

Piotr SAŁUGA\*, Zbigniew GRUDZIŃSKI\*

## Określenie historycznej zmienności cen i premii z tytułu składowania (*convenience yield*) dla węgla kamiennego energetycznego

**STRESZCZENIE.** Jednym z najważniejszych parametrów analizy technicznej instrumentów na rynkach finansowych i towarowych oraz podstawowym wskaźnikiem interesującym inwestorów jest zmienność cen. W branży surowców mineralnych oprócz zmienności cen istotne znaczenie ma tzw. premia z tytułu składowania (*convenience yield*, CY), która jest ważnym parametrem modelu wartości zaktualizowanej racjonalnej wyceny towarów PVM. Obydwa parametry są kluczowymi zmiennymi wykorzystywanymi w procesie prognozy cen surowców oraz w modelach wyceny opcji rzeczowych. Niniejszy referat przedstawia próbę oszacowania historycznej zmienności cen i premii z tytułu składowania dla węgla energetycznego na podstawie danych z okresów 2000–2009 oraz 2007–2009.

**SŁOWA KLUCZOWE:** rynki terminowe surowców, węgiel kamienny, ceny węgla, zmienność cen węgla, *convenience yield*

### Wprowadzenie

Informacje o cenach węgla energetycznego występujące w literaturze fachowej pochodzą zazwyczaj z następujących źródeł:

---

\* Dr inż. — Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;  
e-mail: psaluga@min-pan.krakow.pl

- ✧ danych dotyczących cen kontraktowych odnoszących się do kontraktów *forward* zawieranych pomiędzy określonymi dostawcami i kupującymi przy określonych warunkach kontraktu (ilość, jakość, kurs walut itp.); bieżąca dostępność do takich informacji jest bardzo utrudniona ze względu na ich poufność, gdyż obie strony kontraktu chronią tajemnicę handlową;
- ✧ danych pochodzących od służb celnych (ceny wyliczane z całkowitej ilości węgla w obrocie i wartości transakcji) — są to wielkości średnie dla węgla o różnej jakości, bez uwzględnienia specyfiki warunków kontraktów i rodzaju nabywcy (użytkownika węgla); takie ceny najczęściej odnoszone są do paliwa umownego (tce lub toe);
- ✧ danych obejmujących średnie ceny transakcji na warunkach *spot* (tzw. transakcje natychmiastowe) lub ceny ofertowe w powiązaniu z określonym transportem (transakcje jednorazowe) — ceny te najlepiej odzwierciedlają bieżące warunki rynkowe dla transakcji krótkoterminowych — takie informacje są najbardziej dostępne, gdyż poziom agregacji i stopień uśrednienia danych pozwalają na zachowanie poufności co to źródeł informacji; publikowane są w czasopismach specjalistycznych;
- ✧ wskaźników cen węgla energetycznego, określanych przez różne grupy eksperckie.

Bardzo szybki rozwój elektronicznego handlu węglem, jaki obserwuje się w ostatnich latach, wpłynął na rozwój wskaźników cenowych. Indeksy cen odnoszą się do cen węgla na rynku *spot* węgla o wystandaryzowanych parametrach. Za taki wzorzec jakościowy uważa się najczęściej węgiel o kaloryczności około 25 MJ/kg (6000 kcal/kg w stanie roboczym) i zawartości siarki poniżej 1%.

Transakcje *spot* w większości już nie są zawierane bezpośrednio przez producentów i konsumentów – prowadzą je wyspecjalizowane platformy handlowe, rynki towarowe oraz współpracujący z nimi brokerzy (Lorenz 2006, 2008, Grudziński, Lorenz i inni 2008). Średnie ceny z tych transakcji są także podstawą przy określaniu cen w kontraktach dwustronnych; są pomocne przy wyznaczaniu ścieżek cenowych czy określaniu prognoz cen węgla.

Przyszłe ścieżki cen mogą być otrzymywane w wyniku modelowania podstawowych parametrów rynku węgla energetycznego: podaży, popytu i zapasów. Niestety, większość instytucji wykorzystuje analizy strukturalne wyłącznie jako informację pomocniczą, dokonując prognoz cen zwykle na podstawie:

- 1) hipotezy, że przyszłe *ceny są trudne do przewidzenia* – ich zmiany następują zgodnie z ruchem Browna (Saługa 2009); jedynym źródłem informacji o ich przyszłym poziomie jest więc wyłącznie notowanie bieżące (proces Markowa);
- 2) założenia, że poziomy cen są w zasadzie przewidywalne, jednak warunkiem poprawnej prognozy jest odpowiednia obróbka dostępnych informacji.

Analitycy i uczestnicy rynków towarowych zwracają uwagę na wyjątkowe znaczenie dwóch parametrów: zmienności cen i premii (dochodu) z tytułu składowania<sup>1</sup> (*convenience*

<sup>1</sup> Termin „*convenience yield*” (niem.: *Vorteilszinsen*) można przetłumaczyć również jako „dochód przy okazji”; w literaturze polskiej nie było dotychczas dobrego tłumaczenia tego pojęcia (np. w pracy Wanielisty i in. (2002) występuje incydentalnie jako „stopa użyteczności”) – zaproponowane w niniejszej pracy być może również nie jest najodpowiedniejsze (dlatego w treści często występuje symbol CY), niemniej jednak, zdaniem autorów, oddaje sens tego wskaźnika.

*yield*, CY). Mają one fundamentalne znaczenie zarówno dla celów prognozowania cen jak i wyceny opcji rzeczowych (Davis 1998). Zmienność cen jest miarą ich skłonności do zmian. Jest ona podstawowym wskaźnikiem ryzyka. Dochód CY – z uwagi na fakt, że ceny *futures* są ważnym, czystym źródłem informacji dla przewidywania przyszłych cen surowców – pełni istotną rolę w procesach prognozowania; charakteryzuje go większy stopień przewidywalności niż wskaźnik zmienności cen; jak pisze Knetsch (2006), jest nie tylko konstrukcją teoretyczną lecz również „fenomenem potwierdzonym na drodze empirycznej”. Premia z tytułu składowania stanowi korektę kosztów przetrzymywania towaru (*cost of carry*) w formule określania cen *futures* na rynkach podlegającym określonym ograniczeniom. Określa się go również jako różnicę pomiędzy kosztami przetrzymywania a ceną *futures*.

Artykuł przedstawia określenie obu wskaźników: zmienności i CY na podstawie danych historycznych. Nie zajmowano się ich prognozą. Należy podkreślić, że autorom nie są znane żadne publikacje na temat szacowania przedmiotowych parametrów dla rynku węgla kamiennego.

Artykuł zorganizowany jest w następujący sposób: w punkcie pierwszym zdefiniowano zmienność i zaprezentowano metodę jej kalkulacji. W ustępie drugim i trzecim scharakteryzowano transakcje na rynku towarowym oraz przedstawiono relację pomiędzy cenami *spot* i *futures*, definicję oraz sposób kalkulacji premii z tytułu składowania. W paragrafie czwartym opisano dane wykorzystane do obliczeń, a w piątym otrzymane wyniki.

## 1. Zmienność cen węgla w transakcjach natychmiastowych

Zmienność instrumentu podstawowego odgrywa ważną rolę w modelach wyceny opcji; jest ona również ważnym elementem analizy technicznej. Pojęcie zmienności jako jednego z czynników od których zależy cena opcji zostało po raz pierwszy wprowadzone przez Mertona (1973).

Zmienność jest miarą stanu niestabilności, „rozchwiania” lub chaotyczności zmian cen; określana jako wariancja odchylenia od średniej danych okresu pomiarowego pokazuje jak duże są zmiany notowań instrumentu w wybranym okresie czasu.

Zmienność cen jest więc statystyczną miarą ryzyka definiowaną zwykle jako odchylenie standardowe ich zmian w przeciągu danego okresu przy założeniu kapitalizacji ciągłej.

Zmienność instrumentu uzależniona jest od następujących czynników:

- ✧ płynności, czyli średniej wielkości obrotu w określonym przedziale czasu (zmienność jest tym większa im mniejsza płynność),
- ✧ tzw. *free float* (ilości instrumentów w wolnym obrocie, które nie są w posiadaniu istotnych właścicieli – zmienność jest tym większa im mniejsza liczba tych instrumentów).

Zmienność może być wyznaczona na podstawie:

- 1) przeszłych zmian cen instrumentu (zmienność historyczna),
- 2) notowań opcji na aktywa (zmienność implikowana).

Zmienność historyczna (*historical volatility*) cen jest obliczana na podstawie ich notowań w przeszłości. W trakcie kalkulacji można wykorzystać zarówno dzienne kursy zamknięcia jak też dane tygodniowe, miesięczne, kwartalne lub roczne. Warunkami uzyskania interesujących rezultatów są:

- 1) możliwie długi okres notowań,
- 2) odpowiednia częstotliwość notowań.

Kalkulacja wskaźnika na podstawie przeszłych obserwacji pozwala mówić wyłącznie o zmienności już zrealizowanej. Należy mieć świadomość, że zmienność przyszła może znacznie się różnić od występującej w przeszłości, niemniej jednak szacowanie tej drugiej pozwala na wstępną orientację co do zakresu możliwych zmian.

Zmienność implikowana (*implied volatility*) kalkulowana jest na podstawie kursów opcji na aktywa będące przedmiotem zainteresowania. Zakłada się, że inwestorzy giełdowi dokonując własnej wyceny opcji (z zastosowaniem różnych poziomów zmienności aktywów bazowych) i przekazując zlecenia na giełdę, są źródłem informacji o faktycznej zmienności instrumentu podstawowego. Zmienność ta jest „wyciągana” (implikowana) z giełdowych notowań opcji – uważa się, że jest ona aktualną zmiennością instrumentu bazowego (Hull 1998). Wyznaczenie tej zmienności dla cen węgla energetycznego nie jest przedmiotem tego artykułu.

Jak wspomniano, zmienność historyczną cen oblicza się jako odchylenie standardowe ich wahań kursów w przeciągu danego okresu przy założeniu kapitalizacji ciągłej. Procedura kalkulacji z zastosowaniem sąsiednich (*close-to-close*) cen przedstawia się następująco:

- 1) obliczenie jednookresowych stóp zwrotu według formuły:

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (1)$$

gdzie:  $t = 1, 2, \dots, N$  – wskaźnik okresu (liczba obserwacji =  $N + 1$ ),  
 $P_t$  – cena surowca na końcu okresu;

- 2) obliczenie średniej z obserwacji:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N r_t \quad (2)$$

gdzie:  $N$  – liczba okresów;

- 3) obliczenie średniookresowego odchylenia standardowego, zgodnie z wzorem:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (r_t - \bar{r})^2} \cdot \sqrt{N} \quad (3)$$

## 2. Transakcje na rynku terminowym

Wydobytymi surowcami mineralnymi handluje się na rynkach towarowych. Pewne surowce składowane są w celach inwestycyjnych, inne dla celów ich konsumpcyjnego wykorzystania. Handel obejmuje zarówno dokonywanie transakcji natychmiastowych jak i terminowych. Kontrakty terminowe pozwalają stronom zabezpieczać się przed nieprzewidywanymi zmianami cen lub spekulować na tych zmianach. Na rynkach towarowych występują dwa typy inwestorów:

- 1) hedgerzy (*hedgers*) – pierwotni sprzedawcy lub końcowi użytkownicy surowca, którzy chcą zawczasu zagwarantować sobie przyszłą cenę;
- 2) spekulanci – osoby, które nie są zainteresowane zakupem fizycznego surowca lecz kontraktami papierowymi; biorąc na siebie ryzyko hedgerów widzą źródło zysku wyłącznie w zmienności cen.

Na rynku surowców występują następujące kategorie instrumentów pochodnych:

- 1) kontrakty typu *forward*,
- 2) kontrakty typu *futures*,
- 3) opcje.

Kontrakt *forward* to umowa kupna lub sprzedaży między dwoma instytucjami finansowymi lub instytucją finansową a klientem danych aktywów w określonym dniu w przyszłości, po ustalonej cenie. Jedna ze stron zajmuje pozycję długą, gdyż godzi się zakup określonego rodzaju aktywów, w określonym dniu w przyszłości, po danej cenie. Druga strona zajmuje pozycję krótką, ponieważ zobowiązuje się do sprzedaży aktywów po zdeterminowanej cenie, w ustalonym dniu w przyszłości. Są to kontrakty niestandardyzowane, na zamówienie (*tailor-made*), charakteryzujące się następującymi cechami (Pyka i in. 2001):

- ✧ strony kontraktu ustalają ilość towaru, jak i termin dostawy,
- ✧ termin dostawy jest konkretnym dniem,
- ✧ zwykle dochodzi do dostawy surowca/towaru będącego przedmiotem kontraktu lub końcowego rozliczenia gotówkowego,
- ✧ występuje głównie w obrocie pozagiełdowym (wyjątkiem jest giełda w Zurychu, która jako jedna z niewielu podaje notowania transakcji *forward*).

Z kolei kontrakt *futures* to umowa kupna lub sprzedaży określonych aktywów (w szczególności instrumentów finansowych, towarów lub surowców) w ustalonym momencie w przyszłości, po zdeterminowanej cenie. Kontrakty *futures*:

- ✧ są ściśle sformalizowane,
- ✧ obrót nimi odbywa się na zorganizowanych giełdach transakcji terminowych,
- ✧ są umowami standaryzowanymi, dla których ściśle określone są: ilość surowca/towaru oraz termin dostawy (charakterystyki określa giełda).

Wśród ich cech można wymienić następujące:

- ✧ nie występuje dostawa przedmiotu kontraktu, gdyż pozycja przyjęta w kontrakcie przez inwestora jest likwidowana przed terminem dostawy przez zajęcie pozycji odwrotnej,

- ✧ chętni do zawierania transakcji zobligowani są do zdeponowania u brokerów depozytu początkowego na tzw. zabezpieczającym rachunku depozytowym; depozyt może być wnoszony w formie gotówki lub krótkoterminowych papierów skarbowych i stanowi pewien procent ceny kontraktu.

### 3. Relacja pomiędzy cenami *spot* i *futures* – premia z tytułu składowania

Jeśli występuje handel surowcem na rynkach terminowych (*futures*) można dostarczyć opisu dynamiki cen. Różnica pomiędzy cenami w transakcjach natychmiastowych (*spot*) i terminowych (*futures/forward*) nazywany jest „podstawą” lub „bazą” (*basis*). Istnieją dwie teorie interpretujące bazę:

- 1) teoria deportu (*normal backwardation theory*),
- 2) teoria składowania (*theory of storage*).

Teoria deportu objaśnia bazę z punktu widzenia pozycji hedgingowych na rynkach terminowych, natomiast teoria składowania bazuje na podejściu arbitrażowym; w jej centrum leży koszt trzymywania fizycznego towaru.

Teoria składowania jest prostym narzędziem objaśniającym terminową strukturę cen – w przypadku występowania nadwyżki na składach, poziom deportu nie może przewyższać kosztu trzymywania surowca na składzie, gdyż w innym razie arbitrażyści wykorzystaliby zaistniałą sytuację do uzyskania zysków. W myśl tej teorii cena *futures* musi być zawsze wyższa od ceny *spot*, ze względu na płacone koszty przechowywania.

W rzeczywistości rynek surowcowy kształtuje się jednakże w dwojaki sposób:

- 1) deportu (*backwardation*), w sytuacji gdy ceny *spot* są większe od cen *futures/forward*,
- 2) reportu (*contango*) – gdy występuje sytuacja odwrotna.

Istnieje więc wyraźny kontrast pomiędzy teorią a rzeczywistością, który zostanie wyjaśniony w dalszej części.

Gdy rynek znajduje się w stanie deportu inwestorzy dyskontują fakt odłożenia konsumpcji w czasie. Wówczas producenci oraz konsumenci skłonni są minimalizować poziomy zapasów na składach. Jest to stan typowy dla handlu towarami z uwagi na niedobór produkcji w przyszłości. Report występuje w przypadku, gdy inwestorzy oczekują dalszych wzrostów cen w sytuacji jakichś wydarzeń oddziałujących negatywnie na podaż. Rynek w stanie reportu może wystąpić również w przypadku nadprodukcji gdy inwestorzy kupują dzisiaj duże ilości surowca po niskich cenach w nadziei sprzedaży ich z zyskiem w przyszłości. Im baza w warunkach reportu jest większa tym większa skłonność producentów i konsumentów powiększania zapasów; inwestorzy preferują kupować surowce dzisiaj oraz ponosić koszty składowania.

Na handel surowcami wpływają następujące czynniki:

- 1) koszty magazynowania,

- 2) wielkość (pojemność) składu,
- 3) koszty transportu i ubezpieczeń,
- 4) poziom zapasów.

Wydobyte surowce mineralne magazynowane są na składach (zakłady górnicze gromadzą je zwykle na przykopalnianych hałdach). Z trzymaniem zapasów na składzie wiąże się szereg korzyści, których beneficjentem jest właściciel składu i surowca. Wśród tych korzyści można wymienić możliwości:

- 1) utrzymywania płynności produkcji własnej, pozwalającej na minimalizację kosztów,
- 2) unikania sytuacji deficytu zapasów uniemożliwiających realizację zamówień klientów (*stockouts*),
- 3) ułatwiania harmonogramowania produkcji i sprzedaży.

Strumień pożytków, związany z fizycznym posiadaniem surowca na składzie nazywany jest premią (dochodem) z tytułu składowania surowca (*convenience yield*, CY); przypada ona właścicielowi fizycznego towaru, ale nie właścicielowi kontraktu na jego przyszłą dostawę (Kaldor 1939; Working 1949). Strumień ów jest na tyle istotny, że producenci surowców trzymają zapasy surowca na składach nawet w sytuacjach, gdy oczekiwane stopy zwrotu są niższe od stóp progowych lub nawet gdy oczekiwane zyski kapitałowe są ujemne.

Występowanie premii CY tłumaczy dlaczego inwestorzy, których charakteryzuje awersja do ryzyka nie wyprzedają zgromadzonego surowca i nie zajmują długich pozycji na rynku nawet w sytuacji okazji do arbitrażu (Knettsch 2006).

Pierwsza publikacja dostrzegająca występowanie premii z tytułu składowania pochodzi z 1939 r. (Kaldor). Dalsze prace w tym zakresie prowadzili m. in. Working (1949) i Brennan (1958). Kaldor i Brennan określili dochód CY jako funkcję sumarycznego poziomu zapasów (*aggregate inventory level*) spadającą wraz ze wzrostem tego poziomu; argumentowali występowanie CY na rynku w stanie deportu faktem, że trzymanie zapasów pozwala czynnikom ekonomicznym odpowiadać na popyt bez narażenia się na ryzyko i koszt oczekiwania na przyszłą dostawę. Working stwierdził, że wysokość kosztów stałych składowania nie zachęca producentów do sprzedaży surowca gdy rynek jest w sytuacji niedoboru, co jest przyczyną występowania deportu. Praca Weymara (1968), oprócz potwierdzenia tezy o malejącym charakterze funkcji CY, tłumaczy utrzymywanie zapasów na rynku w stanie deportu faktem, że procesy produkcji, składowania i transportu nie są wystarczająco elastyczne w zakresie reagowania na zmiany podaży i popytu. Badania Williamsa i Wrighta (1989) określają trzymanie zapasów jako najlepszy sposób minimalizacji kosztów transportu, przerobu i marketingu. Interesująca jest praca Famy i Frencha (1988), której celem była weryfikacja hipotezy o:

- 1) większej zmienności cen *spot* niż *futures* w sytuacji niskich stanów zapasów oraz
- 2) porównywalnej zmienności tych cen w przypadkach wysokiego stanu zapasów.

Dochód z tytułu składowania CY, przypadający właścicielowi zapasów surowca, przez analogie przyrównywany jest do dywidendy występującej na rynku akcji. Jeśli występuje rynek łatwego obrotu danego surowca, a surowiec jest dobrze zdefiniowany (tzn. poprawnie określone są jego parametry jakościowe) wówczas zachodzi (Pindyck 1993):

$$P_t = \delta \sum_{i=1}^{\infty} \delta^i E_t(\psi_{t+i}) \quad (4)$$

gdzie:  $P_t$  – bieżąca cena surowca w chwili  $t$ ,  
 $d$  – czynnik dyskontujący:  $1/(1+r)$ ,  
 $r$  – jednookresowa stopa dyskontowa (stopa zwrotu, jakiej inwestor może oczekiwać w związku z posiadaniem jednostki surowca),  
 $y_t$  – jednookresowy marginalny jednostkowy dochód netto ze składowania surowca (strumień pożytków związanych z posiadaniem jednostki surowca od początku do końca chwili  $t$ , minus koszty netto magazynowania i ubezpieczeń).

Cena surowca musi być równa wartości zaktualizowanej przyszłych dochodów CY. Formuła (4), objaśniająca zmiany ceny surowców, nazywana jest centralnym równaniem tzw. modelu wartości zaktualizowanej racjonalnej wyceny towarów (*present value model of rational commodity pricing*, PVM).

Zmiany cen surowców wynikają ze struktury podaży i popytu. Z uwagi na fakt, że zmiany popytu i podaży powodują z kolei zmiany bieżących i oczekiwanych CY można stwierdzić, że zmiany cen wynikają ze zmian oczekiwanych przyszłych dochodów CY (Pindyck 2001).

Z uwagi na fakt, że rynki konkurencyjne wyrównują marginalne dochody CY wśród właścicieli należy stwierdzić, że marginalna premia ze składowania zależy od poziomu zapasów na składzie natomiast jest niezależna od właściciela. Przyjmuje się, że CY zależy wyłącznie od ceny *spot* (Moyen i in. 1996) – w przypadku niskiego stanu zapasów cena będzie wysoka i *vice versa*.

Dla niektórych branż – np. górnictwo złota – premia CY jest niewielka (Pindyck 1993). Wynika to z faktu, że poziom zapasów jest bardzo duży w porównaniu z wielkością produkcji. Dla innych gałęzi przemysłu ma z kolei wyjątkowe znaczenie: bez uwzględnienia odsetek i kosztów magazynowania może kształtować się na poziomie kilku-, a nawet kilkunastu procent miesięcznie.

Dla surowców handlowanych również na rynkach terminowych premia z tytułu składowania może być mierzona w sposób bezpośredni – z wykorzystaniem cen na przyszłą dostawę (*futures*). Dochód ten – przy założeniu efektywności rynku (brak możliwości arbitrażu) – pozbawiony jest błędu wynikającego ze stosunku cen w transakcjach natychmiastowych i cen *futures*.

Zakładając brak możliwości arbitrażu można przedstawić następujący związek pomiędzy cenami *spot* i *forward* :

$$\psi_{t,N} = (1+r_N)P_t - f_{t,N} \quad (5)$$

gdzie:  $\psi_{t,N}$  –  $N$ -okresowy dochód z tytułu składowania,  
 $P_t$  – cena *spot* w chwili  $t$ ,  
 $f_{N,t}$  – cena *forward* na przyszłą dostawę w czasie  $t+N$ ,  
 $r_N$  –  $N$ -okresowa wolna od ryzyka stopa procentowa.

Dla większości surowców mineralnych występuje znacznie większa dostępność danych na temat transakcji *futures* niż *forward* z uwagi występowanie znacznie większej liczby



obrotów tymi pierwszymi. Jak wspomniano, kontrakty *futures* odróżnia od kontraktów *forward* wyłącznie sposób zawierania transakcji i rozliczania – w przypadku rynków *futures* występuje centralna giełda, która umożliwiła codzienne notowania, transfer funduszy i rozliczanie transakcji. W związku z powyższym, dla większości surowców różnice pomiędzy cenami *forward* i *futures* są znikome (French 1983).

Wielkość oszacowania jednookresowej premii z tytułu składowania (w jednostkach pieniężnych) otrzymać można z następującego równania (Moyen i in. 1996):

$$CY = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (1+r)P_t - F_{t1} \quad (6)$$

gdzie:  $r$  – jednookresowa (w okresie pomiędzy  $t$  i  $t+1$ ) wolna od ryzyka stopa procentowa,  
 $F_{t1}$  – cena *futures* na przyszłą dostawę kontraktu zawartego w chwili  $t$   
i o okresie realizacji  $t+1$ .

Interpretacja tego równania przedstawia się następująco: otóż można zakupić bez ryzyka jednostkę surowca na rynku transakcji natychmiastowych (*spot market*) i w tym samym czasie krótko sprzedać (*short*) kontrakt *futures*. Różnica pomiędzy kwotami tych transakcji jest ściśle związana z premią  $CY$ , czyli dochodem, który narasta właścicielowi surowca, ale nie właścicielowi kontraktu.

W przypadku kapitalizacji ciągłej roczny historyczny dochód z tytułu składowania (w postaci procentowej) otrzymuje się ze wzoru (Caumon, Bower 2004):

$$cy = -\frac{1}{T-t} \ln\left(\frac{F_{(t,T)}}{P_t}\right) + r + c \quad (7)$$

gdzie:  $F_{(t,T)}$  – cena *futures* kontraktu na dany towar zawartego w chwili  $t$   
o okresie zapadalności  $T$ ,  
 $P_t$  – cena spot w chwili  $t$ ,  
 $c$  – procent związany z kosztami przechowywania.

## 4. Dane

W przedstawionej analizie i przykładzie obliczeniowym wykorzystano ceny węgla energetycznego spot w imporcie do krajów Europy Zachodniej i Północnej (na bazie CIF ARA – Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia), w dolarach za 1 Mg węgla o kaloryczności około 25 MJ/kg (6000 kcal/kg). Ceny CIF są cenami w imporcie dla których poniżej przedstawiono uproszczony sposób ich określania:

$$FOB + (\text{fracht} + \text{ubezpieczenie}) = CIF$$

Ceny CIF ARA, obrazują średnie ceny węgla w imporcie drogą morską (z różnych kierunków i statkami różnej wielkości). Do najbardziej znanych wskaźników cen zalicza się:

- ❖ indeksy Argus,
- ❖ MCIS-McCloskey steam coal marker,
- ❖ ICR Steam coal marker price,
- ❖ indeksy platformy handlu internetowego globalCOAL,
- ❖ indeksy API.

Wśród tych wskaźników można wyróżnić wskaźniki autorskie, opracowywane przez grupy ekspertów, pracujących dla poważnych czasopism branżowych oraz wskaźniki pochodne, tworzone na bazie wybranych wskaźników autorskich. Do pierwszej grupy należy w pierwszym rzędzie zaliczyć wskaźniki Argus, McCloskey, Platts i globalCOAL, do drugiej zaś – tzw. wskaźniki API.

W przykładzie obliczeniowym wykorzystano średnie ceny węgla energetycznego z głównych indeksów miesięcznych oraz tygodniowych.

W przypadku cen w układzie miesięcznym – do roku 2006 są to średnie z dwóch indeksów ICR Platts oraz MCIS-McCloskey, a od stycznia 2006 r. średnia cen jest średnią z 4 indeksów ICR-Platts, MCIS-McCloskey, globalCOAL oraz Argus-CDI, czyli tylko z indeksów które można nazwać źródłowymi.

W przypadku średnich tygodniowych do roku 2006 są to średnie ceny węgla na podstawie tylko jednego indeksu ICR-Platts a od stycznia 2006 r. średnia cen jest średnią z 3 indeksów ICR-Platts, globalCOAL oraz Argus-CDI.

## 5. Wyniki

### **Zmienność cen węgla energetycznego**

Zmienność cen węgla obliczano według formuł (1–3) wykorzystując średnie bieżące ceny spot:

- 1) miesięczne z lat 2000–poł. 2009 (rys. 1),
- 2) tygodniowe z lat 2007–poł. 2009 (rys. 2).

Przeliczeń na ceny stałe, z uwagi na notowania w walucie amerykańskiej, dokonywano przy uwzględnieniu poziomu inflacji w USA. Dane uzyskano ze strony internetowej Financial Trend Forecaster ([www.inflationdata.com](http://www.inflationdata.com)).

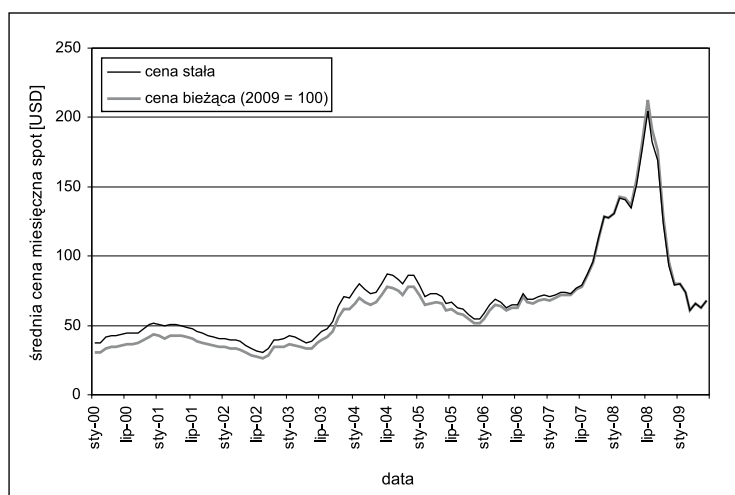
Wyniki przedstawiają się następująco:

- 1) średnia zmienność roczna obliczona na bazie średnich miesięcznych cen węgla w całym okresie: styczeń 2000–czerwiec 2009 kształtuje się na poziomie:

- ❖ 8,97% (wartość oszacowana na podstawie cen nominalnych),
- ❖ 8,84% (wartość oszacowana na podstawie cen stałych);

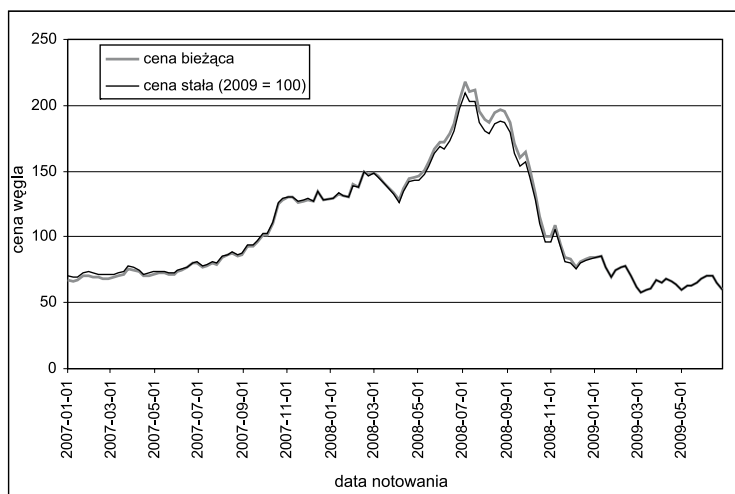
dla porównania, na bazie wymienionych danych, oddzielnie wyliczono zmienności roczne biorąc pod uwagę notowania w obrębie roku; wyniki przedstawiono na rysunku 3.

- 2) średnia zmienność roczna obliczona na bazie średnich tygodniowych w okresie 1.01.2007–26.06.2009 r. kształtuje się na poziomie:
- ✧ 24,98% (wartość oszacowana na podstawie cen nominalnych),
  - ✧ 24,02% (wartość oszacowana na podstawie cen stałych).



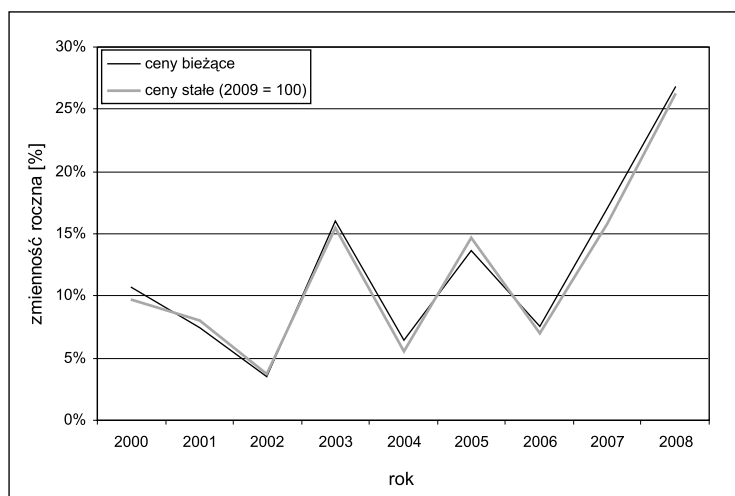
Rys. 1. Średnie miesięczne ceny *spot* węgla (indeks CIF ARA) w okresie styczeń 2000–czerwiec 2009  
 Źródło: obliczenia własne na podstawie: ICR Coal Statistics Monthly, CDI, globalCOAL

Fig. 1. Hard coal spot prices (CIF ARA monthly means): January 2000–June 2009  
 Source: own study, based on ICR Coal Statistics Monthly, CDI, globalCOAL



Rys. 2. Średnie tygodniowe ceny *spot* węgla (CIF Europa) w okresie styczeń 2007–czerwiec 2009  
 Źródło: obliczenia własne na podstawie: ICR, CDI, globalCOAL

Fig. 2. Hard coal spot prices (CIF Europe weekly means): January 2007–June 2009  
 Source: own study, based on ICR Coal Statistics Monthly, CDI, globalCOAL



Rys. 3. Zmiany zmienności rocznej cen *spot* węgla skalkulowanej na podstawie średnich miesięcznych w obrębie danego roku (lata 2000–2008)

Fig. 3. Changes of the coal spot price volatility based on the year's monthly averages (2000–2008)

Zmienność roczną za rok 2007 określono na poziomie 25,11% (nominalnie) lub 25,25% (realnie), natomiast za rok 2008 odpowiednio: 44,04 i 43,77%.

Zmienności obliczone na podstawie danych tygodniowych znacznie odbiegają od obliczonych na podstawie danych miesięcznych: zmienność roczna nominalna i realna skalkulowane dla roku 2007 na podstawie danych tygodniowych kształtują się odpowiednio na poziomie 17,05 i 15,78%, a dla roku 2008 – odpowiednio: 26,86 i 26,27%.

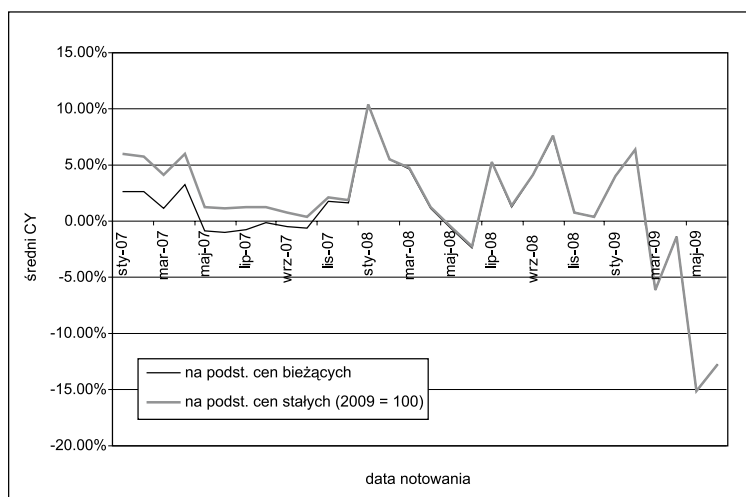
### Premia z tytułu składowania

Roczną premię z tytułu składowania szacowano według formuły (7) na podstawie danych cen *spot* i *futures* (kontraktów terminowych o różnych okresach zapadalności). Koszty składowania przyjęto na poziomie 15%. Roczne historyczne stopy „wolne od ryzyka” kalkulowano na bazie notowań 13-tygodniowych amerykańskich bonów skarbowych Treasury Bills (tzw. T-Bills) (Saługa 2006) udostępnionych na stronach internetowych Federal Reserve Board ([www.federalreserve.gov](http://www.federalreserve.gov)). Stopa „wolna od ryzyka” w roku 2009 oszacowana została na bazie notowań bonów z okresu styczeń–czerwiec 2009. Dla okresów przekraczających ramy jednego roku stopę „wolną od ryzyka” kalkulowano wykorzystując formułę kapitalizacji ciągłej przy zmiennej stopie procentowej. Premię CY obliczano zarówno dla wielkości nominalnych jak i realnych (w tym drugim przypadku z uwzględnieniem danych inflacji w USA w interesujących okresach).

Średnia roczna premia z tytułu składowania CY na podstawie kursów miesięcznych cen *spot* i cen *futures* kontraktów o okresie zapadania od 3 do 37 miesięcy (pod uwagę wzięto 158 notowań) skalkulowana dla danych z okresu styczeń 2007–czerwiec 2009 na bazie cen stałych (rok 2009 = 100) oszacowana została na poziomie 1,47%, a bieżących – 2,42%. Odchylenie standardowe kształtuje się na poziomie 72,6 (nominalnie) 72,1% (realnie).

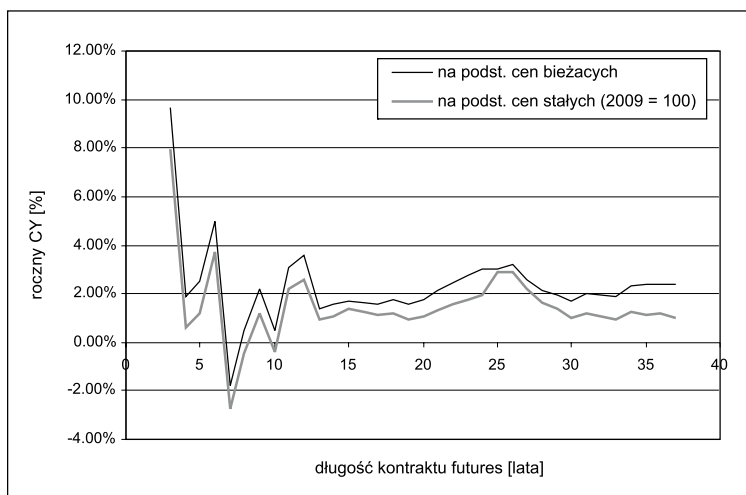
Zmiany premii z tytułu składowania w czasie przedstawiono na rysunku 4. Wykres przedstawia średnią rocznych premii CY obliczonych w danym miesiącu dla kontraktów terminowych o różnym okresie zapadalności.

Z kolei rysunek 5 prezentuje premie z tytułu składowania w zależności od okresu zapadalności kontraktu. Najwyższe premie CY występują dla kontraktów 3 i 5 miesięcznych,



Rys. 4. Zmiany rocznej premii z tytułu składowania węgla – średnie miesięczne w okresie styczeń 2007–czerwiec 2009

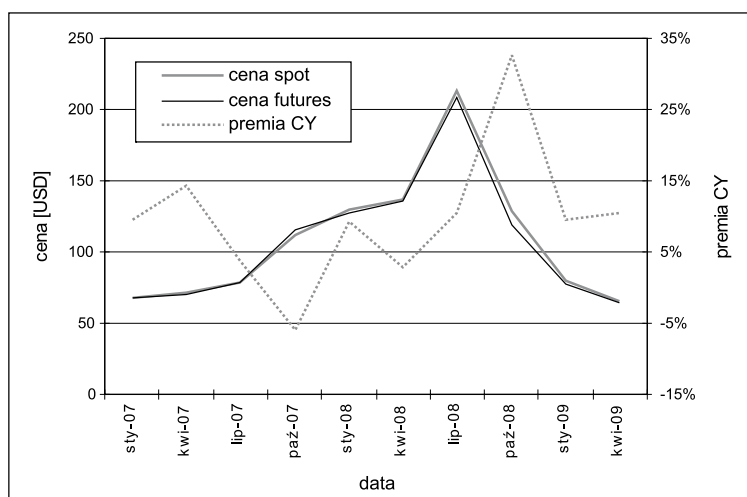
Fig. 4. Changes of the annual convenience yield – monthly averages (January 2007–June 2009)



Rys. 5. Średnie roczne premie z tytułu składowania węgla dla kontraktów o różnych okresach zapadania (od 3 do 37 miesięcy) skalkulowane dla okresu styczeń 2007–czerwiec 2009

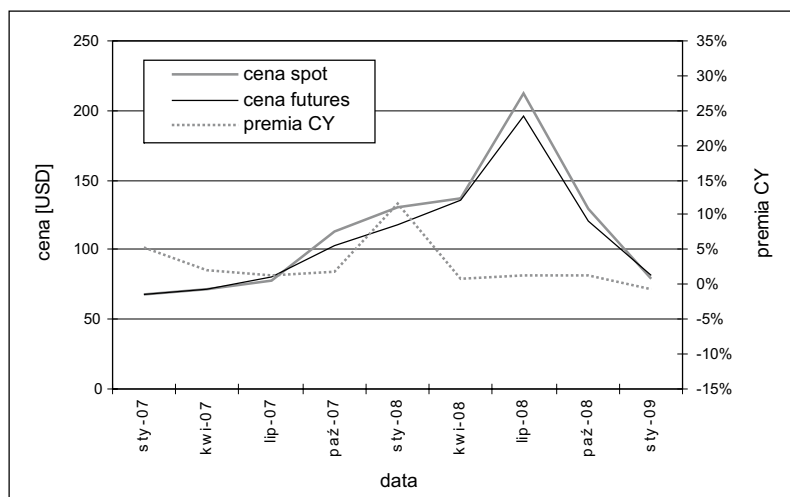
Fig. 5. Annual convenience yield means for future contracts of different maturities (from 3 to 37 months) – January 2007–June 2009

a najniższe dla kontraktów o 8 i 10 miesięcznych. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono zmiany kwartalne nominalnych cen *spot*, *futures* i CY dla kontraktów 3- i 12-miesięcznych, a na rysunku 8 zmiany kwartalne CY dla kontraktów 3-, 6-, 9- i 12-miesięcznych.



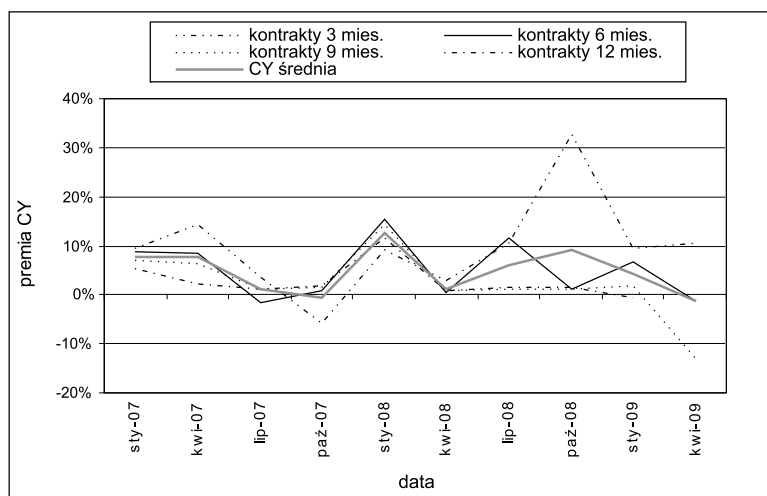
Rys. 6. Kwartalne zmiany nominalnych rocznych cen *spot*, *futures* i premii z tytułu składowania węgla dla 3-miesięcznych kontraktów terminowych (styczeń 2007–czerwiec 2007)

Fig. 6. Quarterly changes of convenience yield and spot and futures prices for 3-month future contracts (January 2007–June 2009)



Rys. 7. Kwartalne zmiany nominalnych rocznych cen *spot*, *futures* i premii z tytułu składowania węgla dla 12-miesięcznych kontraktów terminowych (styczeń 2007–czerwiec 2007)

Fig. 7. Quarterly changes of convenience yield and spot and futures prices for 12-month future contracts (January 2007–June 2009)



Rys. 8. Kwartalne zmiany nominalnych premii z tytułu składowania węgla dla 3-, 6-, 9- i 12-miesięcznych kontraktów terminowych (styczeń 2007–czerwiec 2007)

Fig. 8. Quartely changes of nominal-price-based convenience yields for 3-, 6-, 9- and 12-month future contracts (January 2007–June 2009)

## Posumowanie i wnioski

Zmienność historyczna cen *spot* węgla kamiennego w okresie styczeń 2000–czerwiec 2009 obliczona na podstawie średnich danych miesięcznych kształtuje się na poziomie 9% rocznie. Zmienność roczną w okresie styczeń 2007–czerwiec 2009, szacowaną na podstawie danych tygodniowych, skalkulowano na 24,98/24,02% (nominalna/realna). Zmienności roczne oszacowane dla lat 2007 i 2008 różnią się w zależności od podstawy kalkulacji – dla danych miesięcznych wynoszą odpowiednio (wartości nominalne/realna): 17,05/15,78% i 26,86/26,27%, a dla danych tygodniowych – 25,11/25,25% oraz 44,04/43,77%. Jest to więc zmienność wysoka.

Średnia roczna premia z tytułu składowania CY oszacowana na podstawie 158 notowań kursów miesięcznych cen *spot* i *futures* kontraktów o okresie zapadania od 3 do 37 miesięcy z okresu styczeń 2007–czerwiec 2009 oszacowana została na poziomie 1,47% (realnie) oraz 2,42% (nominalnie). Badania wykazały bardzo dużą zmienność tego parametru (odchylenie standardowe dla wartości realnych/ nominalnych 72,6/72,1%). Uzyskane wyniki kalkulacji premii z tytułu składowania dla węgla kamiennego potwierdzają obserwację, że dochód CY jest zmienną stochastyczną – związek pomiędzy cenami *spot* i *futures* charakteryzuje się niestabilnością. Z tego powodu formuła (7) – podobnie jak w przypadku zmienności – służyć może wyłącznie do kalkulacji historycznej premii CY na podstawie dostępnych notowań przeszłych i bieżących cen *spot* i *futures* kontraktów terminowych o określonych okresach

zapadalności  $t$ . Oszacowana premia CY nie może być niestety wiarygodnym wskaźnikiem poziomu CY w przyszłości – biorąc jednak pod uwagę fakt, że w górnictwie pewne procesy są znane i powtarzalne może ona dostarczyć przedsiębiorcom i analitykom informacji o skali możliwej zmienności CY. W ostatnich latach opracowano kilka modeli prognozowania poziomu premii z tytułu składowania wykorzystujących algorytmy wyceny opcji, przedstawionych m. in. w pracach Heinkela i in. (1990), Gibsona i Schwartza (1997), Milonasa i Thomadakis (1997), Schwartza (1997), Heaney (2002), i in. Mogą one stanowić podstawę dla realizacji dalszych badań na CY w branży węgla energetycznego.

## Literatura

- [1] BRENNAN M.J., 1958 – The Supply of Storage. *American Economic Review*, vol. 48, p. 50–72.
- [2] CAUMON F., BOWER J., 2004 – Redefining the Convenience Yield in the North Sea Market. Oxford Institute for Energy Studies, p. 1–32.
- [3] DAVIS G.A., 1998 – Estimating Volatility and Dividend Yield when Valuing Real Options to Invest or Abandon. *The Quarterly review of Economics and Finance*, vol. 38, special issue, p. 725–754.
- [4] FAMA E.F., FRENCH K.R., 1988 – Business Cycles and the Behavior of Metals Prices. *The Journal of Finance*, vol. 43.
- [5] FRENCH K.R., 1983 – A Comparison of Futures and Forward Prices. *Journal of Financial Economics*, Elsevier, vol. 12(3), p. 311–342, November.
- [6] GIBSON R., SCHWARTZ E.S., 1990 – Stochastic Convenience Yield and the Pricing of Contingent Claims. *The Journal of Finance*, 45, July, p. 959–76.
- [7] GRUDZIŃSKI Z., LORENZ U. (red.) i in. – Opracowanie metodyki tworzenia systemu cen węgla brunatnego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, pp. 255.
- [8] HEANEY R., 2002 – Approximation for Convenience Yield in Commodity Futures Pricing. *The Journal of Futures Markets*, 22, p. 1005–17.
- [9] HEINKEL R., HOWE M.E., HUGHES J.S., 1990 – The Convenience Yield as an Option Profit. *The Journal of Futures Markets*, 10, p. 519–33.
- [10] HULL J., 1998 – Kontrakty terminowe i opcje – wprowadzenie. WIG-Press, Warszawa.
- [11] KALDOR N., 1939 – Speculation and Economic Stability. *Review of Economic Studies*, vol. 7, p. 1–27.
- [12] KNETSCH T.A., 2006 – Forecasting the Price of Crude Oil via Convenience Yield Predictions. Deutsche Bundesbank, discussion paper, series 1: Economic Studies, no 12.
- [13] LORENZ U., 2006 – Rola wskaźników cen w międzynarodowym handlu węglem energetycznym. *Polityka Energetyczna* t. 9, z. spec., Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, p. 583–596.
- [14] LORENZ U., 2008 – Główni światowi eksporterzy węgla energetycznego na rynek europejski – wybrane aspekty podaży i cen. *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, p. 255–272.
- [15] MERTON R., 1973 – Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, Spring 1973.
- [16] MOYEN N., SLADE M., UPPAL R., 1996 – Valuing Risk and Flexibility: A Comparison of Methods. *Resources Policy*, Vol. 22, 1996, p. 63–74.



- [17] MILONAS N., THOMADAKIS S., 1997 – Convenience Yields as Call Options: an Empirical Analysis. *The Journal of Futures Markets*, 17, p. 1517–45.
- [18] PINDYCK R., 1993 – The Present Value Model of Rational Commodity Pricing. *The Economic Journal*, vol. 103, p. 511–530.
- [19] PINDYCK R., 2001 – The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer. *The Energy Journal*, vol. 22, no. 3.
- [20] PYKA I. (red.), 2001 – Rynek pieniężny i kapitałowy. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, wyd. III, pp. 379.
- [21] SAŁUGA P., 2006 – Wycena górniczych projektów inwestycyjnych w aspekcie doboru stopy dyskontowej. Seria wydawnicza: „Od oceny wartości zasobów złoża do likwidacji kopalni”. Wydawnictwo IGSMiE PAN, pp. 131, Kraków.
- [22] SAŁUGA P., 2009 – Ocena ekonomiczna projektów i analiza ryzyka w górnictwie. *Studia, Rozprawy, Monografie nr 152*, Wyd. IGSMiE PAN, pp. 278, Kraków.
- [23] SCHWARTZ E.S., 1997 – The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging. *The Journal of Finance*, vol. 52, issue 3, p. 923–973.
- [24] SCHWARTZ E.S., SMITH J.E., 2000 – Short-Term Variations and Long-Term Dynamics in Commodity Prices. *Management Science*, vol. 46, No. 7, p. 893–911.
- [25] WANIELISTA K., SAŁUGA P., KICKI J., DZIEŻA J., JAROSZ J., MIŁKOWSKI R., SOBCZYK E.J., WIRTH H., 2002 – Wycena wartości zasobów złoża. Nowa strategia i metody wyceny. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z Lampką Górniczą nr 12, Kraków.
- [26] WEYMAR H., 1968 – *The Dynamics of the World Cocoa Market*. MIT Press.
- [27] WILLIAMS J.C., WRIGHT B.D., 1989 – A theory of negative prices of storage. *The Journal of Futures Markets*, vol. 9, p. 1–13.
- [28] WORKING H., 1949 – Theory of the price of storage. *American Economic Review*, vol. 39, 1254–62.
- [29] CDI – Argus Coal Daily International. Wyd. Argus Media Ltd
- [30] ICR – International Coal Report. Wyd. Platts – The McGraw Hill Companies, England
- [31] ICR Coal Statistics Monthly (December 2008). Wyd. Platts – McGraw Hill Companies, England
- [32] [www.globalCOAL.com](http://www.globalCOAL.com)
- [33] [www.federalreserve.gov](http://www.federalreserve.gov).
- [34] [www.inflationdata.com](http://www.inflationdata.com).

Piotr SAŁUGA, Zbigniew GRUDZIŃSKI

## Estimation of historical hard coal price volatility and convenience yield

### Abstract

One of the most important parameters of technical analysis and investor interests at financial and commodity markets is price volatility. Apart from this another indicator that pays attention of commodity market participants is convenience yield which is an important factor of present value model of rational commodity pricing, PVM relating futures and spot prices. Both parameters are the key variables used for price forecasting and real option pricing. This paper, relying upon historical data, makes an attempt of assessment of hard coal price volatility and convenience yield.

KEY WORDS: commodity futures markets, hard coal, hard coal prices, hard coal price volatility, convenience yield