



Modelowanie ryzyka rynkowego kopalni węgla kamiennego na podstawie zmienności cen węgla i energii

Modeling of market risk for hard coal mines on the basis of the variability of coal and energy prices

Mgr inż. Zbigniew Krysa^{*)}

Treść: W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji ryzyka rynkowego kopalni węgla kamiennego. Wprowadzono pojęcie *spreadu* wewnętrznego, czyli różnicy między przychodem z tytułu sprzedaży węgla a kosztem zakupu energii jako parametru, którego zmienność jest miarą ryzyka rynkowego kopalni. *Spread* wewnętrzny można wyznaczać z pewnym wyprzedzeniem dla różnych okresów dostaw. Na podstawie danych z niemieckiego rynku energii wykazano, że analizę, modelowanie i obliczanie parametrów opisujących ryzyko kopalni można przeprowadzić z większą dokładnością za pomocą funkcji kopuły łączącej nieliniowe powiązania między rozkładami cen energii i węgla, niż za pomocą symulowania cen każdego kontraktu niezależnie.

Abstract: This paper presents an example of the results of coal mine market risk simulation. The concept introduces the definition of an intrinsic spread which is a difference between the income from sales of coal and the cost of buying energy on the market. The intrinsic spread can be determined for different delivery periods. According to the data from the European Energy Exchange (EEX) it has been shown that market risk modeling and calculation is more suitable to historical data when it has been done using copula function, than by independent modeling of each contract.

Słowa kluczowe:

ryzyko rynkowe, kopalnia węgla, dark spread, spread wewnętrzny, funkcja kopuły

Key words:

market risk, coal mine, dark spread, intrinsic spread, copula function

1. Wprowadzenie

Ryzyko rynkowe definiowane jest m.in. jako ryzyko zmian cen towarów [2]. W obszarze górnictwa ryzyko rynkowe i wpływ ryzyka na opłacalność projektów górniczych opisywana było m.in. w pracach [3, 4, 7]. Giełda towarowa jest miejscem, w którym popyt i podaż bezpośrednio przekładają się na cenę towarów, dlatego wycena giełdowa jest tą, która najbardziej odpowiada rzeczywistej i aktualnej wartości towarów. Dwa towary podlegające wycenie giełdowej mają wpływ na ryzyko rynkowe kopalni węgla kamiennego: od strony przychodu cena węgla i od strony kosztu cena energii elektrycznej.

Dla producentów energii w latach 90. wprowadzono wskaźniki opłacalności produkcji energii z różnych źródeł. Są to tzw. *spready* i pokazują z określonym wyprzedzeniem marżę na produkcji energii [5]. Oblicza się je dla poszczególnych rynków energii niezależnie, ponieważ rynek energii elektrycznej i wycena energii ograniczone są terytorialnie najczęściej do jednego państwa bądź kilku państw sąsiadujących. Dwa podstawowe *spready* to *spark spread* dla produkcji energii z gazu i *dark spread* dla produkcji energii z węgla. Ze względu na dominujący udział węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej w Polsce *dark spread* mógłby być użytecznym

wskaźnikiem opłacalności produkcji energii. *Spready* wyznacza się na podstawie aktualnych notowań kontraktów terminowych z wybranym terminem dostaw. Przykładowo *dark spread* 2 miesiące wprzód oznacza marżę jaką można osiągnąć na produkcji energii według kontraktów terminowych dla energii i węgla z dostawą realizowaną za dwa miesiące. Wzór na *dark spread* jest następujący

$$DS_t = C_{E,t} - \frac{C_{W,t}}{S_E} \quad \text{PLN/MWh} \quad (1)$$

gdzie:

DS – wartość *dark spread*,

C_E, C_W – cena energii elektrycznej i węgla kamiennego,

S_E – sprawność elektrowni węglowej.

Ryzyko na rynku węgla i energii może być minimalizowane za pomocą szerokiego wachlarza instrumentów finansowych w ramach strategii zabezpieczającej zdefiniowanej przez operatora elektrowni. Instrumentami służącymi zabezpieczeniu przepływów pieniężnych elektrowni tworzącymi *spread* i notowanymi na giełdach są kontrakty *futures*.

2. Spread wewnętrzny kopalni

Analogicznie do *spreadów* energetycznych pokazujących przeciętną rynkową marżę z produkcji energii można skonstru-

^{*)} Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa

ować *spready* wewnętrzne dla wielu typów przedsiębiorstw. Złożone one będą z dwóch elementów: wydatku związanego z zakupem surowców do produkcji na wejściu i strumienia gotówki na wyjściu związanego ze sprzedażą produktu końcowego. Jeśli oba strumienie dotyczą dóbr wycenianych na giełdach towarowych, wówczas na bazie kontraktów terminowych można łatwo skonstruować przyszły *spread*, a stosując strategię zabezpieczającą dla *spreadu* można zmniejszyć ryzyko rynkowe przedsiębiorstwa. Dla kopalni można zdefiniować *spread* wewnętrzny jako różnicę między ceną węgla a ceną energii [6]. *Spread* wewnętrzny nie jest naturalnym, intuicyjnym wskaźnikiem ekonomicznym, ponieważ jego wartość nie pokazuje wprost bieżącej lub przyszłej sytuacji przedsiębiorstwa, ponieważ nie uwzględnia wszystkich kosztów funkcjonowania kopalni. Jest to miara, której wartość zależy od rynkowej wyceny węgla i energii elektrycznej, więc na jej podstawie można dokładniej oszacować ryzyko rynkowe kopalni. *Spread* wewnętrzny kopalni (*IS* – *intrinsic spread*) można wyznaczyć wzorem

$$IS_t = C_{W,t}Q_{W,t} - C_{E,t}Q_{E,t} \text{ [PLN/MWh]} \quad (3)$$

Q_W , Q_E – ilość węgla i energii sprzedana/kupiona w danym okresie.

Między zmianami hurtowych cen energii i węgla istnieją zależności, które powodują, że osobne obliczanie ryzyka zmian cen energii i węgla nie jest uzasadnione, gdy rozpatrywane jest łączne ryzyko rynkowe kopalni. Wpływ zmian cen energii na wysokość *IS* jest relatywnie niewielki w porównaniu do zmian cen węgla, ponieważ ograniczony jest do wysokości udziału kosztów energii w koszcie całkowitym kopalni.

3. Dane wejściowe do obliczenia ryzyka rynkowego kopalni węgla

Analizę ryzyka z wykorzystaniem *spreadu* wewnętrznego oparto na danych o cenach energii i węgla notowanych na niemieckiej giełdzie EEX. Portfel kopalni może być złożony z różnych instrumentów finansowych służących zabezpieczeniu wartości *spreadu*. Założono, że kopalnia będzie miała pełne zabezpieczenie wartości swojej sprzedaży i kosztów energii w przyszłości, czyli będzie posiadała kontrakty *futures* na całość zużycia energii i sprzeda *futures* na całość wydobycia węgla w danym okresie. Na giełdzie EEX notowanych jest wiele instrumentów mogących służyć zabezpieczeniu cen energii i węgla w przeszłości.

Wycena kontraktu *futures* na węgiel kamienny oparta jest na notowaniach indeksu API2 publikowanego w Argus/McCloskey Coal Price Index Report, gdzie podawane są ceny węgla w odniesieniu do ceny CIF w portach Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia. Kontrakty te mogą mieć różne okresy dostaw – przedstawione w tabeli 1 zostały kontrakty o okresie dostaw od miesiąca do roku. Ceny węgla notowane są w dolarach amerykańskich.

Dla cen energii zabezpieczenie kopalni może być oparte na kontraktach typu *base*, gdzie dostawa jest realizowana przez całą dobę. Kontrakt *futures* na energię odnosi się do okresu dostawy od tygodnia do roku. Wybierając jednokrotny okres dostawy energii i sprzedaży węgla kopalnia może z wyprzedzeniem zabezpieczyć poziom swojego *spreadu* wewnętrznego.

Kontrakty *futures* wyceniane są w każdy dzień roboczy, więc roczna zmienność wartości portfela w ciągu roku została obliczona za pomocą wzoru

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R})^2} \cdot \sqrt{n} \quad (4)$$

gdzie:

- n – liczba dni handlowych w roku. W przypadku gdy dane będą uśredniane w przedziałach czasu n oznaczać będzie ilość okresów w roku, dla których wyliczono średnie. Dla średnich miesięcznych $n=12$.
- R – zysk/strata z posiadania danego instrumentu, czyli różnica pomiędzy kolejnymi notowaniami danego instrumentu.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wartości kontraktów typu *month* dla analizowanego okresu, według notowań dziennych dla węgla i energii. Cenę węgla przeliczono na euro i podano w jednostkach energii, przy założeniu, że węgiel charakteryzuje się wartością opałową 25,12 GJ/Mg. Na wykresie cen węgla nie opisywano wartości poszczególnych kontraktów, ponieważ są one zbliżone do siebie. Natomiast na rynku energii wyraźnie zaznacza się nieciągły charakter cen w przypadku zmiany notowań poszczególnych kontraktów. Zmiana kontraktu będącego podstawą dostawy na dany miesiąc następuje dla kontraktów typu *month* na przełomie każdego miesiąca. Energia elektryczna jest towarem, którego nie można przechowywać, więc w kolejnych okresach dostaw zmiany popytu i podaży mają swoje odzwierciedlenie w skokach cen (rys. 2).

Ryzyko rynkowe kopalni rozumiane jest dalej jako zmienność *spreadu* wewnętrznego obliczanego na podstawie uśrednionych wartości miesięcznych cen energii i węgla. Założono kopalnię o rocznym wydobyciu $Q = 2,4$ mln Mg

Tablica 1. Kontrakty futures będące podstawą zabezpieczenia spreadu wewnętrznego kopalni węgla kamiennego notowane na giełdzie EEX

Table 1. Futures contracts as a basis for intrinsic spread security of hard coal mines listed on the European Energy Exchange (EEX)

Kontrakt	Kod giełdowy	Aktywa bazowe	Wielkość kontraktu [Mg]	Okres dostawy
ARA Month Future	FT2M	indeks API 2	1000	bieżący miesiąc i 6 kolejnych
ARA Quarter Future	FT2Q		3000	do 7 następnych kwartałów
ARA Year Future	FT2Y		12000	do 6 następnych lat
Phelix Base Month Future	F1BM	średnia cen transakcji godzinowych z całej doby	ilość dni w okresie dostawy x 24 MWh	bieżący miesiąc i 9 kolejnych
Phelix Base Quarter Future	F1BQ			do 11 następnych kwartałów
Phelix Base Year Future	F1BY			do 6 następnych lat



Rys. 1. Ceny węgla w kontrakcie *futures* FT2M w dostawie na kolejne 6 miesięcy
(Źródło: opracowanie własne na podst.: EEX)

Fig. 1. Futures coal prices (FT2M) in delivery for the next six months (own elaboration on the basis of EEX)



Rys. 2. Ceny energii w kontraktach F1BM w dostawie na kolejne 6 miesięcy
(Źródło: opracowanie własne na podst.: EEX)

Fig. 2. Futures energy prices (F1BM) in delivery for the next six months (own elaboration on the basis of EEX)

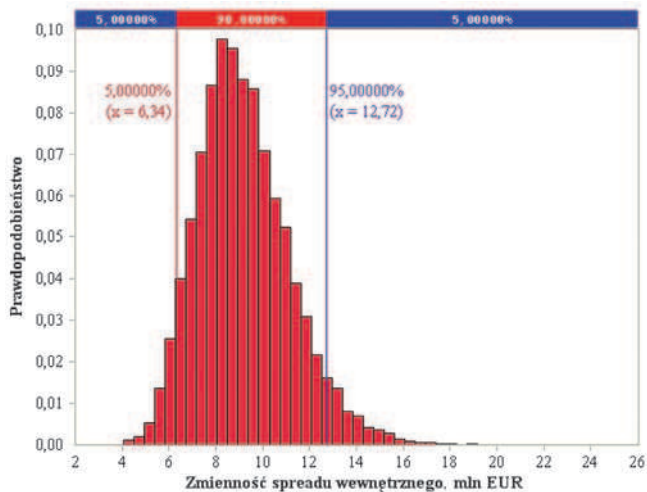
węgla i energochłonności wydobycia na poziomie 70 kWh/Mg, co jest wartością zbliżoną do średniej energochłonności polskich kopalń węgla kamiennego [1]. Zabezpieczenie *spreadu* wewnętrznego takiej kopalni na podstawie kontraktów typu *month* oznacza, że kopalnia musi sprzedać miesięczne 200 kontraktów na węgiel (każdy kontrakt to 1000 Mg węgla) i musi kupić 20 kontraktów na energię (kontrakt na energię to dostawa 24 MWh energii dziennie lub przeciętnie 720 MWh miesięcznie). W latach 2010÷2011 zmienność *spreadu* wewnętrznego dla tak określonej kopalni wyniosła 18,17 mln EUR. Wartość ta zostanie porównana z wartością *spreadu* wyznaczoną na podstawie modelu symulacyjnego.

4. Modelowanie ryzyka rynkowego kopalni węgla kamiennego

Ryzyko związane ze zmiennością *spreadu* można obliczać dla dowolnych okresów, w których są notowane *futures* (rys.

3). W artykule ograniczono modelowanie tylko dla kontraktów typu *month*. Przeprowadzono je na dwa sposoby. Pierwszy polegał na zastosowaniu wybranych modeli ekonometrycznych szeregów czasowych dla cen energii i węgla. Na podstawie cen z okresów poprzedzających okres prognozy generowano na podstawie modelu dopasowanego według kryterium pojemności informacji ceny dla okresu prognozy i na tej bazie obliczano ryzyko portfela. Drugi sposób polegał na zastosowaniu w modelowaniu kopuły, czyli funkcji łączącej rozkłady brzegowe cen w rozkład wielowymiarowy wykorzystującej nieliniowe zależności między nimi.

Dostępne dane podzielone zostały na dwie części. Pierwszy okres, dla którego kalibrowano modele procesów cenowych obejmował ceny energii i węgla z przedziału 05.2006÷12.2009. Ceny symulowane były dla drugiego okresu (01.2010÷08.2011) modelem APARCH (1,1), czyli asymetrycznym potęgowym modelem ARCH [8], ponieważ wykazał najlepsze dopasowanie do danych historycznych według wskazań kryterium pojemności informacji Schwartz, Akaike i Hannana-Quinna.



Rys. 3. Histogram symulacji zmienności *spreadu* wewnętrznego kopalni w oparciu o kontrakty *futures month* – ceny symulowane niezależnie.

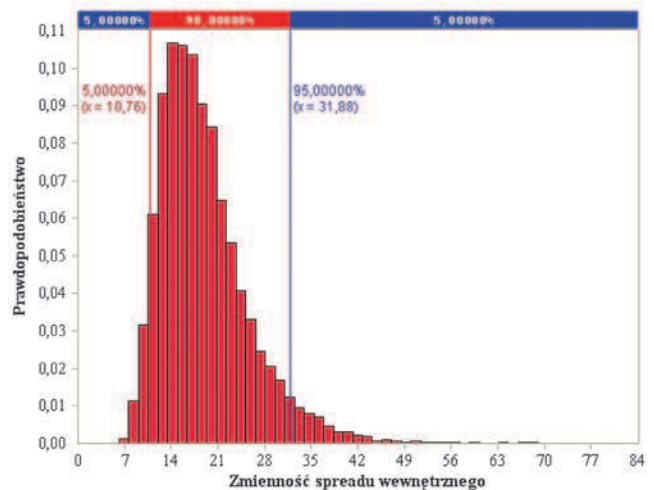
Fig. 3. Intrinsic spread simulation results based on month futures – prices simulated independently

Wykonano 10 000 symulacji w programie ModelRisk. Wartość średnia zmienności *spreadu* wyniosła 9,20 mln EUR stanowiła więc połowę wartości *spreadu* wyznaczonego na podstawie danych historycznych. Mimo dobrania najlepszego modelu do każdego procesu cenowego osobno, nieuwzględnienie zależności między kształtowaniem się cen dla różnych kontraktów spowodowało, że ten sposób wyznaczania ryzyka kopalni jest niepoprawny.

W drugim podejściu modelowanie wartości *spreadu* przeprowadzono za pomocą funkcji kopuły. Dla kontraktów miesięcznych na energię i węgiel dopasowano dystrybuanty rozkładów stóp zwrotu do danych historycznych. Dla cen energii najlepsze dopasowanie wykazywał rozkład normalny, natomiast dla cen węgla rozkład normalny ze zwiększoną wartością kurtozy. Najlepiej dopasowaną kopułą do symulowania zależności między stopami zwrotu cen węgla i energii była kopuła Gumbela. Następnie bazując na symulacji wartości kopuły i rozkładu empirycznego stóp zwrotu cen wygenerowano ścieżki stóp zwrotu i ceny dla każdego kontraktu, co pozwoliło określić zmienność *spreadu* wewnętrznego. Średnia wartość *spreadu* otrzymana przy użyciu symulacji za pomocą kopuły wyniosła 18,98 mln EUR i różniła się tylko o 0,81 mln EUR od wartości historycznej. Na potrzeby prognozy zmienności kopuły są lepszymi narzędziami, ponieważ uwzględnione zostały korelacje bądź zależności między elementami tworzącymi *spread*.

5. Podsumowanie

Ryzyko rynkowe kopalni węgla kamiennego może być analizowane w oparciu o zmiany *spreadu* wewnętrznego



Rys. 4. Wyniki symulacji zmienności *spreadu* wewnętrznego kopalni w oparciu o kontrakty typu *futures month* – ceny symulowane za pomocą kopuły.

Fig. 4. Intrinsic spread simulation results based on month futures – prices simulated by use of copula function

kopalni. *Spread* można tworzyć dla dowolnych okresów, dla których notowane są odpowiednie instrumenty pokazujące przyszłe ceny energii i węgla. Dla prawidłowego oszacowania ryzyka związanego z przyszłym *spreadem* oraz ze sposobem jego zabezpieczania na rynku terminowym niezbędne jest zbudowanie modelu pozwalającego szacować ryzyko na bazie danych historycznych. Pokazano, że symulowanie zmienności na podstawie niezależnych modeli cenowych nie daje wyników zbliżonych do rzeczywistych. Natomiast zastosowanie kopuły pozwoliło w analizowanym okresie zbliżyć się w ocenie ryzyka do historycznych wyników.

Literatura

1. Gatnar K.: Zarządzanie energią - rozwiązania Jastrzębskiej Spółki Węglowej. 2013, Materiały XXVII Konferencji z cyklu Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Zakopane
2. Jajuga K. red.: Zarządzanie ryzykiem. 2007, Wyd. PWN.
3. Jurdziaik L., Wiktorowicz J.: Prognozowanie poziomu ryzyka finansowego dla układu kopalni węgla brunatnego i elektrowni. *Polityka Energetyczna*, 2009, t. 12, s. 205-216.
4. Jurdziaik L., Wiktorowicz J.: Wykorzystanie symulacji do oceny ryzyka niepowodzenia przedsięwzięć górniczych. *Przeгляд Górnicy* 2009, t. 65, s. 40-46.
5. Krysa Z.: Obliczanie i kształtowanie się spreadów na rynkach energii. *Polityka Energetyczna* 2010 t. s. , Kraków,
6. Krysa Z.: Zabezpieczenie kopalni węgla kamiennego przed ryzykiem rynkowym przy użyciu kontraktów *futures*. *Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii*. 2014, t. 5, s. 87-94.
7. Wirth H.: Wieloczynnikowa wycena złóż i ich zasobów na przykładzie przemysłu metali nieżelaznych. 2011. Wyd. IGSMiE, Kraków.
8. Vose D.: Risk analysis. A quantitative guide. 2010, John Wiley & Sons, Ltd.