

# Modelowanie i prognozowanie cen surowców energetycznych

Monika Papież  
Sławomir Śmiech

Wydawnictwo C.H.Beck 

# Modelowanie i prognozowanie cen surowców energetycznych

## Autorzy:

**Monika Papież** – wstęp\*, rozdziały: 2, 3.5, 4; 5, 7,  
zakończenie\*

**Sławomir Śmiech** – wstęp\*, rozdziały: 1, 3.1–3.4, 6, 8,  
zakończenie\*

\* współautorstwo

# Modelowanie i prognozowanie cen surowców energetycznych

Monika Papież  
Sławomir Śmiech



WYDAWNICTWO C.H.BECK  
WARSZAWA 2015

Wydawca: Dorota Ostrowska-Furmanek  
Redakcja merytoryczna: Danuta Kamińska-Hass  
Recenzenci: prof. dr hab. Tadeusz Kufel,  
dr hab. Mateusz Pipień, prof. UEK w Krakowie  
Projekt okładki i stron tytułowych: Maryna Wiśniewska  
Ilustracja na okładce: © Mark Evans/iStockphoto.com

Seria: Metody ilościowe

Złożono programem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$


Publikacja dofinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki  
grant nr 2011/03/B/HS4/01134 pt. „Modelowanie i prognozowanie cen surowców  
energetycznych w kontekście bezpieczeństwa energetycznego Polski i Europy”



© Wydawnictwo C.H.Beck 2015

Wydawnictwo C.H.Beck Sp. z o.o.  
ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa

Skład i łamanie: Wydawnictwo C.H.Beck  
Druk i oprawa: Totem, Inowrocław

ISBN 978-83-255-7668-4  
 e-book 978-83-255-7669-1

# Spis treści

|   |    |
|---|----|
| <b>Wstęp</b> ( <i>M. Papież, S. Śmiech</i> ) . . . . .  | 9  |
| <b>Rozdział 1. Ekonomiczne teorie wyceny surowców energetycznych</b> ( <i>S. Śmiech</i> )   | 21 |
| 1.1. Wprowadzenie . . . . .   | 21 |
| 1.2. Reguła Hotellinga . . . . .  | 22 |
| 1.3. Premia za zapasy . . . . .   | 25 |
| 1.4. Równowaga pomiędzy cenami spot i futures . . . . .   | 27 |
| <b>Rozdział 2. Geopolityczne i ekonomiczne podstawy funkcjonowania rynku surowców energetycznych</b> ( <i>M. Papież</i> ) . . . . .   | 29 |
| 2.1. Uwagi wstępne . . . . .  | 29 |
| 2.2. Podaż energii pierwotnej . . . . .   | 31 |
| 2.3. Rynek ropy naftowej . . . . .  | 34 |
| 2.3.1. Rezerwy i zasoby ropy naftowej . . . . .   | 34 |
| 2.3.2. Wydobycie ropy naftowej . . . . .  | 35 |
| 2.3.3. Handel ropą naftową . . . . .  | 36 |
| 2.3.4. Ceny ropy naftowej . . . . .   | 38 |
| 2.4. Rynek gazu ziemnego . . . . .  | 39 |
| 2.4.1. Rezerwy i zasoby gazu ziemnego . . . . .   | 39 |
| 2.4.2. Wydobycie gazu ziemnego . . . . .  | 40 |
| 2.4.3. Handel gazem ziemnym . . . . .   | 41 |
| 2.4.4. Ceny gazu ziemnego . . . . .   | 43 |
| 2.5. Rynek węgla energetycznego . . . . .   | 46 |
| 2.5.1. Rezerwy i zasoby węgla energetycznego . . . . .  | 46 |
| 2.5.2. Produkcja węgla energetycznego . . . . .   | 47 |
| 2.5.3. Handel węglem energetycznym . . . . .  | 48 |
| 2.5.4. Ceny węgla energetycznego . . . . .  | 51 |
| <b>Rozdział 3. Relacje pomiędzy cenami głównych surowców energetycznych</b> ( <i>M. Papież – 3.5, S. Śmiech – 3.1–3.4</i> ) . . . . . | 53 |
| 3.1. Wprowadzenie . . . . .   | 53 |
| 3.2. Przegląd literatury przedmiotu . . . . .   | 54 |
| 3.2.1. Rynek ropy naftowej . . . . .  | 54 |
| 3.2.2. Rynek węgla energetycznego . . . . .   | 56 |
| 3.2.3. Rynek gazu ziemnego . . . . .  | 57 |
| 3.2.4. Powiązania rynków ropy naftowej, węgla energetycznego i gazu ziemnego . . . . .  | 59 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3. Przyczynowość w średniej i w wariancji dla światowych cen węgla energetycznego . . . . .  | 62  |
| 3.3.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 62  |
| 3.3.2. Test Honga w ocenie zależności przyczynowych w sensie Grangera . . . . .  | 62  |
| 3.3.3. Ocena zależności przyczynowych w średniej i w wariancji dla cen węgla . . . . .   | 64  |
| 3.4. Integracja międzynarodowego rynku węgla i ocena ról poszczególnych cen węgla energetycznego . . . . .                                     | 72  |
| 3.4.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 72  |
| 3.4.2. Określenie liczby wspólnych trendów stochastycznych. Test słabej egzogeniczności . . . . .  | 73  |
| 3.4.3. Ocena siły integracji międzynarodowego rynku węgla energetycznego i ról poszczególnych jego uczestników . . . . .                       | 75  |
| 3.5. Długookresowe i krótkookresowe relacje pomiędzy cenami surowców energetycznych na rynku europejskim . . . . .                             | 83  |
| 3.5.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 83  |
| 3.5.2. Ocena długookresowej i krótkookresowej zależności pomiędzy cenami surowców energetycznych na rynku europejskim . . . . .                | 84  |
| <b>Rozdział 4. Relacje pomiędzy cenami surowców energetycznych a sferami realną i finansową gospodarki (M. Papież)</b> . . . . .               | 89  |
| 4.1. Wprowadzenie i przegląd literatury . . . . .  | 89  |
| 4.2. Wpływ gospodarki strefy euro na światowe ceny surowców energetycznych . . . . .   | 92  |
| 4.2.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 92  |
| 4.2.2. Strukturalny model wektorowej autoregresji . . . . .  | 93  |
| 4.2.3. Ocena wpływu sfery realnej i sfery finansowej gospodarki strefy euro na światowe ceny surowców . . . . .                                | 95  |
| Analiza strukturalna odpowiedzi impulsowej . . . . .   | 97  |
| Dekompozycja wariancji błędu prognozy . . . . .  | 103 |
| 4.3. Zależności przyczynowe pomiędzy cenami surowców energetycznych a sferą finansową strefy euro . . . . .                                    | 105 |
| 4.3.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 105 |
| 4.3.2. Procedura Toda–Yamamoto w ocenie zależności przyczynowych . . . . .   | 105 |
| Schemat rolowany . . . . .   | 108 |
| 4.3.3. Ocena zależności przyczynowych pomiędzy cenami surowców energetycznych na rynku europejskim, kursem EUR/USD oraz indeksem DAX . . . . . | 108 |
| <b>Rozdział 5. Założenia do budowy i oceny krótkookresowych prognoz cen ropy naftowej (M. Papież)</b> . . . . .                                | 114 |
| 5.1. Uwagi wstępne . . . . .   | 114 |
| 5.2. Zmienna prognozowana . . . . .  | 115 |
| 5.3. Rolowany i rekursywny schemat prognozowania . . . . .   | 116 |
| 5.4. Metody oceny trafności prognoz . . . . .  | 119 |
| 5.4.1. Mierniki trafności prognoz ex post . . . . .  | 119 |
| 5.4.2. Test Diebolda–Mariano . . . . .   | 123 |
| 5.4.3. Test Clarka–Westa . . . . .   | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Rozdział 6. Prognozowanie ceny ropy naftowej za pomocą<br/>jednowymiarowych modeli szeregów czasowych (S. Śmiech)</b>   | 127 |
| 6.1. Wprowadzenie  | 127 |
| 6.2. Przegląd modeli prognostycznych   | 129 |
| 6.2.1. Modele ARIMA  | 129 |
| 6.2.2. Modele wyrównywania wykładniczego   | 130 |
| 6.2.3. Autoregresyjne sztuczne sieci neuronowe   | 132 |
| 6.2.4. Autoregresyjne modele progowe   | 133 |
| 6.3. Ocena trafności prognoz ceny ropy naftowej otrzymanych na podstawie<br>jednowymiarowych modeli szeregów czasowych     | 134 |
| 6.3.1. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym   | 134 |
| 6.3.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym   | 137 |
| <b>Rozdział 7. Prognozowanie ceny ropy naftowej na podstawie<br/>wielowymiarowych modeli ekonometrycznych (M. Papiież)</b> | 140 |
| 7.1. Uwagi wstępne   | 140 |
| 7.2. Przegląd literatury przedmiotu  | 141 |
| 7.3. Charakterystyka zmiennych wykorzystanych w prognozowaniu ceny ropy<br>naftowej  | 144 |
| 7.3.1. Zmienne makroekonomiczne opisujące realną sferę gospodarki  | 145 |
| 7.3.2. Zmienne opisujące finansową sferę gospodarki  | 149 |
| 7.3.3. Ceny surowców energetycznych  | 152 |
| 7.4. Modele ekonometryczne wykorzystane do prognozowania ceny ropy<br>naftowej   | 153 |
| 7.4.1. Autoregresyjny model z rozkładem opóźnień $ARDL(p, q)$  | 153 |
| 7.4.2. Model wektorowej autoregresji $VAR(p)$  | 154 |
| 7.4.3. Modele wzorcowe w ocenie zdolności predykcyjnej   | 155 |
| 7.5. Ocena trafności prognoz ceny ropy naftowej wygenerowanych przez<br>modele $ARDL$                                      | 156 |
| 7.5.1. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym   | 159 |
| 7.5.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym   | 162 |
| 7.6. Ocena trafności prognoz ceny ropy naftowej dla modeli $VAR$   | 166 |
| 7.6.1. Dobór zmiennych w modelach $VAR$  | 166 |
| 7.6.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym   | 168 |
| 7.6.3. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym   | 172 |
| 7.7. Uwagi końcowe   | 174 |
| <b>Rozdział 8. Prognozowanie ceny ropy naftowej metodami dla licznych<br/>zbiorów regresorów (S. Śmiech)</b>               | 177 |
| 8.1. Wprowadzenie  | 177 |
| 8.2. Ocena trafności prognoz ceny ropy naftowej otrzymanych za pomocą<br>dynamicznych modeli czynnikowych                  | 179 |
| 8.2.1. Dynamiczny model czynnikowy   | 179 |
| 8.2.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym   | 180 |
| 8.2.3. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym   | 181 |
| 8.3. Wyniki modeli $VAR$ budowanych dla różnych podzbiorów regresorów  | 182 |
| 8.3.1. Wprowadzenie  | 182 |
| 8.3.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym   | 184 |
| 8.3.3. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym   | 188 |



|   |     |
|---|-----|
| 8.3.4. Porównanie rozkładów błędów prognoz dla schematu rolowanego i rekursywnego . . . . . | 191 |
| 8.3.5. Analiza prognoz i błędów prognoz dla najlepszych specyfikacji modeli . . . . .       | 193 |
| 8.3.6. Najlepsze predyktory dla ceny ropy Brent w różnych okresach weryfikacji . . . . .    | 195 |
| 8.4. Prognozy łączone . . . . .   | 200 |
| 8.4.1. Wprowadzenie . . . . .   | 200 |
| 8.4.2. Ocena trafności prognoz w schemacie rolowanym . . . . .                              | 202 |
| 8.4.3. Ocena trafności prognoz w schemacie rekursywnym . . . . .                            | 204 |
| 8.5. Podsumowanie . . . . .   | 207 |
| <b>Zakończenie</b> ( <i>M. Papież, S. Śmiech</i> ) . . . . .                                | 209 |
| <b>Bibliografia</b> . . . . .   | 213 |
| <b>Indeks rzeczowy</b> . . . . .  | 227 |

## Wstęp

Bezpieczeństwo energetyczne rozumiane jest przez Międzynarodową Agencję Energii (*International Energy Agency*, IEA) jako możliwość „ciągłych fizycznych dostaw energii po akceptowalnych cenach, z uwzględnieniem troski o środowisko naturalne”. Podobna definicja bezpieczeństwa energetycznego jest podana w prawie energetycznym [Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10.04.1997 r. wraz z późniejszymi zmianami] i brzmi: „Bezpieczeństwo energetyczne jest to stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. Oznacza to, że pojęcie bezpieczeństwa energetycznego obejmuje trzy główne aspekty: energetyczny, ekonomiczny i ekologiczny. Bezpieczeństwo ekonomiczne można rozumieć jako gwarancję, że ceny energii nie będą tworzyły bariery dla rozwoju gospodarczego i nie będą prowadziły do ubóstwa energetycznego. Stąd bezpieczeństwo energetyczne, a w konsekwencji także rozwój każdego kraju, zależą od możliwości dostarczenia wystarczającej ilości energii po akceptowalnych cenach. A samo bezpieczeństwo energetyczne jest jednym z kluczowych problemów współczesnego świata. Ma to związek zarówno ze zjawiskiem wyczerpywania się zasobów tradycyjnych surowców energetycznych oraz zmianami polityczno-gospodarczymi na arenie światowej, jak i ze zmianami światopoglądowymi czy coraz większą popularnością koncepcji rozwoju zrównoważonego.

W całkowitym światowym zapotrzebowaniu na energię pierwotną dominują paliwa pierwotne, czyli ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel energetyczny (ich udział w 2012 roku wynosił około 81% całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną) i według prognoz Międzynarodowej Agencji Energii [IEA, 2014a] taki udział powinien utrzymać się na podobnym poziomie przez kolejnych kilkadziesiąt lat. Dlatego też tak istotne znaczenie mają odpowiedzi na następujące pytania dotyczące funkcjonowania rynku surowców energetycznych:

- Czy rynek danego surowca energetycznego ma charakter regionalny, czy globalny (czy funkcjonuje prawo jednej ceny)?
- Czy można ustalić rolę poszczególnych cen, tj. wskazać ceny wiodące (*price setters*) i naśladowujące (*price takers*)?
- Jakie są relacje pomiędzy cenami surowców energetycznych a sferą realną i sferą finansową gospodarki?
- Czy można skutecznie prognozować ceny surowców energetycznych?