał, że przynajmniej do połowy 2006 r. krajowe rynki energii elektrycznej nie były zintegrowane, pomimo wysiłków Unii Europejskiej na rzecz rozwoju jednolitego rynku. Podobne wyniki otrzymali Bunn i Gianfreda [2010], którzy na podstawie dziennych, tygodniowych i miesięcznych

¹ Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/B/HS4/01134.

cen energii dla sześciu krajów europejskich z okresu czerwiec 2001-czerwiec 2005 r. wskazali tylko częściową integrację rynków energii. Z kolei Balaguer [2011] na danych miesięcznych w latach 2005-2009 pokazał, że rynki Danii i Szwecji są silnie zintegrowane. Natomiast między rynkami Szwajcarii, Włoch, Francji i Niemiec występują duże różnice cenowe.

Wskazane przez Balaguera [2011] duże różnice w cenach energii mogą być związane z wykorzystaniem różnych źródeł surowców energetycznych, z uwzględnieniem źródeł odnawialnych i nieodnawialnych do produkcji energii elektrycznej. W 2011 r. w krajach Europy należących do OECD 48,8% całkowitej produkcji energii elektrycznej wytworzone zostało z paliw pierwotnych (w tym 25,2% z węgla, 21,5% z gazu oraz 1,9% z ropy naftowej), 25,2% to energia jądrowa, a 25,8% to energia elektryczna wytworzona z odnawialnych źródeł energii (14,9% z wody, 6,6% z słońca i wiatru, 4,3% z biopaliw) [Electricity Information 2012].

Zróżnicowane wykorzystanie surowców energetycznych do produkcji energii elektrycznej skłania do badania zależności długo- i krótkookresowych pomiędzy cenami paliw pierwotnych a cenami energii. W pracy z 2006 r. Asche i in. [2006] wykazali zależność długookresową między miesięcznymi cenami hurtowymi ropy naftowej, gazu ziemnego i energii elektrycznej w latach 1995-1998 dla rynku w Wielkiej Brytanii. Podobnie Mjelde i Bessler [2009] pokazali długookresową zależność na rynku amerykańskim w latach 2001-2008 między cenami energii elektrycznej a cenami: gazu ziemnego, uranu, węgla i ropy naftowej. Ferkingstad, Loland, Wilhelmsen [2011] zbadali na podstawie tygodniowych danych z lat 2002-2008 związki przyczynowe pomiędzy cenami spot energii elektrycznej dla Europy Północnej oraz ropy naftowej, cen gazu i węgla oraz cen energii z elektrowni wiatrowych. Autorzy stwierdzili, że skandynawskie i niemieckie ceny energii elektrycznej są ze sobą powiązane przez cenę gazu. Ponadto w długim okresie ceny energii elektrycznej i brytyjskie ceny gazu dostosowują się do ustalonego poziomu ceny równowagi. Dodatkowo ceny ropy naftowej, węgla, gazu są słabo egzogeniczne. Moutinho, Vieira, Moreira [2011] na podstawie dziennych cen spotowych z okresu styczeń 2002-grudzień 2005 badali relacje długookresowe pomiędzy cenami energii elektrycznej na hiszpańskim rynku oraz cenami paliw pierwotnych – ropy Brent, gazu Zeeburger, węgla – API/ARA CIF. Z kolei Bencivenga i in. [2010] na podstawie danych dziennych z okresu wrzesień 2001-grudzień 2007 r. wskazali, że ceny brytyjskiego gazu ziemnego, ropy Brent i europejskiej energii elektrycznej EEX są zintegrowane.

Przedstawione wyniki badań wskazują na istnienie częściowej integracji europejskiego rynku energii oraz długookresowych i krótkookresowych zależności między cenami paliw a cenami energii. Jednak w przedstawionych analizach brakuje powiązań tych zależności z profilem wykorzystania surowców energetycznych do produkcji energii w krajach europejskich. Stąd celem analizy w artykule jest zidentyfikowanie wpływu poszczególnych cen surowców energetycznych (paliw pierwotnych i uranu) na ceny energii elektrycznej na wybranych europejskich giełdach energii. Celem jest także zbadanie, czy istnieje powiązanie tego wpływu z wykorzystaniem

różnych surowców energetycznych do produkcji energii elektrycznej. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, sformułowano następujące hipotezy badawcze:

- Łącznie ceny surowców energetycznych: paliw pierwotnych i uranu, wpływają na ceny energii elektrycznej.
- Ceny ropy naftowej nie mają wpływu na ceny energii elektrycznej.
- Wpływ poszczególnych cen surowców na ceny energii na danym rynku jest związany z profilem wykorzystania surowców do produkcji energii elektrycznej w danym kraju.

Badanie krótkookresowych zależności pomiędzy cenami surowców energetycznych a cenami energii elektrycznej zostanie przeprowadzone w ramach analizy przyczynowości w sensie Grangera na danych miesięcznych z okresu lipiec 2005-czerwiec 2012, z wykorzystaniem metody Tody-Yamamoto.

Artykuł składa się z czterech części. Część druga prezentuje metodykę badania przyczynowości w sensie Grangera z wykorzystaniem metody Tody-Yamamoto. Kolejna część przedstawia dane wykorzystane w analizie oraz wyniki otrzymane na podstawie testowania przyczynowości wraz z identyfikacją profilu wykorzystania surowców do produkcji energii elektrycznej. W podsumowaniu przedstawiono wnioski.

2. Metodyka badania

Do badania przyczynowości zostanie wykorzystana zmodyfikowana wersja testu przyczynowości w sensie Grangera zaproponowana przez Todę i Yamamoto [1995] i rozwijana przez autorów takich prac, jak: [Rambaldi, Doran 1996; Zapata, Rambaldi 1997]. Podejście zaproponowane przez Todę i Yamamoto polega na zastosowaniu zmodyfikowanego testu Walda dla modelu $VAR(k)$, gdzie k – długość maksymalnego opóźnienia ustalona na podstawie kryteriów informacyjnych. Podstawowa idea podejścia Tody i Yamamoto (T-Y) polega na zwiększeniu liczby opóźnień w modelu $VAR(k)$ o maksymalny stopień integracji zmiennych występujących w modelu (d_{\max}). Następnie należy ponownie oszacować model $VAR(k + d_{\max})$ i zastosować test Walda z restrykcjami dla pierwszych k parametrów modelu (dodatkowe opóźnienia d_{\max} nie są poddawane restrykcjom [Caporale, Pittis 1999]). Toda i Yamamoto [1995] dowiedli, że test Walda ma asymptotyczny rozkład χ^2 . Zaletą procedury T-Y jest to, że nie wymaga ona wstępnego badania kointegracji pomiędzy analizowanymi zmiennymi, a tym samym pozwala uniknąć błędu związanego z testowaniem kointegracji [Zapata, Rambaldi, 1997]. Toda i Yamamoto [1995] stwierdzili również, że zaproponowana procedura nie może zastępować tradycyjnego wstępnego testowania relacji kointegracyjnych. Należy oba rodzaje analizy traktować jako badania uzupełniające się.

Testowanie przyczynowości w sensie Grangera zostanie przeprowadzone dla poszczególnych modeli $VAR_p(k + d_{\max})$, gdzie p oznacza model dla danego europejskiego rynku energii ($p = AT, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IT, PL, SE$) postaci:

$$E_t^p = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_{1i}^p E_{t-i}^p + \sum_{j=k+1}^{d_{\max}} \alpha_{2j}^p E_{t-j}^p + \sum_{i=1}^k \beta_{1i}^q S_{t-i}^q + \sum_{j=k+1}^{d_{\max}} \beta_{2j}^q S_{t-j}^q + D + \varepsilon_{1t}, \quad (1)$$

$$S_t^q = \gamma_0 + \sum_{i=1}^k \gamma_{1i}^q S_{t-i}^q + \sum_{j=k+1}^{d_{\max}} \gamma_{2j}^q S_{t-j}^q + \sum_{i=1}^k \delta_{1i}^p E_{t-i}^p + \sum_{j=k+1}^{d_{\max}} \delta_{2j}^p E_{t-j}^p + D + \varepsilon_{2t}, \quad (2^q)$$

gdzie: E^p – logarytm ceny spot energii elektrycznej na p rynku energii,

S^q – ($q = 1, 2, 3, 4$) – logarytm cen surowców energetycznych (węgiel, ropa, gaz, uran),

D – zmienne deterministyczne.

Następnie do oszacowanego modelu stosuje się test Walda, w którym hipoteza zerowa w równaniu (1) ma postać: $H_0 : \beta_{1i}^q = 0 \forall i$ ($q = 1, 2, 3, 4$), co oznacza, że S^q nie jest przyczyną w sensie Grangera dla E^p a w równaniu (2^q) hipoteza zerowa jest postaci: $H_0 : \delta_{1i}^p = 0 \forall i$, co oznacza, że E^p nie jest przyczyną w sensie Grangera dla S^q .

3. Dane i prezentacja wyników badań

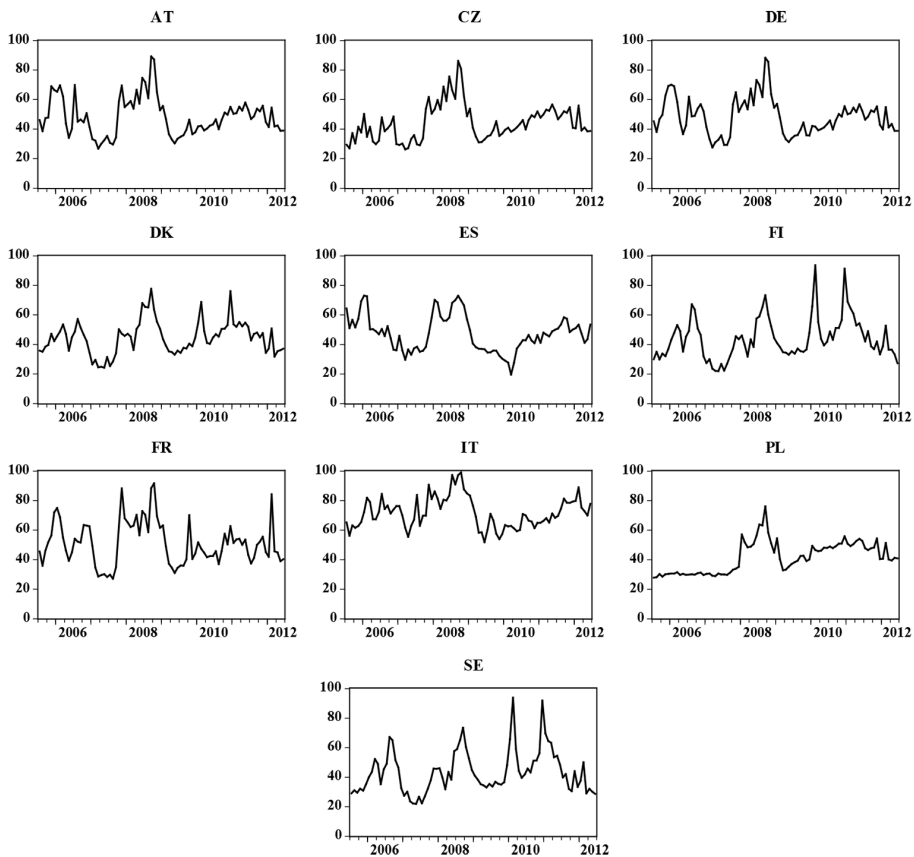
Analiza krótkookresowych zależności pomiędzy cenami surowców energetycznych a cenami spot energii elektrycznej na wybranych europejskich giełdach energii zostanie przeprowadzona na uśrednionych miesięcznych danych w okresie lipiec 2005-czerwiec 2012. Do badania wybrano ceny energii elektrycznej na rynku dnia następnego dla następujących giełd w Europie: EXAA (Austria – AT), EPEX Spot (Francja – FR, Niemcy – DE), IPEX (Włochy – IT), Nord Pool (Skandynawia: Dania – DK, Finlandia – FI, Szwecja – SE), OMEL (Hiszpania – ES), OTE (Czechy – CZ), PPX (Polska – PL). Wszystkie ceny podane są w €/MWh. Jako ceny surowców energetycznych przyjęto: cenę spot węgla w imporcie do Europy określoną na bazie CIF ARA w €/t (ARA), cenę spot ropy Brent w €/baryłkę (BRENT), cenę spot gazu w Zeebrugge – Belgia w €/MWh (GAZ), cenę uranu w €/funt (URAN). Podstawowe statystyki opisowe cen energii elektrycznej przedstawia tab. 1. Natomiast rysunek 1 przedstawia ceny cen energii elektrycznej na wybranych giełdach w Europie w okresie lipiec 2005-czerwiec 2012 r., rys. 2 zaś ceny surowców energetycznych w tym samym okresie.

Analiza cen energii elektrycznej na wybranych rynkach energii wskazuje na dość duże zróżnicowanie tych rynków pod względem wysokości cen (por. rys. 1). Najwyższe ceny energii są na giełdzie IPEX we Włoszech. Średnia cena w analizowanym okresie wynosiła ok. 72 €/MWh, natomiast średnie ceny na pozostałych rynkach wynosiły od 41,6 €/MW w Polsce do 51,1 €/MW we Francji. Podobnie najniższa cena energii na giełdzie we Włoszech wynosiła 51,8 €/MWh, a dla pozostałych giełd kształtowała się od 19,6 €/MWh dla giełdy OMEL w Hiszpanii do

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe cen energii elektrycznej na wybranych giełdach w Europie w okresie lipiec 2005-czerwiec 2012 r.

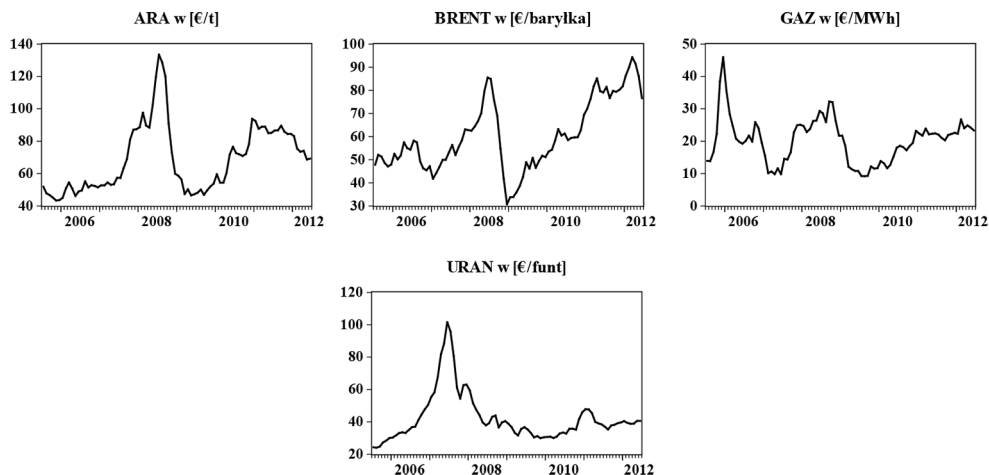
	AT	CZ	DE	DK	ES	FI	FR	IT	PL	SE
Średnia	48,5	44,4	48,7	44,7	47,4	44,0	51,1	71,8	41,6	43,5
Mediana	46,5	41,1	48,2	45,1	46,8	42,0	49,7	69,9	40,6	40,6
Maksimum	89,2	86,2	88,3	77,7	73,1	93,7	91,7	99,1	76,3	94,0
Minimum	26,7	26,2	27,6	24,3	19,6	22,0	27,1	51,8	27,9	22,0
Odchylenie standardowe	12,98	12,26	12,43	11,14	12,11	13,99	14,69	10,45	10,56	14,42
Skewness	0,79	0,99	0,75	0,56	0,36	1,13	0,65	0,49	0,52	1,14
Kurtoza	3,54	4,17	3,61	3,52	2,60	4,82	3,08	2,79	2,79	4,62

Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 1.** Ceny energii elektrycznej na wybranych giełdach w Europie w okresie lipiec 2005-czerwiec 2012 r. w [€/MWh]

Źródło: opracowanie własne.

27,9 €/MWh w Polsce (por. tab. 1). Takie zróżnicowanie cen można interpretować tak, że stopień integracji włoskiego rynku energii w Unii Europejskiej jest stosunkowo niewielki. Podobnie ceny surowców energetycznych kształtowały się różnorodnie w badanym okresie (por. rys. 2).



Rys. 2. Ceny surowców energetycznych w okresie lipiec 2005-czerwiec 2012

Źródło: opracowanie własne.

Do dalszej analizy zlogarytmowano ceny surowców energetycznych i energii elektrycznej. Na początku analizy zbadano stacjonarność szeregów, wykorzystując test pierwiastka jednostkowego ADF (test Dickeya- Fullera) [Dickey, Fuller 1981]. Opóźnienia w teście ADF przyjęto na podstawie kryterium AIC. Test przeprowadzono bez wyrazu wolnego, z wyrazem wolnym oraz z wyrazem wolnym i trendem. Wartości *p-value* dla statystyki w teście ADF dla zmiennej i jej przyrostów pokazały, że wszystkie zmienne są zintegrowane w stopniu pierwszym $I(1)$ ².

Badanie wpływu cen surowców energetycznych na poszczególne ceny spot energii elektrycznej zostanie przeprowadzone dla osobnych dziesięciu modeli $VAR_p(k + d_{\max})$. Każdy model $VAR_p(k + d_{\max})$ będzie zawierał następujące zmienne: zlogarytmowaną cenę energii elektrycznej i zlogarytmowane ceny surowców energetycznych (L_ARA , L_BRENT , L_GAZ , L_URAN). Dodatkowo do modeli $VAR_p(k + d_{\max})$ zostaną włączone sezonowe zmienne zero-jedynkowe dla miesięcy zdefiniowane następująco: S_x – wartość 1 w miesiącu x oraz wartość 0 dla pozostałych miesięcy, oraz deterministyczne zmienne zero-jedynkowe zdefiniowane następująco: yy_{mx} – wartość 1 w miesiącu x w yy roku oraz wartość 0 dla pozostałego okresu. Dodatkowe zmienne określono na podstawie odstających reszt w modelach.

² Ze względu na wymogi redakcyjne nie zaprezentowano wyników testu ADF.

Pierwszy etap badań, zgodnie z postulatem T-Y, będzie polegał na testowaniu kointegracji w ramach zmiennych występujących w poszczególnych modelach $VAR_p(k)$. Przed badaniem kointegracji określono liczbę opóźnień dla modeli $VAR_p(k)$ na podstawie kryteriów informacyjnych. Do testowania kointegracji została wykorzystana statystyka śladu macierzy. Przyjęto poziom istotności 0,05. Tabela 2 przedstawia liczbę wektorów kointegrujących dla wybranych układów zmiennych w zależności od tego, czy wyraz wolny (lub trend) włączymy do wektora kointegrującego czy też nie.

Tabela 2. Liczba wektorów kointegrujących dla wybranych układów zmiennych na podstawie statystyki śladu macierzy

Model – zmienne	Zmienne deterministyczne	Ograniczony wyraz wolny	Ograniczony wyraz wolny, nieograniczony trend	Ograniczony wyraz wolny i trend, nieograniczony trend
<i>L_AT, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S10, S11, 05m11</i>	1	1	2
<i>L_CZ, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S10, S11, 05m11, 07m2, 09m1</i>	2	2	2
<i>L_DE, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S10, S11, 05m11</i>	1	1	2
<i>L_DK, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (1)</i>	<i>S3, S10, S11, 05m11, 07m11</i>	0	1	1
<i>L_ES, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S3, S10, S11, 05m11</i>	1	1	1
<i>L_FI, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S3, S4, S5, S10, S11, 05m11, 08m12, 10m12</i>	1	1	1
<i>L_FR, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S10, S11, 05m11, 08m9, 09m10, 12m2</i>	1	1	2
<i>L_IT, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S3, S4, S7, S10, S11, 05m11</i>	1	1	1
<i>L_PL, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S1, S10, S11, 05m11, 07m2, 08m1, 08m12, 11m12</i>	1	2	1
<i>L_SE, L_ARA, L_BRENT, L_GAZ, L_URAN (2)</i>	<i>S3, S10, S11, 05m11, 07m2, 08m12, 10m12</i>	1	1	1

Uwaga: w nawiasie liczba opóźnień ustalona na podstawie kryteriów informacyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badań zawarte w tab. 2 wskazały, że prawie dla każdego analizowanego zbioru zmiennych istnieje przynajmniej jeden wektor kointegrujący. Oznacza to, że dla analizowanych zbiorów zmiennych istnieje długookresowa zależność między ceną spot energii elektrycznej, cenami paliw pierwotnych i ceną uranu. Zatem istnieją silne powiązania między analizowanymi cenami, co może oznaczać długookresowy wpływ cen paliw pierwotnych i uranu na cenę energii elektrycznej. Ponieważ analizowane zbiory zmiennych są skointegrowane, stąd do badania przyczynowości w sensie Grangera wykorzystano metodę Tody-Yamamoto. W tym celu dla każdego zbioru zmiennych oszacowano model $VAR_p(k+1)$, gdzie jako k przyjęto wcześniej ustalony rząd opóźnienia. Następnie dokonano weryfikacji modeli ze względu na założenia dotyczące składników losowych. Wyniki testów Boxa-Pierce'a i Breusch-Godfrya wskazują na brak autokorelacji reszt. Wartości statystyki wielowymiarowego testu Doornika-Hansena nie zaprzeczają, że łączny rozkład wielowymiarowego składnika losowego jest normalny. Podobnie wyniki testu na wielowymiarowy efekt ARCH wskazują na homoskedastyczność wariancji wielowymiarowego rozkładu reszt modeli.

Dla poprawnie zbudowanych modeli zastosowano test Walda z nałożonymi restrykcjami zerowymi na pierwszych k parametrów. Wartości p -value dla statystyki w teście Walda przedstawia tab. 3.

Tabela 3. Wartości p -value dla statystyki w teście Walda

Skutek Przyczyna	L_{AT}	L_{CZ}	L_{DE}	L_{DK}	L_{ES}	L_{FI}	L_{FR}	L_{IT}	L_{PL}	L_{SE}
L_{ARA}	0,0228	0,0018	0,0444	0,0117	0,9153	0,1336	0,1028	0,2718	0,0104	0,0294
L_{BRENT}	0,5196	0,6948	0,3762	0,2891	0,2844	0,5008	0,4118	0,3965	0,2713	0,4606
L_{GAZ}	0,0083	0,1040	0,0011	0,5084	0,0080	0,5209	0,0000	0,0082	0,0351	0,7138
L_{URAN}	0,1765	0,1009	0,3036	0,0516	0,5425	0,0483	0,0436	0,9813	0,2433	0,1415
Wszystkie surowce	0,0123	0,0026	0,0079	0,0376	0,0247	0,0279	0,0001	0,1168	0,0024	0,0640

Źródło: opracowanie własne.

W celu porównania wpływu przeszłych cen paliw pierwotnych i uranu z profilem wykorzystania surowców energetycznych, z uwzględnieniem źródeł odnawialnych (OZE) i nieodnawialnych, w produkcji energii elektrycznej przeanalizowano udział poszczególnych surowców energetycznych w produkcji energii w wybranych krajach Europy w 2011 r. Wyniki analizy przedstawia tab. 4.

Otrzymane wyniki badania przyczynowości w sensie Grangera metodą T-Y wskazują, że łącznie wszystkie ceny surowców energetycznych są przyczyną dla cen energii elektrycznej na wszystkich analizowanych rynkach energii, oprócz włoskiego i szwedzkiego. Oznacza to, że oprócz wpływu długookresowego cen paliw pierwotnych i uranu, można także wskazać ich krótkookresowy wpływ na ceny energii

Tabela 4. Udział procentowy surowców energetycznych w produkcji energii elektrycznej w wybranych krajach Europy w 2011 r.

	<i>AT</i>	<i>CZ</i>	<i>DE</i>	<i>DK</i>	<i>ES</i>	<i>FI</i>	<i>FR</i>	<i>IT</i>	<i>PL</i>	<i>SE</i>
Węgiel	11,1	56,7	45,5	38,6	15,4	22,3	4,0	17,1	86,7	2,4
Ropa	1,5	0,1	1,1	0,9	5,2	0,7	0,9	6,0	1,5	1,0
Gaz	17,8	1,6	13,8	18,5	28,9	13,3	3,6	47,4	3,6	2,3
Energia jądrowa	–	32,4	17,7	–	19,8	31,6	78,7	–	–	39,2
OZE	69,6	9,2	21,9	42,0	30,7	32,1	12,8	29,5	8,2	55,2

Źródło: opracowanie własne.

elektrycznej. Natomiast brak przyczynowości dla włoskiego rynku energii może potwierdzać odmienność tego rynku. Jak było już wcześniej wspomniane, ceny energii elektrycznej na włoskiej giełdzie zasadniczo odbiegają od poziomu na pozostałych giełdach. Z kolei brak przyczynowości dla szwedzkich cen energii może wynikać z tego, że w 2011 r. aż 55,2% całkowitej energii elektrycznej pochodziło z odnawialnych źródeł energii.

Szczegółowa analiza wpływu poszczególnych surowców energetycznych na ceny energii wskazuje, że ceny ropy nie są przyczyną w sensie Grangera dla cen energii elektrycznej (na poziomie istotności 0,05). Otrzymane wyniki są zatem logiczne z punktu widzenia wykorzystania surowców energetycznych w produkcji energii, bowiem w krajach europejskich w 2011 r. tylko 1,9% całkowitej energii produkowano z ropy naftowej.

Przeszłe ceny uranu wpływają na poprawę prognoz cen spot energii elektrycznej we Francji i Finlandii. W 2011 r. aż 78,7% całkowitej produkcji energii elektrycznej wytworzonej we Francji stanowiła energia jądrowa. Natomiast wpływ przeszłych cen gazu na prognozy ceny energii we Francji może oznaczać, że ceny energii dostosowują się do cen innych uczestników europejskiego rynku energii. Stąd na ceny energii elektrycznej na giełdzie we Francji mają wpływ ceny gazu. W wypadku Finlandii 31,6% całkowitej wytworzonej energii elektrycznej stanowi energia jądrowa, 32,1% energia z odnawialnych źródeł energii, a 36,3% energia z paliw pierwotnych.

Ceny gazu są również przyczyną w sensie Grangera dla cen energii na giełdzie w Hiszpanii i we Włoszech oraz w Austrii, Czechach, Niemczech i w Polsce. W 2011 r. w Hiszpanii 28,9% całkowitej produkcji energii elektrycznej wytwarzano z gazu, 15,4% z węgla, 30,7% z odnawialnych źródeł energii, a 19,7% stanowi energia jądrowa. Natomiast we Włoszech aż 47,4% całkowitej produkcji energii elektrycznej wytwarzane jest z gazu, 17,1% z węgla i 29,5% z odnawialnych źródeł energii. W wypadku czterech ostatnich krajów na ceny energii, oprócz cen gazu, mają wpływ także przeszłe ceny węgla. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że to właśnie w tych krajach, oprócz Austrii, największy udział w wytwarzaniu energii stanowi węgiel. W 2011 r. w Polsce aż 86,7% całkowitej produkcji energii elektrycznej wytwarzane

było z węgla, w Czechach 56,7% energii wytworzono z węgla, a 32,4% stanowiła energia jądrowa. Również w Niemczech 45,5% całkowitej energii produkuje się z węgla, 13,8% z gazu, natomiast 17,7% to energia jądrowa i 21,9% energia z odnawialnych źródeł. W przypadku Austrii aż 69,6% energii pochodzi z odnawialnych źródeł, zatem wpływ przeszłych cen gazu i węgla na prognozy energii elektrycznej można raczej tłumaczyć dostosowaniem się cen energii na rynku austriackim do cen europejskich, a więc można mówić o zintegrowaniu tego rynku z innymi, szczególnie z niemieckim, czeskim i polskim.

Natomiast ceny węgla są wyłącznie przyczyną w sensie Grangera cen energii elektrycznej w Danii i Szwecji. Zatem przeszłe wartości cen węgla poprawiają prognozy cen energii elektrycznej na tych rynkach. Oznacza to, że ceny węgla wpływają mocno na ceny energii, co jest raczej zgodne z profilem wykorzystania surowców energetycznych do produkcji energii w Danii, ale nie w Szwecji. W 2011 r. w Danii 38,7% energii elektrycznej zostało wyprodukowane z węgla, 18,6% z gazu i 67,9% z odnawialnych źródeł energii. Z kolei w wypadku Szwecji 2,4% produkcji energii elektrycznej wytwarzane jest z węgla. Tak więc wpływ przeszłych cen węgla na prognozy energii elektrycznej można raczej tłumaczyć dostosowaniem się cen energii na rynku szwedzkim do pozostałych cen rynku skandynawskiego, szczególnie duńskiego. Oznacza to zintegrowanie tych dwóch rynków.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badanie zależności między cenami surowców energetycznych i cenami energii elektrycznej pozwoliło na stwierdzenie, że na ceny energii elektrycznej na wybranych rynkach energii w Europie wpływają ceny surowców energetycznych. Analiza wskazała, że można stwierdzić łączny wpływ cen węgla, ropy, gazu i uranu na ceny energii elektrycznej na analizowanych rynkach, oprócz włoskiego i szwedzkiego. Brak łącznego wpływu cen surowców na ceny energii na włoskiej giełdzie wynika zapewne z tego, że stopień integracji włoskiego rynku energii w Unii Europejskiej jest stosunkowo niewielki. Poziom cen na tej giełdzie zasadniczo odbiega *in plus* od poziomu cen energii na pozostałych rynkach energii.

Badanie przyczynowości z wykorzystaniem testu Walda pozwoliło też na wskazanie, które ceny surowców odgrywają najważniejszą rolę w kształtowaniu się cen energii. To pozwoliło na wyodrębnienie dwóch odrębnych obszarów: krajów Europy Północnej i pozostałych, które również można było podzielić na trzy podgrupy. Badanie pozwoliło również na powiązanie wpływu danej ceny surowca energetycznego z profilem wykorzystywanych surowców energetycznych do produkcji energii.

Na podstawie analizy można stwierdzić, że ceny ropy naftowej nie mają wpływu na kształtowanie się cen energii. Podobny wniosek sformułował Bosco i in. [2010], stwierdzając brak długookresowej zależności między cenami energii na sześciu giełdach a cenami ropy naftowej oraz występowanie długookresowej zależności między cenami energii i gazu.

W badaniu opisanym w tym artykule również można wskazać, że dla siedmiu krajów przeszłe ceny gazu poprawiają prognozy cen energii. Takiego wpływu nie można tylko zidentyfikować dla cen energii na skandynawskiej giełdzie energii Nord Pool (Dania, Finlandia, Szwecja). Natomiast na ceny energii na tej giełdzie wpływają ceny węgla oraz uranu (Finlandia), ale tylko w Danii największy udział w produkcji energii stanowi węgiel, w pozostałych krajach notuje się jego znikomy udział. Wpływ cen węgla można więc tłumaczyć dostosowaniem się cen energii na rynku skandynawskim do cen duńskich, a więc można mówić o zintegrowaniu rynku skandynawskiego. Podobne wyniki odnośnie do integracji wskazał Balaguer [2011].

Natomiast giełdy, na których na cenę energii wpływają ceny gazu, można podzielić na trzy podgrupy. Pierwszą podgrupę tworzą giełda włoska i hiszpańska. Na ceny energii mają wpływ tylko na tych giełdach ceny gazu. Są to kraje, w których największy udział w produkcji energii ma gaz. Drugą grupę tworzą kraje: Austria, Czechy, Niemcy i Polska. Na ceny energii w tych krajach, oprócz cen gazu, mają wpływ ceny węgla. Są to kraje, oprócz Austrii, w których największy udział w produkcji energii stanowi węgiel. Do ostatniej podgrupy można zaliczyć Francję, w której aż 78,7% wytworzonej energii to energia jądrowa i w której na ceny energii, oprócz cen gazu, mają wpływ ceny uranu.

Przeprowadzone badania wskazują, że europejski rynek energii nie jest całkowicie zintegrowany, co może być związane z profilem wykorzystywanych surowców energetycznych do produkcji energii. Różnorodny profil wykorzystania i położenie geograficzne powoduje, że rynki charakteryzują się specyficznymi cechami, które uniemożliwiają pełną integrację w ramach jednolitego rynku europejskiego.

Literatura

- Asche F., Osmundsen P., Sandsmark M., *The UK market for natural gas, oil, and electricity: are the prices decoupled?*, „The Energy Journal” 2006, no 27(2).
- Balaguer J., *Cross-border integration in the European electricity market. Evidence from the pricing behavior of Norwegian and Swiss exporters*, „Energy Policy” 2011, no 39(9), s. 4703-4712.
- Bencivenga C., Sargenti G., D’Ecclesia R., *Energy markets: crucial relationship between prices, Mathematical and Statistical Methods for Actuarial Sciences and Finance 2010*, s. 23-32.
- Bosco B., Parisio L., Pelagatti M., Baldi F., *Long-run relations in European electricity prices*, „Journal of Applied Econometrics” 2010, no 25, 805-832.
- Bunn D., Gianfreda A., *Integration and shock transmissions across European electricity forward markets*, „Energy Economics” 2010, no 32 (2), s. 278-291.
- Caporale G.M., Pittis N., *Efficient estimation of cointegrating vectors and testing for causality in vector autoregressions*, „Journal of Economic Surveys” 1999, no 13(1), s. 1-35.
- Dickey D.A., Fuller W.A., *Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root*, „Econometrica” 1981, no 49, s. 1057-1072.
- Electricity Information 2012, International Energy Agency, OECD.
- Ferkingstad E., Loland A., Wilhelmsen M., *Causal modeling and inference for electricity markets*, „Energy Economics” 2011, no 33 (3), s. 404-412.

- Mjelde J., Bessler D., *Market integration among electricity markets and their major fuel source markets*, "Energy Economics" 2009, no 31(3), s. 482-491
- Moutinho V., Vieira J., Moreira A., *The crucial relationship among energy commodity prices: Evidence from the Spanish electricity market*, "Energy Policy" 2011, no 39, s. 5898-5908.
- Rambaldi A.N., Doran H.E., *Testing for Granger non-causality in cointegrated system made easy*, Working papers in Econometrics and Applied Statistics, no 88, Department of Econometrics, University of New England, 1996.
- Toda H.Y., Yamamoto T., *Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes*, "Journal of Econometrics" 1995, no 66, s. 225-250.
- Zachmann G., *Electricity wholesale market prices in Europe: convergence?*, "Energy Economics" 2008, no 30 (4), s. 1659-1671.
- Zapata H.O., Rambaldi A.N., *Monte Carlo evidence on cointegration and causation*, "Oxford Bulletin of Economics and Statistics" 1997, no 59(2), s. 285-298

THE IMPACT OF PRICES OF ENERGY SOURCES ON THE ELECTRICITY SPOT PRICE ON SELECTED POWER MARKETS IN EUROPE

Summary: The aim of the analysis is to identify the impact of individual prices of energy sources on electricity prices and to examine whether this impact is connected with using different energy sources in electricity production. The study was conducted with the use of Granger causality on the monthly data from the period July 2005 – June 2012 applying Toda-Yamamoto approach. The analysis indicated that the prices of energy influence electricity prices on the markets analysed, except Italian and Swedish markets. The analysis revealed that the impact of prices of energy on electricity prices depends on energy sources used in electricity production.

Keywords: electricity prices, energy sources prices, Toda-Yamamoto method.