



# OSPODARKA NARODOWA

10  
(218)  
Rok XX  
październik  
2009

Wojciech POTOCKI\*

## Mechanizmy kształtujące cenę ropy naftowej w teorii i rzeczywistości

*Obecnie ludzie są pełni niezwykłego wyczekiwania na fundamentalne diagnozy, są gotowi na otrzymanie ich, spragnieni ich wypróbowania jeśli brzmiałyby wiarygodnie. Pomimo współczesnych nastrojów, idee ekonomistów i filozofów politycznych, zarówno kiedy są słuszne, jak i kiedy są błędne, są bardziej wpływowe niż się powszechnie uznaje. Rzeczywiście, świat nie kieruje się niczym innym.*

John Maynard Keynes (1956)

### Wstęp – motywacja badań ceny ropy naftowej i kluczowe pytania

Jest wiele przykładów potwierdzających, że bieg niektórych przyszłych zdarzeń można przewidzieć. Globalny kryzys energetyczny jest największym niebezpieczeństwem dla świata, a jego wystąpienie jest pewne, o ile w perspektywie 10-20 lat świat nie uwolni się od uzależnienia od ropy poprzez zmniejszenie zużycia i rozwój technologii alternatywnych.

Zachowanie się ceny ropy naftowej jest jednym z największych fenomenów XXI wieku – mimo że przyciąga uwagę całego świata – mediów, inwestorów, polityków i naukowców – pozostaje zjawiskiem nieprzewidywalnym i kontrolersyjnym.

Praca koncentruje się na dwóch perspektywach percepcji zachowania się ceny ropy:

1. teorii wyczerpywalności zasobów nieodnawialnych i modeli niestrukturalnych,
2. modelu równowagi krótkoterminowej.

Wybór tych nurtów myślowych ani nie wyczerpuje wszystkich, ani nie przesądza, że są one najważniejsze. Przeciwnie, wydaje się, że obecnie dominuje

---

\* Autor jest pracownikiem CIECH S.A. w Warszawie (e-mail: woj.potocki@wp.pl). Artykuł wpłynął do redakcji we wrześniu 2009 r.

percepcja kształtowania cen ropy na rynku *futures*. Uznano jednak, że złożoność czynników wpływających na ceny ropy najlepiej prezentuje opis właśnie w tych perspektywach i w takim układzie, który nie pretenduje bynajmniej do oryginalnego, albowiem niniejsza praca wynika głównie z przeglądu literatury i w mniejszym stopniu opiera się na własnych badaniach empirycznych.

Jest dostatecznie wiele ważnych lub trywialnych, kluczowych lub interesujących pytań dotyczących zachowania się ceny ropy naftowej, aby szukać na nie odpowiedzi. Ze względu na różnorodne ograniczenia nie sposób odpowiedzieć na wszystkie przykładowo wymienione.

- Czy można przewidzieć zachowanie się ceny ropy w przyszłości? Czy istnieje wiarygodny model opisujący kształtowanie ceny ropy?
- Jaki jest związek ceny ropy naftowej z rozwojem ekonomicznym, w szczególności z rynkiem finansowym, geopolityką, politykami monetarnymi, finansowymi, podatkowymi krajów eksporterów i konsumentów?
- Czy zasobów ropy naftowej wystarczy dla pokrycia przyszłego zapotrzebowania, czy też zgodnie z teorią Hubberta świat stoi w obliczu załamania dostaw ropy i kryzysu energetycznego? Kto ma rację – optymiści czy pesymiści? Jaką rolę dominują: ekonomia czy geologia, a może technika i technologia? Czy gospodarka jest bezpieczna energetycznie?
- Kto ma rację: Alan Greenspan twierdzący, że ceną manipulują spekulanci, a rynek wymaga większej regulacji i kontroli, czy Paul Krugmann dowodzący, że rynek *futures* prawidłowo spełnia swoją funkcję sygnalizacyjną?
- Czy ceną ropy naftowej manipulują spekulanci zapatrzeni w wykresy Ganna, czy może OPEC? Czy rolą OPEC jest zamykanie globalnego bilansu ropy, czy realizacja strategii maksymalizacji zysku?
- Czy cena uszlachetnionej ropy naftowej na stacji benzynowej w dowolnym miejscu na świecie niższa od ceny coca-coli lub piwa (tej samej jednostki miary objętości) jest dobra dla gospodarki i społeczeństw? Czy to jest normalne, aby w XXI wieku nieodnawialne zasoby naturalne spalać jak w epoce prehistorycznej, zamiast wykorzystywać je wielokrotnie?
- Jaką strategię projektować na poziomie korporacyjnym, narodowym czy w relacjach międzynarodowych dla tak rozchwiejanego i trudno przewidywanego rynku ropy naftowej?

### **Cena ropy naftowej retrospektywnie**

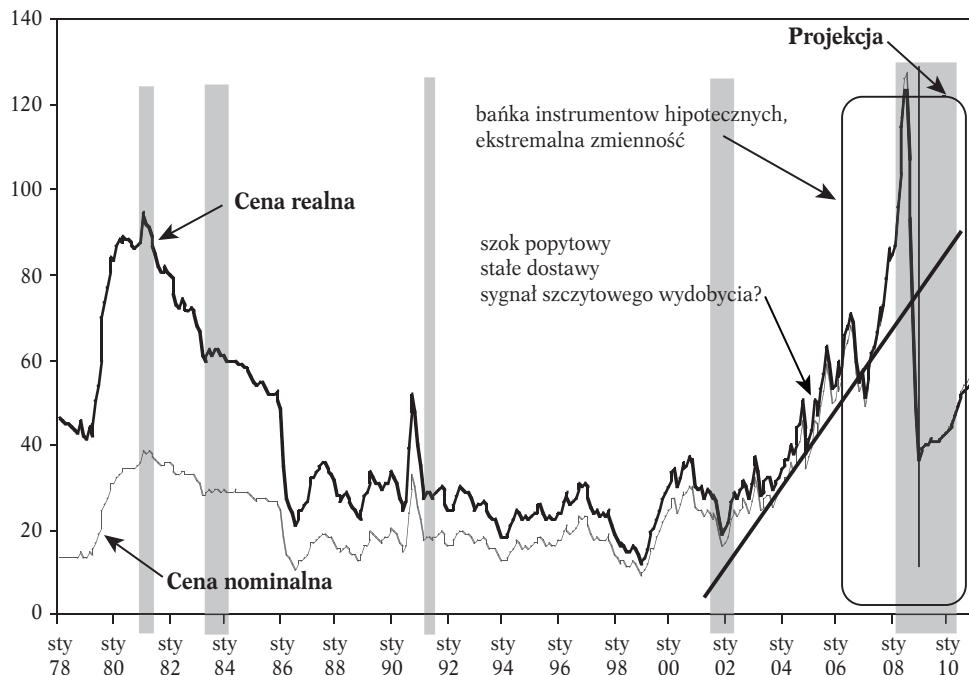
*Dziewięć z dziesięciu recesji gospodarki Stanów Zjednoczonych po drugiej wojnie światowej zostało poprzedzonych gwałtownym wzrostem ceny ropy naftowej.*

James D. Hamilton, 2005

Wzrost ceny ropy w latach 2002-2008 od 25 do 147 USD/boe, tj. o 500% był bezprecedensowy w historii. Najbardziej zbliżonym pod względem dynamiki wzrostu, jest wzrost ceny ropy w latach 1979-1980 (okres rewolucji irań-

skiej) – od 14 do 36 SUD/boe, tj. o 160%. Mimo wojny irańsko-irackiej, która nastąpiła po rewolucji irańskiej, cena ropy spadała do roku 1986, osiągając poziom zbliżony sprzed wzrostu. Po gwałtownym wzroście w I połowie 2008 r., w ciągu zaledwie 6 miesięcy nastąpił spadek ceny ropy o 78% do 32 USD/boe. W pewnym stopniu analogiczny spadek ceny, z 54 do 27 USD/boe, tj. o 50%, wystąpił w 1986 r. Wspólną cechą obydwu wzrostów jest występowanie głębokich kryzysów ekonomicznych po osiągnięciu przez cenę rekordowo wysokiego poziomu (abstrahując od istotnych relacji przyczynowo-skutkowych obydwu kryzysów). Zachowanie się ceny ropy naftowej w historii odzwierciedlało bieżący stan gospodarki (początek kryzysu powodował bieżący spadek ceny) oraz antycypowało przyszłe zapotrzebowanie (koniec kryzysu oznaczał przyszły wzrost zapotrzebowania wywołujący bieżący wzrost ceny). Interpretacja bieżącej zmiany ceny ropy umożliwiająca przewidywanie kierunku przyszłych zmian jest bardzo trudna, zrozumienie zachowania się ceny ropy jest bardziej możliwe w retrospektywie, *ex-post*, gdy już są znane różnorodne relacje między ceną ropy, stanem gospodarki (ożywienie – recesja, stan zaopatrzenia rynku i możliwości dostaw) i polityką (wojny, strajki, sankcje, niepokoje, porozumienia pokojowe itd.) oraz pogodą.

Rysunek 1. Nominalna i realna cena ropy naftowej (USD/boe) i kryzysy ekonomiczne w latach 1978-2008 (obszary zacieniowane)



Źródło: opracowanie własne, dane EIA 2009

## Teoria wyczerpywalnych zasobów *versus* rzeczywistość i modele niestrukturalne

*Rozmyślenia o zanikających światowych dostawach minerałów, drzewa i innych wyczerpywanych aktywów wywołała zapotrzebowanie na regulacje ich eksploatacji.*

*Przeczuć, że dla dobra przyszłych pokoleń surowce te są obecnie zbyt tanie, że są egoistycznie eksploatowane w zbyt szybkim tempie i, że w konsekwencji ich nieumiarkowanej taniości wydobywane są i zużywane nieekonomicznie, doprowadziło do podjęcia działań oszczędnościowych.*

Harold Hotelling (1931)

Dominująca pozycja paliw kopalnych w bilansie energetycznym (ok. 88% udział) jest powodem troski z trzech powodów. Po pierwsze, spalanie tych paliw powoduje zanieczyszczenie środowiska będącego przyczyną globalnego ocieplenia. Po drugie, najważniejsze złoża paliw zlokalizowane są w niestabilnych politycznie regionach stanowiących zagrożenie dla światowego pokoju i bezpieczeństwa. Po trzecie, zasoby paliw kopalnych, w tym zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego, które najczęściej występują łącznie, należą do tzw. zasobów nieodnawialnych charakteryzujących się tym, że – w przeciwieństwie do innych, częściowo odnawialnych aktywów (zasobów biologicznych) – ze swej natury nie są odnawialne, a odtwarzane są w wolnym tempie poprzez nowe odkrycia i zagospodarowanie. Obecny stan zasobów ropy naftowej sugeruje jednak, że w perspektywie kilkunastu, kilkudziesięciu lat ropa naftowa może stać się surowcem deficytowym.

Złoże ropy naftowej poddane eksploatacji stopniowo wyczerpuje się aż do zupełnej nieprzydatności, mimo zalegania w złożu znacznych zasobów. Zasoby ropy pochodzące z danego złoża charakteryzują się określonymi parametrami fizyko-chemicznymi i jakościowymi, co ma swoje konsekwencje ekonomiczne i geologiczne; im wyższa jakość, tym wyższa cena oraz wcześniejsza eksploatacja. Proces poszukiwań i zagospodarowania złóż ropy naftowej jest czasochłonny i kapitałochłonny, a postęp techniczny i technologiczny może zmniejszyć koszty poszukiwań i wydobywania oraz początkowo cenę (*ceteris paribus*), która ostatecznie rośnie. W relacji do rosnącego popytu podaż zasobów nieodnawialnych jest ograniczona, ponieważ podlega nie tylko prawom ekonomii, ale również prawom geologii. Z powodu wyczerpywalności zasobów ich właściciele wynagradzani są premią zwaną rentą niedoboru (*scarcity rent*) za ich zachowanie do chwili obecnej.

Pionierem podejścia do ropy naftowej jako zasobu wyczerpywanego był Hotelling [1931], który w poszukiwaniu złotego środka pomiędzy interesem publicznym współczesnych i przyszłych pokoleń w *...lesie intrygujących problemów ekonomii aktywów wyczerpywalnych*, gdzie *...polityka publiczna musi być prowadzona pomiędzy Scyllą i Charybdą*, formułuje szereg hipotez i stawia wiele pytań:

- Jaka jest wartość złoża, gdy jego zasoby są w pełni poznane i jaki jest efekt niepewności szacunku wielkości złoża?
- W jakim tempie powinno być eksploatowane złożo dla największego ogólnego dobra, gdy jest własnością publiczną, jaki powinien być profil wydobycia mający taki cel, a jaki gdy właścicielem złoża jest przedsiębiorca maksymalizujący zysk?
- Jaka powinna być polityka regulacyjna, podatkowa, celna, aby skłonić właściciela złoża do eksploatacji pozostającej w harmonii z interesem publicznym?

### **Cena i konsumpcja ropy naftowej według reguły Hotellinga**

Hotelling określił podstawy ekonomii zasobów wyczerpywanych, w szczególności ropy naftowej. Przyjmując wiele założeń upraszczających, przeprowadził symulacje dla różnych przypadków sytuacji rynkowych, dla których wspólnym założeniem było dążenie właściciela do maksymalizacji wartości obecnej przyszłych zysków oraz stałość stopy procentowej.

Hotelling nie wykluczył, że z powodu skończonych zasobów i zanikającej podaży cena może teoretycznie rosnąć bez ograniczeń i stwierdził, że cena powinna przekraczać koszty krańcowe<sup>1</sup> (w przeciwieństwie do konkurencyjnie wytwarzanych dóbr, których cena powinna być równa krańcowym kosztom wytworzenia) oraz zmieniać się dynamicznie, nawet jeśli rynek ropy miałby być doskonale konkurencyjny. Sformułował również zasady wykorzystywania zasobów w celu maksymalizacji zysku w warunkach wolnej konkurencji, monopolu i duopolu. Dasgupta [1974] ujmuje lapidarnie: teoria Hotellinga formułuje „problem ciastka” – ile konsumować, aby czerpać korzyści jak najdłużej.

Istotną właściwością reguły Hotellinga jest to, że formułuje ona nie tylko optymalne rozwiązanie problemu maksymalizacji zysku dla właściciela złoża, ale również optymalne rozwiązanie dla społeczeństwa jako całości [Kronenberg, 2004].

Konkretny profil wydobycia ropy wyznacza wartość złoża na takim poziomie, że dochód netto ze sprzedaży wydobytego zasobu w dowolnym czasie jest dokładnie równy odsetkom (przy stopie procentowej  $r$ ) od wartości inwestycji poniesionych w tym samym czasie. Zakładając brak kosztów wydobycia, transportu i sprzedaży, cenę rynkową wydobywanej jednostki zasobu  $P_0$  i niezmienną w czasie stopę zwrotu z inwestycji (bez ryzyka)  $r$ , optymalne wydobycie w idealnie konkurencyjnych warunkach byłoby na takim poziomie, że cena zasobu rosłaby w czasie według stopy procentowej  $r$  zgodnie z formułą:

$$P_t = P_0 e^{rt},$$

która nazywana jest regułą Hotellinga.

<sup>1</sup> Podejście takie w odniesieniu do zasobów miedzi prezentuje również Keynes.

Ekonomiczne rozumowanie leżące u podstaw reguły Hotellinga jest następujące [Krautkraemer, 1998], [Kronenberg, 2006], [Hamilton, 2008]. Złoże ropy naftowej (ogólnie zasobu naturalnego) może być potraktowane jak każde inne aktywo kapitałowe, które może być swobodnie konwertowane. Zgodnie z możliwościami arbitrażu wszystkie aktywa kapitałowe przynoszą tę samą stopę zwrotu. Właściciel złoża zarabia odsetki w postaci rosnącej ceny zasobu:  $\frac{P_{t+1}}{P_t} - 1$ , analogicznie jak na rynku kapitałowym może osiągnąć zysk w wysokości stopy procentowej  $r$ . Wobec tego właściciel złoża stoi przed alternatywą: wydobyć dziś, sprzedać, a zysk zainwestować na rynku kapitałowym przy stopie  $r$  lub pozostawić w złożu i wydobyć w kolejnym okresie, aby osiągnąć zysk. Jeśli uzna, że cena będzie rosła szybciej niż o  $r$ , wtedy będzie skłonny do pozostawienia zasobu w celu wydobycia w przyszłym okresie. Jeśli oczekiwania takie będą powszechne, producenci pozostawią zasoby w złożu, zatem bieżąca podaż spadnie, a cena wzrośnie. Jeśli cena wzrośnie, wydobycie podejmą nowi dostawcy, a inni zwiększą produkcję. Wzrost podaży spowoduje korektę ceny i w ten sposób **rynek powróci do stanu równowagi**, a dla optymalnego poziomu wydobycia cena będzie rosła według stopy procentowej  $r$ :

$$P_1 = P_0 (1 + r)$$

gdzie  $P_1$  i  $P_0$  oznacza cenę w okresie następnym i bieżącym.

**Reguła Hotellinga jest zatem fundamentalnym warunkiem równowagi rynkowej** zasobów nieodnawialnych wiążącym jednocześnie – poprzez wysokość (długoterminowej) stopy procentowej  $r$  – rynek tego zasobu ze stanem rynku kapitałowego [Kronenberg, 2006].

**Cena ropy zależy nie tylko od bieżącego tempa wydobycia, ale również od skumulowanego wydobycia**, ponieważ skumulowane wydobycie wpływa na koszty krańcowe i popyt. Konsekwencją wydobywania ropy naftowej jest stopniowy spadek wielkości złoża, powodujący spadek wielkości wydobycia oraz wzrost kosztów i w efekcie wzrost ceny. Konsekwencją wzrostu ceny, zwłaszcza w tempie wyższym niż  $r$ , jest stopniowy spadek konsumpcji lub dławienie tempa wzrostu popytu. Gdy zasoby bliskie są wyczerpania, cena osiąga wysokie poziomy, silnie dławiając popyt aż do całkowitego wyczerpania złoża.

**Kwestia skończoności lub nieskończoności czasu wydobywania** aż do całkowitego szczypania zależy od funkcji popytu. Dla stałego popytu czas szczypania uzależniony jest od tego, czy do szczypania zasobów wymagana jest ograniczona czy nieograniczona cena. Dla malejącej funkcji popytu  $q = e^{-bP}$  (gdzie  $b$  jest stałą) eksploatacja złoża będzie trwać wiecznie w malejącym tempie. Dla funkcji popytu w postaci  $q = \alpha - \beta P$  złożo zostanie wyczerpane w skończonym czasie [Hotelling, 1931].

Wszystkie przypadki warunków rynkowych eksploatacji rozpatrywane przez Hotellinga z punktu widzenia maksymalizacji korzyści prowadzą do rozwiązania, w którym **wydobycie** (po osiągnięciu pełnej zdolności produkcyjnej) **jest funkcją malejącą asymptotycznie** [Kronenberg, 2006]:

$$q(t) = c_R R_0 e^{-c_R t},$$

gdzie:

$q(t)$  jest wielkością wydobycia w okresie  $t$ ,

$R_0$  – wielkością początkową zasobów,

$c_R = q_t/R_t$  jest relacją wydobycia do wielkości zasobów określonych w okresie  $t$ .

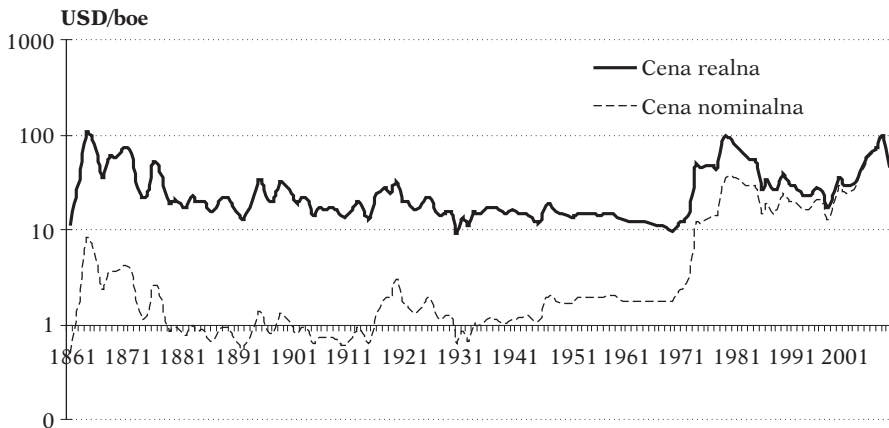
Z powyższej funkcji, dla stałej wartości wskaźnika  $c_R$ , wynika zależność wielkości zasobów  $R$  w funkcji czasu – malejąca asymptotycznie od wartości zasobów początkowych:

$$R(t) = R_0 e^{-c_R t}.$$

### Cena i konsumpcja w rzeczywistości

Zgodnie z modelem Hotellinga cena ropy naftowej powinna rosnąć według stopy procentowej, natomiast wydobycie powinno maleć asymptotycznie. Jednak zachowanie się ceny ropy naftowej w długim okresie 1861-2008 nie potwierdza słuszności teorii Hotellinga. Na rys. 2 można zauważyć długie okresy trendu malejącego i krótsze okresy wzrostów ceny oraz rosnącą zmienność ceny. **W XX wieku dominował trend malejący ceny**, a okresy wzrostu pojawiały się sporadycznie i w wyniku wszelkiego rodzaju kryzysów politycznych i ekonomicznych, zwłaszcza od 1974 r. (embargo OPEC, rewolucja irańska, wojna w Zatoce Perskiej). Po ustąpieniu przyczyn gwałtownych wzrostów cena ropy naftowej zmniejszała się, a niektóre kryzysy ekonomiczne, takie jak recesja z początku lat 80., kryzys azjatycki w 1997 r. oraz kryzys na rynku finansowym w 2008 r. powodowały silne spadki cen.

Rysunek 2. Zachowanie się ceny ropy naftowej w okresie 1861-2008



Źródło: opracowanie własne, dane BP 2008



W przeważającym okresie **trend malejący ceny jest oczywisty** i mimo dwóch szoków ropa w rzeczywistości była realnie tańsza w 1998 r. niż w 1948 r. W latach 1998-2003 nastąpił znaczny wzrost ceny ropy spowodowany szybkim wzrostem przede wszystkim gospodarki Chin i związanym z tym rosnącym popytem na ropę. Zasadniczo jednak po roku 1973 ceny ropy stały się bardziej zmienne, ale nierosnące. Pozostaje to w rażącym kontraście z regułą Hotellinga, która prognozuje, że cena zasobów nieodnawialnych powinna rosnać według stałej stopy. Ceny pozostałych zasobów: miedzi, cynku, rudy żelaza zachowywały się podobnie. Przez cały XX wiek dominował malejący trend cen zasobów [Kronenberg, 2004].

Wydobycie ropy naftowej, podobnie jak wydobycie innych zasobów nieodnawialnych w XX wieku stale rosło, za wyjątkiem spadków w okresie dwóch wojen światowych i wielkiej recesji. W ciągu ostatnich czterdziestu lat podwoiło się, a nie zmniejszyło. Zamiast maleć asymptotycznie, zgodnie z modelem Hotellinga wg stałej stopy, konsumpcja ropy rosła do 2007 r. średniorocznie o 2,3%, a długoterminowe prognozy zakładają kontynuację trendu.

### Wyjaśnienie rozbieżności

Przyczyny rozbieżności teoretycznego zachowania się ceny ropy z rzeczywistością najogólniej tłumaczone są tym, że model Hotellinga sformułowany został na podstawie upraszczających założeń, a ponadto nie uwzględnia wpływu wielu realnych czynników produkcyjnych, rynkowych i politycznych, np. wpływu kosztów wydobycia, działalności poszukiwawczej, postępu technicznego, niedoskonałości rynkowych, stanu rynku finansowego, niepewności praw własności, strategicznego oddziaływania konsumentów i producentów. Hotelling nie wykluczył konieczności oczywistej modyfikacji ogólnej reguły np. w przypadku zmiennej stopy procentowej i innych czynników.

Przez wiele dekad poprzedniego wieku teoria Hotellinga była jedynym lub dominującym podejściem do zasobów nieodnawialnych, ale obecnie już nie jest tak jednoznaczna. Niektórzy ekonomiści odrzucają teorię Hotellinga [Banks, 2007], wskazując na właściwsze podejście wynikające z teorii *oil peak* [Hubbert, 1949]. Inni [Krautkraemer, 1998], [Kronenberg, 2006], [Hamilton, 2008], [Sweeney, 2006] określają warunki obowiązywania modelu i tłumaczą przyczyny rozbieżności modelu teoretycznego z rzeczywistością, natomiast jeszcze inni [Pindyck, 1999], [Farzin, 1984], [Khanna, 2003] rozwijają myśl Hotellinga w sposób bardziej pragmatyczny. Usystematyzowane i pełne wyjaśnienie zachowania się ceny ropy naftowej z wykorzystaniem teorii Hotellinga [Sweeney, 2006] obejmuje przypadki egzogeniczności i endogeniczności ceny, efektu nowych odkryć i zmiany wielkości zasobów, kosztów wydobycia, roli postępu technicznego, podatków [Dasgupta, Heal, Stiglitz, 1980], wymagań środowiskowych, stopy procentowej, warunków konkurencyjności, bezpieczeństwa narodowego i innych czynników.



### Koszty wydobycia i postęp techniczny

Podstawowe założenie Hotellinga o niewystępowaniu kosztów wydobycia uzasadnione było w przypadku olbrzymich złóż ropy naftowej w Arabii Saudyjskiej, ale już nie w przypadku złóż na Morzu Północnym lub na Alasce. Obecnie koszty wydobycia są znaczne, a ponadto **rosnące** (np. w roku 2008 koszty wydobycia z podkładów Alaski i Zatoki Meksykańskiej wynosiły 80-100 USD/boe) i wydaje się racjonalnie uzasadnione, aby formuła cenowa uwzględniała po pierwsze – dodatnie, po drugie – wysokie, po trzecie – rosnące krańcowe koszty wydobycia. Niestety, badania naukowe w tym zakresie obejmują jedynie przypadki dodatnich i stałych krańcowych kosztów wydobycia. Uwzględnienie dodatnich kosztów wydobycia wymaga nieznacznego przeformułowania wzoru Hotellinga: krańcowy zysk jest równy krańcowym przychodom pomniejszonym o krańcowe koszty [Kronenberg, 2006].

$$(1 + r)(P_t - mc) = P_{t+1} - mc$$

Różnica między ceną i krańcowymi kosztami wydobycia ( $P - mc$ ) w tym przypadku nie jest zyskiem w sensie ekonomicznym, lecz „opłatą za eksploatację złoża” lub wartością *in situ*<sup>2</sup> jednostki ropy w złożu (rentą niedoboru lub kosztami utraconych korzyści z wydobycia). Oznaczając wartość *in situ*  $\lambda = P - mc$ , otrzymujemy funkcje:

$$\lambda_t = \lambda_0 e^{rt} \text{ oraz}$$

$$P_t = \lambda_0 e^{rt} + mc,$$

które informują, że **to nie cena rośnie w czasie wg stopy procentowej, lecz wartość *in situ* złoża**. Jeśli krańcowe koszty wydobycia  $mc = 0$ , wówczas otrzymujemy zależność wyjściową – regułę Hotellinga. Ponieważ cena rośnie wraz ze wzrostem wartości *in situ*, składowa ta ma rosnące znaczenie w wyznaczeniu ceny, podczas gdy wpływ stałych krańcowych kosztów wydobycia powinien być malejący. Co się jednak dzieje, jeśli krańcowe koszty wydobycia gwałtownie rosną na skutek rosnącego popytu i zmniejszenia się zdolności wydobywczych dotychczas eksploatowanych złóż, braku wykwalifikowanych nowych kadr lub gwałtownego wzrostu cen stali, jak to miało miejsce w latach 2002-2008? **Krańcowe koszty wydobycia mogą gwałtownie wzrosnąć w tempie przekraczającym stopę procentową, zwłaszcza gdy jest ona niska (jak było w latach 2001-2004 oraz w 2008 r.) i wówczas składowa krańcowych kosztów może silnie wpłynąć na cenę ropy naftowej**. Jeśli natomiast cena ropy będzie niższa od sumy wartości *in situ* oraz krańcowych kosztów wydobycia, złoża nie

<sup>2</sup> *In situ*, z łaciny, oznacza „w miejscu”. Wartość *in situ* oznacza wartość pozostawienia ropy w złożu zamiast wydobycia, zatem oznacza koszty utraconych korzyści z wydobycia, ponieważ wydobycie w bieżącym okresie oznacza mniejsze możliwości wydobywcze w przyszłości.

powinno być eksploatowane, a jeśli wartość *in situ* jest dodatnia i wysoka, złożo powinno zostać niezwłocznie całkowicie wyeksploatowane.

Według Krautkraemera [1998] reguła Hotellinga o rosnącej cenie w tempie stopy procentowej wynika z warunku dynamicznej efektywności na rynku kapitałowym (stopa zwrotu z akcji jest sumą zysków kapitałowych i krańcowych korzyści netto uzyskanych z akcji i jest równa stopie dyskontowej), gdy nie występują krańcowe koszty wydobycia. Decyzja właściciela złoża dotycząca wielkości wydobycia ropy w czasie  $q(t)$  wynika z maksymalizacji wartości obecnej strumienia korzyści netto z wydobycia. Właściciel złoża musi określić warunki  $q(t)$ , dla których funkcja korzyści przyjmuje wartość maksymalną:

$$\int_0^{\infty} e^{-\delta t} [B(q(t), R(t)) - C(q(t), R(t))] dt,$$

gdzie:

$B(q(t), R(t))$  – oznacza korzyści brutto z wydobycia ropy,

$C(q(t), R(t))$  – koszty wydobycia będące funkcją wielkości wydobycia i zasobów ropy,

$R(t)$  – pozostające do wydobycia zasoby ropy,

$\delta$  – stopa dyskontowa.

Warunki konieczne maksymalizacji korzyści wymagają, aby w dowolnym czasie krańcowe korzyści z wydobycia równały się krańcowym kosztom wydobycia (warunek statycznej efektywności) oraz aby stopa zwrotu z kapitału dla właściciela złoża (suma zysków kapitałowych i krańcowych korzyści netto wygenerowanych w wyniku eksploatacji złoża) była równa stopie dyskontowej (warunek dynamicznej efektywności).

Z funkcji maksymalizacji korzyści wynikają implikacje dla ścieżki ceny ropy naftowej. Zakładając, że koszty wydobycia są proporcjonalne do tempa wydobycia, **stopa zmiany ceny ropy naftowej jest równa średniej ważonej stopy dyskontowej i stopy zmiany krańcowych kosztów wydobycia**, ważonej relacją kosztów krańcowych do ceny:

$$\delta(1 - \theta) + \frac{\dot{\gamma}}{\lambda}\theta,$$

gdzie:

$\delta$  – oznacza stopę dyskontową,

$\dot{\gamma}$  – egzogeniczną pochodną względem czasu krańcowych kosztów wydobycia,

$\theta = \lambda/P(t)$  – relację kosztów krańcowych do ceny (wagę).

Gdy krańcowe koszty wydobycia są stałe w czasie ( $\dot{\gamma} = 0$ ), stopa wzrostu ceny ropy naftowej jest dodatnia, ale mniejsza niż stopa dyskontowa. W pewnym okresie cena ropy może być malejąca, gdy postęp techniczny i technolo-

giczny spowoduje nagłe zmniejszenie krańcowych kosztów wydobycia ( $\dot{\gamma} < 0$ ), a cena jest zbliżona do krańcowych kosztów wydobycia, co może wystąpić w początkowym okresie wydobywania. Jednak ponieważ waga stopy dyskontowej rośnie, gdy krańcowe koszty wydobycia maleją, stopa wzrostu ceny wzrasta i przyjmuje wartości dodatnie. W konsekwencji postępu technicznego, który obniża krańcowe koszty wydobycia, **cena ropy naftowej może poruszać się wzdłuż krzywej w kształcie litery „U”** – zmniejszać się w pewnym początkowym okresie, a następnie rosnąć w efekcie przeważającego znaczenia wyczerpywalności zasobów nad spadkiem kosztów wydobycia. Ścieżka przebiegu ceny ropy wzdłuż krzywej w kształcie „U” jest spójna z krzywymi cen dla innych minerałów [Slade, 1982], a stopa zmiany ceny ropy naftowej jest funkcją kosztów wydobycia i stopy procentowej [Dasgupta, Heal, Stiglitz, 1980].

### Działalność poszukiwawcza

Model Hotellinga opiera się na znanej wielkości zasobów, w rzeczywistości jednak szczytowe wydobycie uzależnione jest od wyników działalności poszukiwawczej i zagospodarowania. Nowe odkrycia prowadzące do wzrostu zasobów wymagają prowadzenia kosztownych prac poszukiwawczych, których wynik obarczony jest **niepewnością**. Poziom aktywności poszukiwawczych zatem balansuje pomiędzy oczekiwanymi krańcowymi korzyściami a krańcowymi kosztami wydobycia. **Wyniki prac poszukiwawczych obejmują informację *ex-ante*** o oczekiwanych nowych zasobach ropy i przyszłym wydobyciu, które wpływają na wycenę zasobów, zmianę wydobycia i cenę ropy. Motywacją prowadzenia prac poszukiwawczych o wysokim prawdopodobieństwie sukcesu jest obniżenie średnich kosztów wydobycia ze wszystkich istniejących złóż. Jeśli początkowe zasoby są relatywnie niewielkie, to wydobycie jest również niewielkie, koszty wydobycia są relatywnie wysokie, a cena ropy wysoka. Wysoka początkowa cena i koszty wydobycia zachęcają do podejmowania prac poszukiwawczych w celu zwiększenia zasobów i obniżenia kosztów wydobycia. Zwiększenie zasobów pozwala na zwiększenie wydobycia, obniżenie kosztów, ale również redukuje motywację do dalszych prac poszukiwawczych, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia zasobów. **Dla stałego popytu cena ropy zmienia się w przeciwnym kierunku do zmiany wydobycia wzdłuż krzywej w kształcie „U”.**

**Niepewność wyniku** działalności poszukiwawczej i zagospodarowania (poprzez wielkość zasobów) nie ma wpływu na zachowanie się ceny wg modelu Hotellinga (tzn. na stopę wzrostu ceny), gdy koszty wydobycia są stałe lub zmieniają się liniowo wraz z wielkością zasobów (popytu). W przypadku wypukłej krzywej kosztów wydobycia w funkcji wielkości zasobów (druga pochodna jest większa od zera, styczna do krzywej jest wznosząca) stopa wzrostu ceny maleje, a cena początkowa rośnie. **Niepewność popytu** nie ma wpływu na cenę ropy niezależnie od kosztów wydobycia (stałych lub zmieniających się), ponieważ producenci mogą w sposób ciągły dostosować wydobycie do zmienności rynku w zakresie, w jakim cena i wydobycie może odpowiedzieć na zmienność rynku i poza przypadkami przesunięć krzywych popytu.

Alternatywy opis wpływu niepewności wyników prac poszukiwawczych na zachowanie się ceny ropy wynika z **podejścia do prawdopodobieństwa sukcesu**. Dla danego obszaru geologicznego, zakłada się znane i niezmiennie prawdopodobieństwo odkrycia (pewność dokonania odkrycia w długim horyzoncie). Gdy koszty poszukiwań są proporcjonalne do działalności eksploracyjnej, odkrycia zdarzają się jedynie epizodycznie, a w interwałach pomiędzy tymi epizodami nie prowadzi się prac poszukiwawczych. W okresach pomiędzy odkryciami złóż wartość *in situ* ropy rośnie według stopu procentowej. Po zakończeniu prac następują skoki ceny w górę lub w dół, w zależności od ich wyników. W konsekwencji **wykras ceny przybiera kształt piło-podobny**. Ograniczoność i wyczerpywanie się nowych niezbadanych obszarów powoduje, że prawdopodobieństwo wzrostu ceny ropy z powodu nieefektywnych prac poszukiwawczych rośnie [Dasgupta, 1974].

### Stopa procentowa, kursy walutowe i polityka monetarna

Z reguły Hotellinga wynika, że stopa zmiany ceny ropy jest bezpośrednio związana ze stopą procentową – niższa stopa procentowa powoduje wolniejszy wzrost ceny. Niższa stopa procentowa prowadzi również do większego skumulowanego wydobycia wzdłuż ścieżki ceny rosnącej od tego samego poziomu początkowego. Wyższe stopy procentowe powodują, że początkowa cena musi być wyższa, ponieważ skumulowane wydobycie jest ograniczone wielkością złoża. W konsekwencji niższa stopa procentowa przesuwa bieżące wydobycie na przyszłe okresy i odwrotnie – wyższa stopa procentowa przesuwa przyszłe wydobycie na czas bieżący.

Analiza strukturalnego modelu rynku ropy prowadzi jednak do przeciwnych wniosków, co potwierdzają historyczne relacje [Krichene, 2005], Niskie stopy procentowe (do analiz wykorzystuje się stopy procentowe amerykańskich funduszy federalnych, 3-miesięcznych amerykańskich bonów skarbowych i 10-letnich obligacji rządu USA, które wpływają na stopy procentowe w pozostałych krajach świata) w latach 2000-2004 stymulowały ogólny popyt i tym samym popyt na energię oraz powodowały wzrost ceny ropy naftowej. Niskie stopy procentowe prowadziły również do deprecjacji dolara (w którym denominowane są ceny ropy), co sprawiało, że zakupy (import) w lokalnych walutach stawały się tańsze, natomiast marże zysku krajów eksportujących spadały. Deprecjacja dolara wobec innych walut do roku 2008 sprawiała zatem, że ropa stawała się tańsza dla konsumentów, a producenci osiągalni coraz niższe zyski. Te dwa czynniki łącznie wywierały presję na wzrost ceny w dolarach. Podobne zachowanie się ceny ropy obserwowano w latach 70., kiedy słabnącemu dolarowi towarzyszyły gwałtownie rosnące ceny ropy. Bardzo wysokie stopy procentowe w latach 1980-1985 prowadzące do aprecjacji dolara spowodowały, że import stawał się coraz droższy w lokalnych walutach, co z kolei wymuszało efektywniejsze zużycie i spadek cen ropy.

Generalnie aprecjacja dolara wynikająca z wysokich stóp procentowych i zakupów kontraktowych ma znaczny negatywny krótkoterminowy wpływ na

cenę ropy, jak również na popyt i wydobycie ropy. W długim terminie aprecjacja dolara wpływa również negatywnie na popyt i wydobycie ropy. Odwrotnie, spadające stopy procentowe oraz deprecjacja dolara mogą prowadzić do wzrostu cen ropy.

Istnieją również przesłanki, by doszukiwać się wpływu poluzowania polityk monetarnych i niskich stóp procentowych oraz bogactwa funduszy SWF na gwałtowny wzrost wolnego, mobilnego kapitału oraz luki pomiędzy popytem i podażą wysokiej klasy, płynnych aktywów (po upadku w 2007 r. amerykańskiego rynku sekurytyzowanych kredytów hipotecznych), co w konsekwencji przyczyniało się do wzrostu cen poszczególnych surowców. Zwiększająca się luka pomiędzy popytem a podażą aktywów prowadziła do wzrostu cen towarów (oddzielnie i kolejno oraz wszystkich razem jako indeksu towarowego). Wzrost cen żywności powodował wzrost cen ropy i odwrotnie. Dodatkowo niskie stopy procentowe zniechęcały do podejmowania decyzji o wydobyciu – raczej skłaniały do „magazynowania pod ziemią” zgodnie z teorią Hotellinga (nie stwierdzono wzrostu zapasów „na powierzchni ziemi” świadczącego o roli spekulantów). Olbrzymi napływ gotówki na rynek *futures* wpłynął na wzrost cen kontraktów *futures* (zwłaszcza przed majem 2008 r. zanim rynek przeszedł z *backwardation* w *contango*, tzn. gdy ceny *futures* przewyższyły ceny spotowe), co kształtowało oczekiwania i wpływało na zachowanie uczestników rynku, zwłaszcza na inwestorów finansowych, którzy rozpoczęli zakładać się o cenę – w przeciwieństwie do inwestorów komercyjnych, którzy swoje decyzje opierali na przesłankach fundamentalnych.

### Niedoskonałość rynków

Teoretycznie na doskonale konkurencyjnym rynku można efektywnie alokować zasoby nieodnawialne dopóki rynek jest kompletny, tzn. obejmuje rynek forwardowy, kapitałowy i ryzyka [Dasgupta, Heal, 1974]. W przypadku braku rynku forwardowego uczestnicy gospodarki (agenci) muszą formować oczekiwania wobec przyszłych cen. Możliwe jest, że rynek będzie podążał ścieżką krótkoterminowej równowagi cenowej, ale początkowa cena ropy będzie albo zbyt wysoka, albo zbyt niska. Jeśli zbyt niska, wydobycie ropy będzie zbyt duże i wówczas dla osiągnięcia równowagi cena będzie skorygowana albo zasoby będą wyczerpane zbyt wcześnie. Jeśli cena ropy będzie zbyt wysoka, wydobycie będzie zbyt niskie i skumulowane wydobycie w całym okresie eksploatacji będzie nieefektywnie niskie [Krautkraemer, 1998].

Istotną cechą rynku ropy naftowej jest występowanie dostawców posiadających siłę rynkową. Przedsiębiorstwa wydobywcze posiadające siłę rynkową stoją w obliczu opadającej krzywej popytu i wydobycie ropy zapewniające maksymalizację zysku występuje, gdy krańcowe przychody raczej niż cena równają się sumie krańcowych kosztów wydobycia i wartości *in situ*. Różnica pomiędzy krańcowym przychodem i krańcowymi kosztami wydobycia rośnie wg stopy procentowej. Efekt siły rynkowej na ścieżce wydobycia zależy od tego, jak zmienia się elastyczność ze zmianą wydobycia. W przypadku stałej elastyczności

cenowej popytu i zerowych krańcowych kosztów wydobycia, krzywe wydobycia i ceny są takie same w warunkach monopolu, jak i w warunkach doskonałej konkurencji [Stiglitz, 1976], ponieważ w przypadku stałej elastyczności popytu nie występują korzyści wynikające ze zmiany tempa wydobycia, a niższe bieżące wydobycie pozwala na większe wydobycie w przyszłości. Jednak elastyczność, co jest typowe dla rynku ropy, zwiększa się ze wzrostem ceny i zachowanie monopolisty jest bardziej konserwatywne niż w warunkach doskonałej konkurencji – ścieżka ceny zaczyna się wyżej i rośnie wolniej w warunkach monopolu niż w warunkach doskonałej konkurencji.

Regułę Hotellinga można potraktować jako szczególny przypadek ogólnej teorii, gdy krańcowe przychody równe są cenie, czyli w warunkach doskonałej konkurencji [Kronenberg, 2006]. Stosując regułę Hotellinga do przypadku dostawcy-monopolisty, funkcję ceny ropy naftowej z wykorzystaniem elastyczności cenowej popytu można zapisać następująco:

$$P_{t+1} = (1 + r)P_t \frac{1 + 1/\varepsilon_t}{1 + 1/\varepsilon_{t+1}}.$$

W przypadku niezmienniej elastyczności formuła cenowa przybiera postać wyjściową (Hotellinga) jako szczególny przypadek. W zależności od struktury popytu elastyczność może wzrosnąć lub zmniejszyć się. Badania jednak dowodzą [Potocki, 2009], że w długim okresie elastyczność zmniejsza się, co powinno wpływać na silniejszy wzrost ceny ropy niż wynikałoby z reguły Hotellinga. Malejąca elastyczność cenowa może być wykorzystana przez dostawcę-monopolistę, którego siła rynkowa rośnie, gdy elastyczność maleje, do odpowiedniego zaplanowania dostaw przy korzystnej cenie. Niska elastyczność może być wykorzystywana przez ograniczenie dostaw do gwałtownego wzrostu ceny do wysokich poziomów.

Monopolista zachowuje się jak firma konkurencyjna tylko wtedy, gdy elastyczność zmienia się wzdłuż krzywej izoelastycznego popytu. Jeśli elastyczność rośnie, monopolista eksploatuje złożę zbyt szybko, jeśli maleje – zbyt wolno [Kronenberg, 2006].

### Niepewność praw własności

Prosty model Hotellinga zakłada przestrzeganie praw własności. W rzeczywistości w wielu krajach bogatych w złoża węglowodorów panuje korupcja i brak poszanowania dla prawa, a zwłaszcza dla praw własności (kraje afrykańskie, Azja Środkowa, Rosja, Wenezuela). Korupcja, niedemokratycznie wybrane rządy, potencjalne przewroty, wojny wewnętrzne i międzynarodowe zwiększają prawdopodobieństwo utraty prawa własności (np. licencji)  $\eta$ , które obniża wartość bieżącą zasobów dla właściciela oraz tempo wzrostu ceny wg zmodyfikowanej reguły Hotellinga [Kronenberg, 2006]:

$$P_{t+1} = P_t (1 + r) \eta.$$



Dla dostatecznie wysokiej niepewności praw własności  $\eta$  wyrażenie  $(1 + r)\eta < 1$  i wówczas cena zacznie się zmniejszać.

W warunkach niepewności praw własności prywatny właściciel złoża będzie dążył do szybszej eksploatacji (powyżej optymalnej wielkości wydobywania z punktu widzenia korzyści społecznych) niż w stabilnych warunkach.

Fala nacjonalizacji złóż ropy naftowej, jaka przeszła przez większość krajów głównych producentów, zwiększa upolitycznienie rynku ropy oraz będzie mieć negatywne konsekwencje dla jakości zarządzania zasobami oraz jakości informacji.

### Strategiczne oddziaływania

Jedną z przyczyn niezgodności teoretycznego modelu Hotellinga z rzeczywistością są strategiczne oddziaływania konsumentów i producentów, wynikające z różnicy interesów oraz niesymetryczności informacji. Wpływ oddziaływań strategicznych na cenę i wydobywanie ropy można odczytać poprzez analizę gry prowadzonej przez jej dwóch uczestników: właściciela złoża i konsumenta. Właściciel złoża zna jego wielkość, natomiast konsumentowi pozostaje wierzyć komunikowanym informacjom, ponieważ nie ma możliwości ich zweryfikowania, a ponadto właściciel złoża ma interes, aby zawyżać wielkość złoża. Konsument natomiast w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego będzie rozważał możliwości i opłacalność zastąpienia ropy przez inne paliwo lub źródło energii. Wynalezienie opłacalnej technologii alternatywnego źródła energii sprawiłoby, że zasoby straciłyby swoją wartość, a właściciele złóż źródło dochodów. Właściciel złoża dąży do opóźnienia decyzji konsumenta o przygotowaniu i wdrożeniu alternatywnej technologii poprzez komunikowanie o wielkości zasobów – będzie je zawyżał. W celu uwiarygodnienia swoich informacji producent może zwiększać bieżące wydobywanie, na podstawie którego konsument szacuje wielkość zasobów. Jeśli konsument przeszacuje wielkość zasobów, może odłożyć decyzję o badaniach nad technologią alternatywnej energii. Jednak poprzez odpowiednie zachowanie (oświadczenia dotyczące technologii alternatywnych) konsument może również wpływać na decyzje właściciela złoża. Jeśli producent uzna, że wdrożenie nowej technologii będzie możliwe w przyszłości, będzie dążył do pozbycia się zasobów ropy zanim stracą swoją wartość i zwiększy wydobywanie, co spowoduje zmniejszenie ceny. Zarówno motywacja właściciela złoża, aby zawyżać wielkość zasobów, jak i motywacja konsumenta, aby przekonać producenta o swoich możliwościach technologicznych prowadzą do przyspieszonej eksploatacji złoża niż wynikałoby z publicznego optimum.

Ta sprzeczność interesów i niesymetryczność informacji pomiędzy właścicielem i konsumentem dotycząca wielkości zasobów i technologii alternatywnych powoduje, że strategiczne oddziaływania pełnią krytyczną rolę w kształtowaniu wielkości wydobywania i ceny ropy naftowej [Kronenberg, 2006], [Banks, 2007].

Wpływ strategicznych oddziaływań na zachowanie się ceny ropy nie został dostatecznie udokumentowany, jednak fakt podwojenia zasobów ropy naftowej przez kraje OPEC w latach 1985-1990 po wyeliminowaniu zachodnich koncernów, rodzi podejrzenia o zawyżenie wielkości własnych zasobów [Campbell,



Laherrere, 1998], [Banks, 2007], co powoduje zawyżanie zasobów globalnych, zwiększanie tempa wydobywania, zmniejszenie tempa wzrostu ceny, opóźnienie rozwoju technologii alternatywnych i zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego. Według agencji IEA [2006] wzrost udowodnionych zasobów nie wynika z nowych odkryć, lecz z przekwalifikowania części zasobów z prawdopodobnych do udowodnionych ze względu na taki wzrost cen ropy, który uczynił opłacalnym wydobywanie ze złóż znanych, ale nieeksploatowanych w latach 80. i 90. ze względu na wysokie koszty wydobywania. Podkreśla się, że ilość ropy odkrytej z zupełnie nowych wierceń znacząco spadła w ciągu ostatnich 40 lat.

Z rozważań tych wynika wniosek, że **w interesie publicznym leży zmniejszenie konsumpcji ropy naftowej i przyspieszenie rozwoju technologii alternatywnych.**

## Modele niestrukturalne

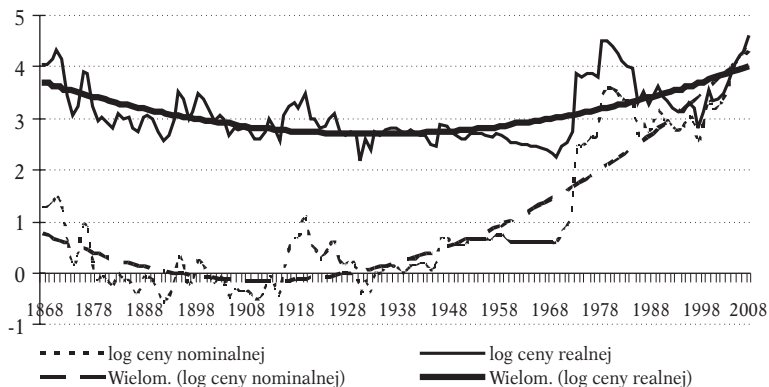
### Model Pindycka

Na podstawie teorii Hotellinga i analizy danych z okresu 127 lat, Pindyck [1999] zaproponował model niestrukturalny ceny nośników energetycznych, m.in. ropy naftowej, abstrahujący od wielu czynników wpływających na cenę, takich jak: podaż, popyt, zachowanie krajów OPEC, postęp techniczny czy czynniki regulacyjne. Według modelu Pindycka **ceny nośników energetycznych wykonują ruchy geometryczne Browna lub ruchy powracające, wahadłowe z uskokami wokół „niezauważalnej” długoterminowej linii, w kształcie litery „U”** (rys. 3), **krańcowych kosztów wydobywania**. Dla stałych krańcowych kosztów wydobywania  $c$ , jednolitej elastyczności, początkowego poziomu zasobów  $R_0$ , wychodząc z równania Hotellinga, cena w dowolnym okresie opisana jest funkcją:

$$P_t = c + \frac{ce^{rt}}{e^{rcRo/A} - 1},$$

gdzie  $A$  oznacza popyt i  $r$  – realną stopę procentową.

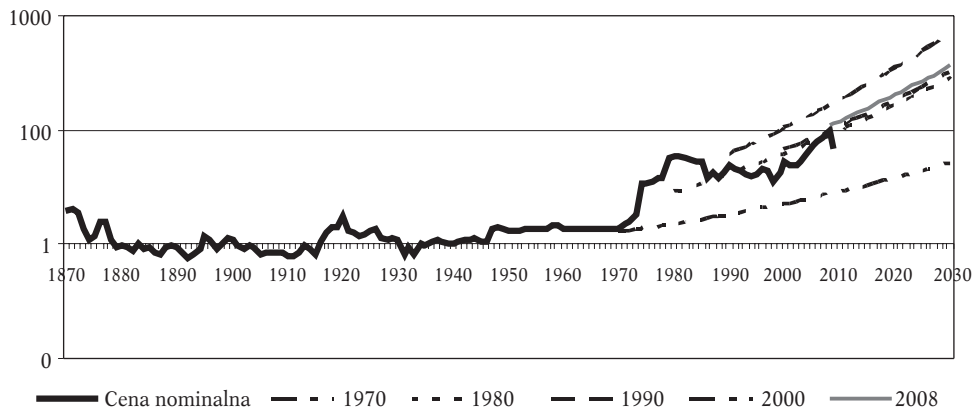
Rysunek 3. Wahania cen ropy wokół długoterminowej linii trendu krańcowych kosztów wydobywania



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BP 2008

Dla większości zasobów wyczerpywanych można oczekiwać, że popyt, koszty wydobycia i zasoby wahają się w czasie w sposób ciągły i nieprzewidywalny. Otwartą kwestią jest stałość procesów opisanych tymi zmiennymi, ale w każdym wypadku można oczekiwać, że cena będzie zmieniać się w czasie wzdłuż linii trendu z wahaniami i uskokami.

Rysunek 4. Nominalna cena ropy naftowej w okresie 1870-2007 oraz prognozy w latach 1970, 1980, 1990, 2000, 2008 do roku 2030 na podstawie modelu Pindycka (skala logarytmiczna)



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BP 2008

Model Pindycka pozwala na określenie parametrów linii trendu (rys. 4) i tym samym krańcowych kosztów wydobycia w dowolnym punkcie. Odwrotnie, prognozowanie ceny w oparciu o to podejście wymaga oszacowania krańcowych kosztów wydobycia i charakterystyki ich zmiany w czasie. Praktyczne wykorzystanie formuły ceny ropy jest jednak znacznie utrudnione z powodu założeń modelu – konieczności określenia punktu początkowego i wielkości zasobów początkowych  $R_0$ , krańcowych kosztów wydobycia, które przez wiele dekad były niskie i w miarę stabilne, ale w latach 2002-2008 dynamicznie rosły.

### Model Khanny

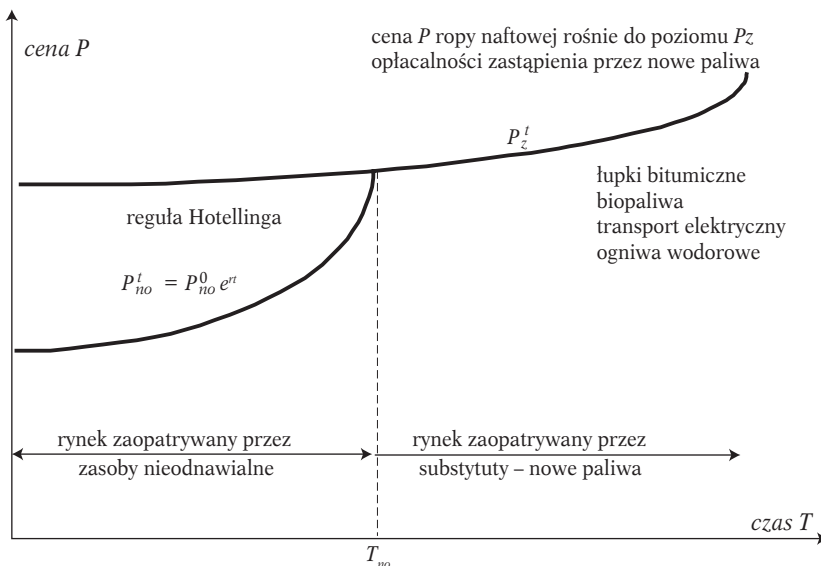
Inne modele oparte na teorii Hotellinga, w tym model Khanny [Khanna, 2003], zawierają wiele założeń upraszczających i np. uzależniają koszty wydobycia od skumulowanego wydobycia, wprowadzają doskonałe substytuty dla zasobów nieodnawialnych, które mogą być dostarczane przy stałej, ale wysokiej cenie w ogromnych ilościach (zrównanie cen powoduje ich zamianę), uwzględniają zmienne koszty wydobycia, nowe odkrycia i wpływ nowych technik wydobycia, zmienny popyt i monopolistyczne warunki rynkowe.

Model Khanny uwzględnia zmienny popyt oraz zmienne koszty wydobycia, a krzywa równowagi cenowej opada lub wzrasta w zależności od relacji tempa wzrostu konsumpcji i tempa wzrostu krańcowych kosztów wydobycia. Cena dla konsumenta zdefiniowana została jako suma renty niedoboru (*scar-*

city rent) i krańcowych kosztów wydobycia i zależy od interakcji tych dwóch zmiennych. Jeśli koszty wydobycia zmniejszają się szybciej niż rośnie renta niedoboru, wówczas cena dla konsumenta może stopniowo zmniejszać się. Ponieważ zasoby zmniejszają się, renta niedoboru rośnie gwałtownie i tempo wzrostu renty przekroczy tempo spadku kosztów wydobycia powodując zmianę trendu ceny na rosnący.

Z symulacji ceny i wydobycia ropy dla sześciu scenariuszy Khanna (w zależności od tempa wzrostu wydobycia, popytu, kosztów wydobycia, możliwości zastąpienia ropy przez inne paliwo) wynika, że niezależnie od możliwości zastąpienia ropy przez alternatywne paliwo, wydobycie spada, gdy popyt pozostaje stały lub słabo rośnie. We wszystkich innych scenariuszach wydobycie najpierw rośnie, a później spada na skutek wyczerpywania zasobów i braku zastąpienia. W przypadku braku zastąpienia ropy, niezależnie od scenariusza wydobycie najpierw rośnie, a później oczywiście spada na skutek wyczerpywania zasobów. W przypadku możliwości zastąpienia ropy przez inne nośniki energetyczne, dla stałych kosztów i wysokiego tempa wzrostu popytu wydobycie rośnie jednostajnie aż do wyczerpania zasobów. Gdy **koszty wydobycia rosną wolno a popyt rośnie w tempie historycznym, można być spokojnym o podaż ropy**, która rośnie wolno aż do wyczerpania zasobów. Dla pewnego poziomu cen wystąpiłoby płynne przejście na inne alternatywne paliwo. W pięciu na sześć scenariuszy Khanny cena ropy rośnie jednostajnie do poziomu (50 USD/boe), przy którym następuje przejście na alternatywne paliwo (rys. 5).

Rysunek 5. Wpływ ceny ropy naftowej na możliwość zastąpienia ropy przez alternatywne paliwa



Źródło: opracowanie własne na podstawie [Khanna, 2003]

Ceny ropy naftowej poniżej progu rentowności paliw alternatywnych, takich jak biopaliwa czy z ropy niekonwencjonalnej, uniemożliwiają ich rozwój i wykorzystanie w energetyce. Ceny ropy poniżej progu opłacalności dla zagospodarowania nowych złóż ropy (które wzrosły od 18 USD/boe w 1999 r. do 62 USD/boe w 2007 r.) powodują zaniechanie inwestowania w nowe złoża. Bardzo niskie ceny ropy utrzymujące się od IV kwartału 2008 r. do II kwartału 2009 r. powodują wstrzymanie inwestowania w zagospodarowanie nowych złóż oraz w rozwój paliw alternatywnych, co w sytuacji powrotu ożywienia gospodarczego i wzrostu zapotrzebowania na energię i nierozbudowanych możliwości dostaw, wywoła gwałtowny wzrost ceny.

Niektórzy ekonomiści kwestionują możliwości wykorzystania teorii Hotellinga do rozważania problemów ceny ropy. Twierdzą, że zasoby ropy powinny być traktowane podobnie jak zapasy, które są ciągle szczypany, ale również uzupełniane w wyniku prac eksploracyjnych i wydobywania. Dlatego punkt ciężki powinien spoczywać nie na wyczerpywalności zasobów, lecz na zagadnieniach inwestycji w odtwarzanie zapasów. Konsekwencją takiego podejścia jest brak pojęcia renty niedoboru i niestosowność modeli wykorzystywanych do opisu mechanizmów kształtujących cenę ropy.

Jeszcze inni ekonomiści [Banks, 2007] uważają, że teoria Hotellinga zupełnie nie przystaje do opisu złożoności problemów związanych z ropą naftową w realnym świecie (w przeciwieństwie do idealnego z perfekcyjnie funkcjonującą konkurencją), w którym funkcjonuje OPEC, przedsiębiorstwa petrochemiczne oraz rządy (np. działania militarne USA w celu zapewnienia kontroli wydobycia, w ostatnich latach aktywność dyplomatyczno-ekonomiczna Chin i Rosji), które podejmują decyzje o wydobyciu i wpływają na cenę. Ponadto z równania Hotellinga wynika, że dla  $\Delta P/P > r$ , czyli gdyby cena miała rosnać szybciej niż stopa procentowa wówczas właściciele złóż nie mieliby motywacji do wydobycia, preferowaliby wydobycie w przyszłości, ale taki prosty wybór w realnym świecie nie zawsze jest możliwy. Pewnych procesów technologicznych nie można zatrzymać, a ponadto zatrzymanie wiąże się z dodatkowymi kosztami zatrzymania i wznowienia oraz utraconymi korzyściami. Dlatego uważają, że podejście Hotellinga może być wykorzystywane do wyjaśnienia zachowania się indywidualnych przedsiębiorstw w urojonym (*make-believe*), doskonale konkurencyjnym świecie, w którym zachowania się firm przenoszone są gładko na cały sektor.

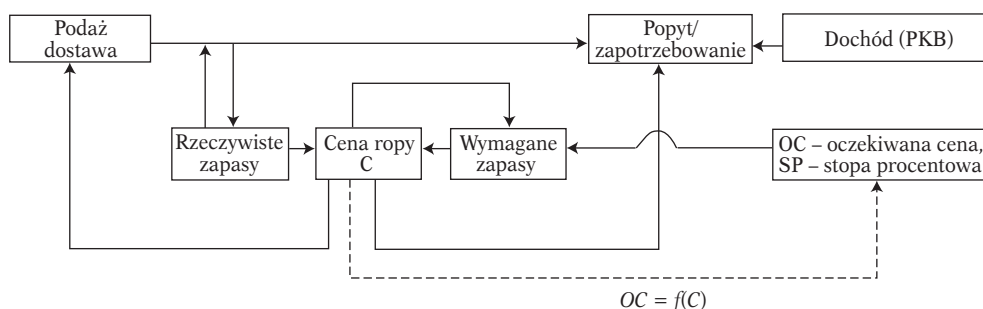
### **Model krótkoterminowej równowagi rynkowej**

Wobec skali i przyczyn rozbieżności teoretycznego zachowania się ceny ropy naftowej z rzeczywistością otwartym pytaniem jest czy wykorzystywanie teorii Hotellinga jest uzasadnione. Banks [2007] twierdzi, że teoria Hotellinga zupełnie nie przystaje do złożoności współczesnego świata, odzwierciedlonego m.in. w stopie procentowej i proponuje model pozwalający zrozumieć niestabilność ceny w bliskiej perspektywie.

Model krótkoterminowej równowagi rynkowej opiera się na relacji między wymaganym i rzeczywistym stanem zapasów oraz ceną, strumieniem dostaw i strumieniem popytu. **Cena uzależniona jest od relacji stanów zapasów wymaganych do rzeczywistych** oraz od strumieni popytu i podaży w funkcji czasu. [Banks, 2007].

Istotą modelu jest to, że równowaga w modelu jest definiowana jako sytuacja, gdy zapotrzebowanie na zapasy jest równe rzeczywistym zapasom. Jest to istotne rozróżnienie w odniesieniu do tradycyjnej w ekonomii definicji równowagi wynikającej z równości popytu i podaży, ponieważ może istnieć równowaga popytu i podaży ropy naftowej bez równowagi zapasów, ale bez równowagi zapasów nie można mówić o „pełnej równowadze”. Jeśli wymagane zapasy nie są równe zapasom rzeczywistym, wtedy równowaga przepływów (popytu i podaży) nie może istnieć. Ta nierównowaga przepływów utrzymuje się dopóki nie wystąpi równowaga zapasów.

Rysunek 6. Model osiągnięcia krótkoterminowej równowagi na rynku ropy naftowej



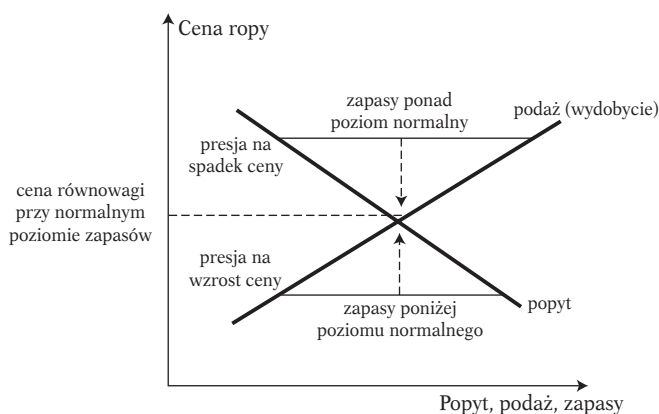
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Banks, 2007]

Jeżeli rzeczywiste zapasy równe są wymaganemu poziomowi, wówczas strumień popytu równy jest strumieniowi podaży a cena jest stała – możemy wtedy mówić o „pełnej równowadze”. W przypadku nierównowagi zapasów rzeczywistych (RZ) i wymaganych (WZ) z powodu oczekiwanych obecnego lub przyszłego zapotrzebowania, pomimo równowagi strumieni dostaw i popytu mamy „niepełną równowagę”, ponieważ do osiągnięcia „pełnej równowagi” podaż musi odpowiedzieć na zapotrzebowanie i zareagować cena. Jeśli wymagane są dodatkowe dostawy na uzupełnienie zapasów, wtedy cena wzrośnie. Wzrost ceny spowoduje wzrost podaży i zmniejszenie zapotrzebowania. W ten sposób rynek osiągnie nowy stan równowagi. Zatem w **modelu tym rynek znajduje się w równowadze wyłącznie wtedy, gdy występuje równowaga zapasów**, która z kolei powoduje równowagę strumieni dostaw i popytu oraz stabilizację ceny. Osiągnięcie równowagi na rynku ropy zapewnia mechanizm sprzężenia zwrotnego między ceną, oczekiwaniami oraz wymaganymi zapasami (rys. 6).

Jeśli właściciele zapasów uznają, że posiadają nadmierne zapasy ropy (do takiej konkluzji mogą dojść, gdy oczekują spadku cen), a zatem gdy  $RZ > WZ$ , wówczas pozbędą się nadmiaru (wykorzystają lub sprzedadzą), aby w później-

szym okresie odbudować zapasy przy niższej cenie. Zapasy nie mogą spaść natychmiast (decydują prawa fizyki, a nie ekonomii), ale aby uległy zmniejszeniu, cena musi ulec zmniejszeniu od punktu, w którym strumień dostaw równy był strumieniowi popytu. Spadek ceny spowoduje bieżące zmniejszenie strumienia dostaw i/lub zwiększenie bieżącej konsumpcji (podaż < popyt) zaspokojonej z istniejących zapasów i/lub przez działalność wydobywczą. Spadek cen może również wpłynąć na **oczekiwania cenowe**. Jeśli właściciele zapasów uznają, że ceny znajdują się w trendzie spadającym, dojdą do wniosku, że zapasy należy zmniejszyć do minimum, aby możliwie najszybciej odzyskać kapitał i zrobić miejsce dla nowej ropy – zainwestować przy niższej cenie.

Rysunek 7. Wpływ wielkości zapasów, popytu i podaży na zachowanie się ceny spotowej ropy



Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ye, Shore, 2001]

Relacje między zapasami i ceną dobrze ilustruje (rys. 7) informacja ze strony rynku towarowego *The Financial Times* (4 listopada 2004 r.): *cena futures ropy naftowej spadła na skutek dużego wzrostu komercyjnych zapasów ropy w USA sygnalizującego, że rynek ropy jest dobrze zaopatrzony*.

Odwrotna reakcja rynku została skomentowana przez agencję Reuters (w dniu 19 sierpnia 2009 r.): *środkowy wzrost ceny ropy naftowej o 4% został spowodowany ogłoszeniem przez rząd amerykański danych mówiących o spadku importu i zapasów ropy naftowej do najniższego poziomu od września 2008 r. wobec przewidywanego przez analityków wzrostu zapasów. Być może import spadł, ponieważ spółki paliwowe zmagazynowały ropę na tankowcach oczekując na wyższą cenę*.

Mechanizm równowagi krótkoterminowej obejmuje również relacje na rynku *futures* między ceną *spot* i ceną kontraktów *futures* będące formą arbitrażu pod warunkiem, że istnieją fizyczne możliwości magazynowania zapasów. Jeśli ceny *futures* są „zbyt wysokie” w relacji do cen spotowych, można zrealizować zysk bez ryzyka poprzez zakup ropy na rynku spot, zmagazynowanie i sprzedaż w przyszłości. Zakup spowoduje wzrost rzeczywistych zapasów. Odwrotnie, jeśli ceny *futures* są „zbyt niskie”, posiadający zapasy mogą osiągnąć zysk sprzedając

zmagazynowaną ropę za cenę spot i zakup ropy za niższą cenę w kontakcie *futures*, aby odbudować zapasy w terminie późniejszym.

**Oczekiwania** pełnią w modelu istotną rolę, ponieważ dotyczą nie tylko przyszłej ceny i możliwości dostaw ropy (geologia, geopolityka), ale również tempa rozwoju ekonomicznego (PKB), zapotrzebowania na energię, warunków na rynku pieniężnym (stopa procentowa) i oddziałują na wymagane zapasy, a oczekiwania odnośnie do ceny (mające swoje odzwierciedlenie na rynku *futures*), uzasadnione czy błędne, **mają kluczowy wpływ na określenie ceny równowagi**. Sprzężenie zwrotne między ceną i wymaganymi zapasami pełni w modelu funkcję regulującą stan równowagi. Stany nierównowagi i nawet bardzo znaczne wahania są naturalnymi stanami, które sprzężenie zwrotne pomiędzy ceną i wymaganymi zapasami tłumi. Cena równowagi nie jest osiągnięta w jednym takcie, lecz w wyniku tłumionych wahań, które odbywają się według funkcji:

$$P = P_r + X \cos(\psi t - Y),$$

gdzie  $X$ ,  $Y$  są stałymi, natomiast  $\psi$  jest stałą „strukturalną” (których wartości mogą być wyznaczone z równania). Cena oscyluje wokół ceny równowagi, a odchylenia maleją w czasie. Z drugiej jednak strony cena uzależniona jest od poziomu wymaganych zapasów będących funkcją oczekiwań, które formowane są w sposób adaptacyjny (czas przynosi nowe oczekiwania – jak w życiu człowieka).

Praktycznie cena nigdy nie porusza się wzdłuż gładkiej krzywej opisanej powyższą funkcją. Wahania są nieregularne i trudno dostrzec prawidłowość. Często wahania są tak znaczne, że prowadzą do błędnej interpretacji przyszłych zmian na rynku. Rynek *futures* jest miejscem, gdzie dokonywana jest okresowa rewizja oczekiwań, ponieważ ceny *futures* odzwierciedlają oczekiwane przyszłe ceny spotowe.

Znaczne wahania cen ropy to jedna z przyczyn, dla których rynek *futures and options* ma olbrzymie i pozytywne znaczenie – nawet krótkotrwałe – ale znaczne wahania cenowe mogą zrujnować niezabezpieczonych kupujących lub sprzedających. Z drugiej strony znaczne wahania cen przyciągają zarówno spekulantów, jak i dealerów fizycznej ropy.

### **Zdolność istniejących zasobów do pokrycia przyszłego popytu**

Analiza równowagi rynkowej wymaga rozważenia zdolności istniejących światowych zasobów do pokrycia konsumpcji tkwiących we wskaźniku odtwarzania zasobów  $\Theta = R/q$ ; gdzie  $R$  oznacza wielkość zasobów (rezerw) i  $q$  – konsumpcję roczną, które zmieniają się w czasie według poniższych zależności [Banks, 2007]:

$$R_{t+1} = R_t (1 + y)^t,$$



$$q_{t+1} = q_t (1 + x)^t,$$

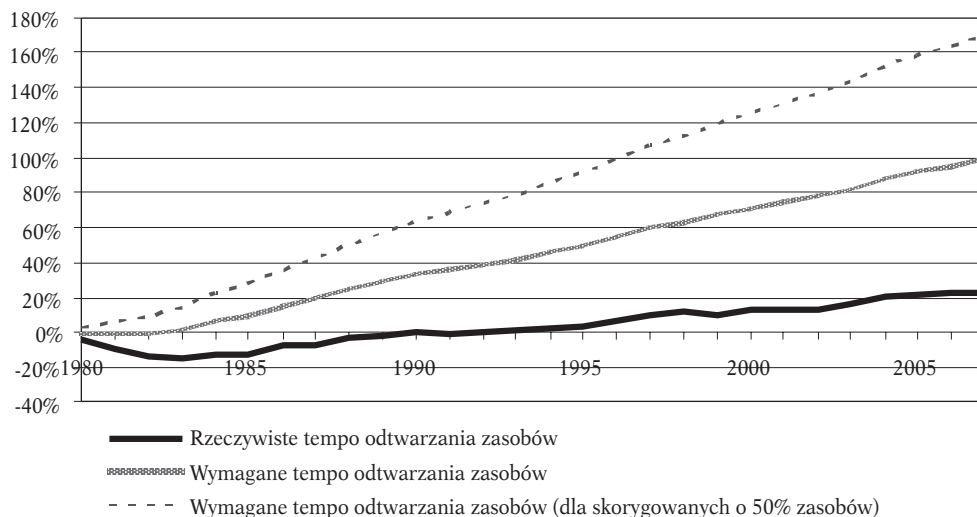
gdzie:  $y$ ,  $x$  oznaczają wskaźniki wzrostu w czasie  $t$ .

Przekształcenie powyższych zależności prowadzi do formuły:  $\Delta\Theta = \Theta_t(y - x) - 1$ .

Warunkiem niezbędnym zaspokojenia przyszłego popytu jest, aby zasoby odtwarzane były w odpowiednim tempie (intuicyjnie wydaje się, że wystarczy aby tempo zwiększania zasobów było wyższe od tempa wydobycia, ale to nie jest prawda), tzn. aby wskaźnik  $\Delta\Theta > 0$ , czyli aby  $y > x + \frac{1}{\Theta_t}$ .

Przykładowo, jeśli zasoby ropy wynoszą  $R = 1200$  mld boe, roczne wydobycie w danym roku wyniosło  $q = 30$  mld boe<sup>3</sup> i rośnie średniorocznie w tempie  $x = 1,5\%$ , to **tempo odtwarzania zasobów** zapewniające zaspokojenie przyszłej konsumpcji **powinno wynosić co najmniej**:  $y > 1,5\% + 1/1200/30 = 1,5\% + 2,5\% = 4,0\%$ . Ale jeśli, jak twierdzą niektórzy znawcy rynku ropy, realnie wydobywalne zasoby ropy naftowej są 2- lub 3-krotnie niższe, wówczas tempo odtwarzania zasobów powinno wynosić co najmniej 8,0% lub 10,5%. Według danych *BP Statistical Review of World Energy 2008* udowodnione **zasoby ropy naftowej rosły** średniorocznie w ciągu ostatnich 20 lat o **1,5%**.

Rysunek 8. Wymagane i rzeczywiste tempo odtwarzania zasobów ropy naftowej (narastająco)



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych *BP Statistical Review of World Energy, June 2008*

Rys. 8 przedstawia historyczny **relatywny spadek** zasobów ropy naftowej (narastające wskaźniki wzrostu zasobów według niekorygowanych i skorygowanych o 50% danych *BP Statistical Review of World Energy June 2008*). W ciągu prawie 30 lat rzeczywiste zasoby ropy zostały odtworzone co naj-

<sup>3</sup> W przybliżeniu, według danych *BP Statistical Review of World Energy 2008* zasoby ropy na koniec 2007 r. wyniosły 1238 mld boe, a zużycie w 2007 r. wyniosło 31,1 mld boe.

mniej ok. 4,5-krotnie wolniej niż należałoby oczekiwać, aby spokojnie patrzeć w przyszłość, tzn. aby zaspokoić przyszłe zapotrzebowanie, np. w roku 2030. Teza ta, jeśli prawdziwa, może być trudna do zrozumienia i prawdopodobnie będzie kontrowersyjna, ponieważ wskaźnik zasobów do wydobycia wzrósł od wartości 30 w 1980 r. do ponad 40 w 1987 r. i utrzymuje się na tym poziomie. Wskaźnik zasoby/wydobycie roczne w wysokości 40 oznacza, że zasoby istniejące tzw. udowodnione zasoby ropy naftowej pokrywają 40-letnie wydobycie na poziomie ostatniego roku. Ten prosty wskaźnik wykorzystywany jest jednak **zupełnie bezkrytycznie** nawet przez uznane międzynarodowe agencje energetyczne i finansowe, ignorując fakt, że złoża ropy nie mogą być traktowane jak magazyny towarów, a wydobycie ropy naftowej ze złoża podlega prawom fizyki i geologii.

**Powszechnie** okres pokrycia przez zasoby przyszłej konsumpcji ropy aż do zupełnego wyczerpania zasobów szacowany jest poprzez prostą relację wielkości zasobów do rocznego wydobycia. Tak liczony „statyczny” okres konsumpcji wynosi: zasoby/roczne wydobycie =  $1200/30 = 40$  lat, Wielkość ta jednak ignoruje fakt corocznego wzrostu konsumpcji dlatego jej interpretacja wymaga krytycyzmu.

Zakładając kontynuację tempa wzrostu konsumpcji w wysokości historycznej, tj. 1,5%, „dynamiczny” okres konsumpcji ropy wynosi:

$$T = \frac{1}{g} \ln \left( \frac{gX^*}{X_0} + 1 \right),$$

gdzie:  $g$  jest roczną stopą wzrostu konsumpcji, natomiast  $\frac{X^*}{X_0}$  „statycznym” okresem konsumpcji ropy ( $X^*$  jest całkowitym wydobyciem ropy w okresie  $T$ , czyli wielkością zasobów,  $X_0$  wielkością wydobycia na początkowym, obecnym okresie, tj. roku).

Podstawiając do wzoru wartości liczbowe, otrzymujemy

$$T = \frac{1}{0,015} \ln(0,015 \cdot 40 + 1) = 31,3 \text{ lata,}$$

a zatem znacznie mniej niż 40 lat.

Korygując wielkość zasobów o 300 mld boe z tytułu hipotetycznego zawyżenia zasobów przez kraje Bliskiego Wschodu w latach 80. okres konsumpcji  $T$  wynosi 22 lata. Jeśli jednak zasoby są zawyżone, jak twierdzą niektórzy 2 lub 3-krotnie, wtedy okres  $T$  wynosi 16-12 lat. **W odniesieniu do wskaźnika w wysokości 40 lat, o jakim opinia publiczna jest informowana to mniej niż połowa.**

Pamiętać jednak należy, że zasoby naturalne można szczyrywać do pewnego poziomu krytycznego, nigdy całkowicie, a ponadto według optymalnego tempa wydobycia. Aspekt eksploatacji złóż ropy naftowej wynikający z charakterystyki geologicznej złoża (m.in. jego miąższości i porowatości) jest istotny, ponieważ utrzymywanie nadmiernego tempa wydobycia powoduje, że w złożu zachodzą

nieodwracalne zmiany (równoznaczne z fizycznym „przepracowaniem” złoża) uniemożliwiający efektywne jego wykorzystanie, jak w przypadku optymalnego tempa eksploatacji. Jakość zarządzania jest w tym kontekście kluczowa.

Wskaźnik  $R/q$  (relacja wielkości zasobów do wydobycia) jest istotny z tego powodu, że gdy spadnie poniżej poziomu krytycznego, określanego pomiędzy 10 i 15 następuje wtedy uszkodzenie złoża objawiające się zmniejszeniem całkowitej ilości ropy do wydobycia. Krytyczna wartość wskaźnika  $R/q$  określa wielkość wydobycia rocznego w tym sensie, że roczne wydobycie w kolejnych latach będzie maleć, aby utrzymać stałą w przybliżeniu wartość wskaźnika (optymalne zachowanie się właściciela w celu maksymalizacji zysku w długim okresie).

Znajomość i zrozumienie wielkości wymaganego i rzeczywistego tempa odtwarzania zasobów oraz „statycznego” i „dynamicznego” okresu życia zasobów do zupełnego wyczerpania, ma istotne znaczenie dla długoterminowego planowania bilansu energetycznego w skali globalnej i państwa czy przygotowywania strategii przedsiębiorstw. Bezkrytyczne posługiwanie się miernikami, które nie odzwierciedlają rzeczywistości może prowadzić do katastrofalnych w skutkach decyzji.

Zważywszy na spadek wydobycia w rosnącej liczbie roponośnych regionów, spadek nowych odkryć złóż ropy od 1960 r. oraz ograniczone możliwości zwiększenia wydobycia z istniejącej bazy zasobów, niepewność zaspokojenia przyszłego zapotrzebowania będzie się zwiększać, wpływając na zachowania się uczestników rynku i zmienność cen. Szacunki dotyczące dodatkowego wydobycia wynikającego z postępu technologicznego lub zwiększającego wydobycia tzw. niekonwencjonalnej ropy mogą w pewnym stopniu uspokajać rynek, ale tylko do czasu wystąpienia poważnych przerw w dostawach na skutek konfliktów lub kataklizmów regionalnych.

### Możliwości prognozowania ceny ropy naftowej

Z przeglądu literatury dotyczącej teorii wyczerpywalności złóż wynika, że z powodu złożoności wpływu różnorodnych czynników na wycenę złóż i tempo wydobycia, teoretyczny model Hotellinga zachowania się ceny w rzeczywistości jest bardziej kombinacją wielu różnych zależności niż prostą relacją.

Reguła Hotellinga w określonym momencie, stanie wiedzy na temat zasobów i dla określonego stanu rynków, daje podstawy do prognozowania **oczekiwanego zachowania się** ceny ropy. Nowe informacje, wcześniej nieantycypowane, mogą wpłynąć na zmianę parametrów ceny (cenę początkową, stopę wzrostu, koszty), wydobycia i poszukiwań, będących podstawą do korekty prognozy.

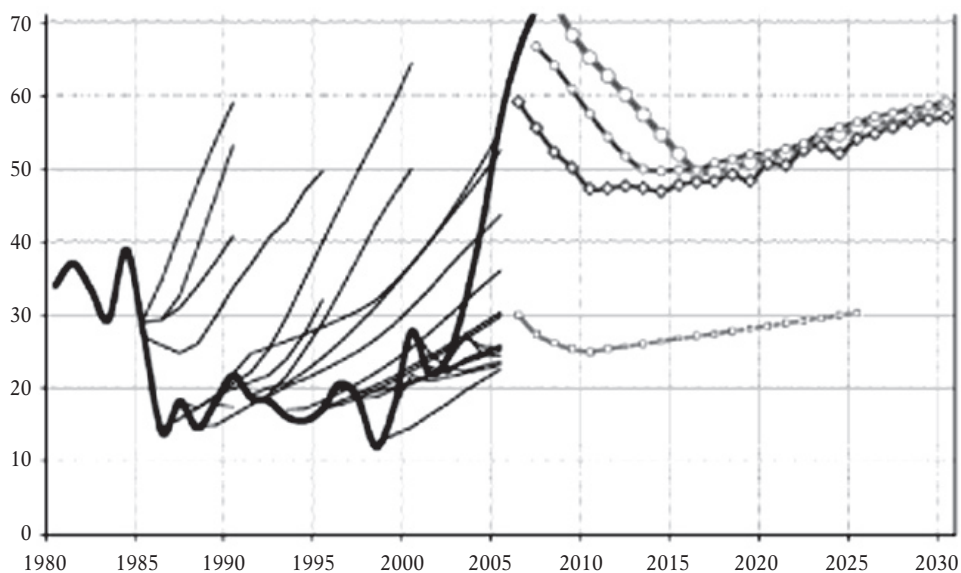
Większość badaczy wykorzystujących teorię Hotellinga jako podstawę do zrozumienia zachowania się rynku ropy naftowej twierdzi, że cena ropy musi rosnać w czasie [Krautkraemer, 1998], [Lynch, 2002].

Analiza serii danych [BP, 2008] dotyczących nominalnej ceny ropy naftowej z okresu 120 lat (1887-2007) daje średnioroczną stopę wzrostu w wysokości 4,0% (realnie 1,3%). W oparciu o teorię Hotellinga i przy założeniu średniorocznego tempa wzrostu cen zbliżonego do historycznego, prognozowana

cena ropy w 2020 r. zawiera się w przedziale 160-250 USD/boe i w 2030 r. w przedziale 240-540 USD/boe (górną granicę przy założeniu 4% premii za ryzyko, jeśli założenie jest zasadne).

Decyzja z 1979 r. Komitetu Strategii Długoterminowej OPEC proponowała długoterminową ścieżkę wzrostu ceny w wysokości wzrostu ekonomicznego krajów OECD, tj. 2-4% rocznie (realnie). W rezultacie tej decyzji przez wiele lat prawie każda prognoza ceny ropy naftowej zakładała taki trend, a ponieważ prognozy okazywały się błędne, po każdym spadku prognoza była korygowana do niższych punktów, jednak zachowywano trend rosnący. Prognozy ceny ropy naftowej sporządzane przez Departament Energii USA potwierdzają takie postępowanie [Lynch, 2002]. Należy jednak zauważyć, że w ciągu ostatnich 25 lat prognozy EIA (rys. 9) regularnie nie sprawdzały się, a mimo to stosowano tę samą metodologię.

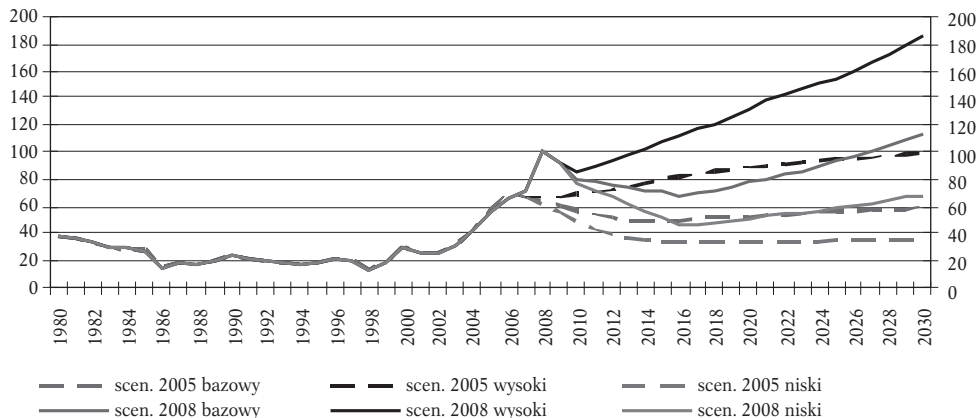
Rysunek 9. Prognozy EIA ceny ropy naftowej z okresu 1982-2008



Źródło: [Hudson, 2008]

Najnowsze prognozy EIA (rys. 10) potwierdzają stosowanie niezmiennych zasad – opierają się na długoterminowych trendach rozwoju ekonomicznego. Scenariusze prognozy z 2008 r. cen zakładają głębszą lub płytszą korektę cen i długoterminowy wolniejszy lub szybszy trend rosnący cen.

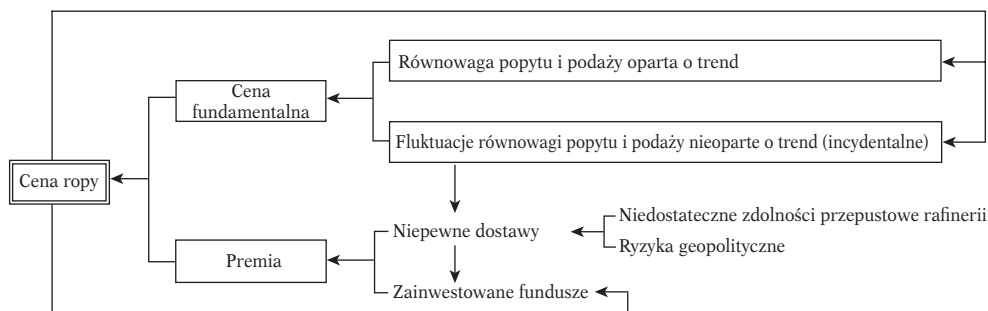
Rysunek 10. Prognozy cen ceny ropy naftowej EIA z roku 2005 i 2008 (USD/boe)



Źródło: opracowanie własne na podstawie [EIA, 2008]

Kombinacja teoretycznych argumentów znacząco podniosła zaufanie do takich prognoz rosnących cen ropy, ale dla obserwatorów niezwiązanych z sektorem paliwowym teoria nie wynikająca bezpośrednio z nauk ekonomicznych czy geologicznych pozostaje trudna do zaakceptowania. Również programiści komputerowi mają trudności z uchwyceniem istoty tych argumentów. Różnice w długoterminowych trendach cen z roku 1982 i 1991 są pomijalne; pierwsza zakładała wzrost ceny w wysokości 3,6% rocznie, druga 4,6% (w rzeczywistości realne ceny spadały przeciętnie o 2-3% rocznie do gwałtownego wzrostu w 2000 r.) [Lynch, 2002].

Rysunek 11. Czynniki wpływające na cenę ropy naftowej

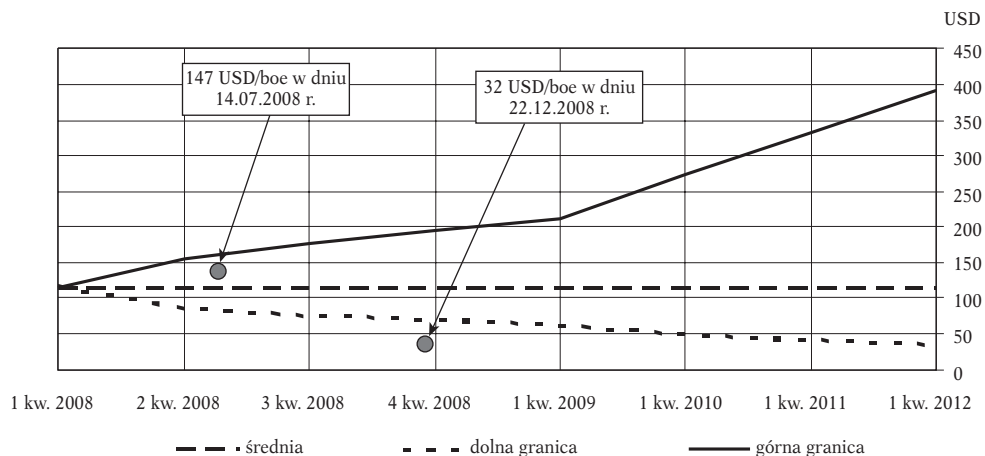


Źródło: opracowanie własne na podstawie [Yanagisava, 2008]

Czynniki wpływające na cenę ropy naftowej można dekomponować (rys. 11) na fundamentalne obejmujące relacje popytu i podaży, które wyznaczają cenę fundamentalną oraz czynniki, które odpowiedzialne są za określenie premii z tytułu niepewności dostaw i zainwestowanych funduszy (rynek *futures*).

Hamilton [2008] na podstawie przeprowadzonej analizy danych statystycznych kwartalnych zmian realnych cen ropy naftowej za okres od I kwartału 1970 r. do I kwartału 2008 r. konkluduje, iż nie ma podstaw do twierdzenia, że istnieje możliwość prognozowania zmian cen, ponieważ zmieniają się one przypadkowo bez jakiegokolwiek tendencji i „ani nominalna stopa procentowa (na rynku amerykańskim), ani realny wzrost PKB USA nie może służyć do przewidzenia zmian ceny”. Dla potwierdzenia tej tezy w czerwcu 2008 r., kiedy średnia cena ropy w I kwartale wynosiła 115 USD/boe, przeprowadził prognozę kwartalnych cen na okres do 2012 r. Prognozowana cena ropy w następnym, tj. II kwartale 2008 r. powinna mieścić się w przedziale 85-156 USD/boe, w III kwartale w przedziale 75-177 USD/boe, a za cztery lata, tj. na koniec 2012 r. 34-391 USD/boe. Tak szeroki zakres zmienności prognozowanej na siedem kwartałów ceny ropy (rys. 12 – górna granica 10-krotnie większa od dolnej) skłonił Hamiltona do stwierdzenia, że „najlepszą” prognozą ceny jest cena bieżąca, ale ponieważ i taka prognoza (cena bez zmian) jest mierna, wobec tego nie ma możliwości prognozowania ceny ropy. Trudno nie zgodzić się z Hamiltonem – nawet tak szeroki korytarz przyszłej ceny ropy zdołał jeszcze objąć rekordowo wysoką cenę ropy w lipcu 2008 r. (147 USD/boe), ale zaledwie po roku od daty sporządzenia prognozy, nie objął rzeczywistej ceny ropy w IV kwartale 2008 r. oraz I kwartale 2009 r.

Rysunek 12. Prognoza ceny ropy naftowej w oparciu o dane statystyczne (USD/boe)



Źródło: opracowanie własne, na podstawie [Hamilton, 2008] i [Cohen, 2008]

Ze względu na szeroki zakres zmienności prognozowanej ceny nie jest możliwe określenie przyszłej, w perspektywie nawet 2-4 lat, ceny ropy w rozsądnym przedziale, np.  $X \pm 20\%$ . Nie oznacza to jednak, że prognoza ceny ropy jest zupełnie bezwartościowa. Jej sens polega na tym, że przyszła cena jest nieokreślona. Wniosek ten wypływa z prognozy opartej na statystycznej analizie zmian ceny, ale przecież cena ropy naftowej nie istnieje w próżni, lecz

zależy od szeregu nowych, nie zawsze przewidywalnych zdarzeń, czynników ekonomicznych i politycznych i byłoby nieracjonalne, gdyby prognozę ceny oprzeć na zmianie pojedynczej zmiennej. Zużycie ropy naftowej jest bowiem konsekwencją splotu różnorodnych aktywności człowieka, od produkcji żywności do produkcji komputerów i robienia zakupów.

Cztery interwencje (cięcia wielkości wydobycia) OPEC w II połowie 2008 r. nie zdołały obronić „podłogi” ceny ropy, która w dniu 22 grudnia 2008 r. wyniosła 32 USD/boe znacznie przekraczając dolną granicę, co oznacza, że rynek ropy jest „nieobliczalny”. O ile rekordowo wysoką cenę można wytłumaczyć, o tyle spadek ceny do poziomu 32-45 USD/boe jest już trudniej. Jak spuentował Cohen [2008]: „coś bardzo dziwnego i nieskończenie tragicznego dzieje się z rynkiem ropy” – [Cohen, 2008].

Fundamentalną przyczyną trudności związanych z prognozowaniem przyszłych cen ropy jest fakt, że zarówno popyt, jak i podaż są relatywnie nieelastyczne w krótkim terminie. Oznacza to, że małe zmiany popytu lub podaży wywołują bardzo duże zmiany ceny. Stąd ktoś, kto chciałby prognozować cenę ropy, zmuszony jest do prognozowania pogody, zatrudnienia, produktu krajowego (PKB), trendów demograficznych, niepokoju społecznych i zmian techniczno-technologicznych we wszystkich rodzajach różnorodnych sektorów gospodarki [Taylor, Van Doren, 2008].

Hamilton [2008] przytacza argumentację, że „jeśli ekonomiści rzeczywiście coś rozumieją, powinni potrafić przewidzieć, co się wydarzy, ale ceny ropy należą do tych interesujących przypadków zmiennych ekonomicznych, których – jeśli coś rzeczywiście rozumiemy – zupełnie nie powinniśmy być w stanie przewidzieć”.

Najbardziej skrajne stanowisko w kwestii możliwości prognozowania reprezentuje Smil [2006], który po przeanalizowaniu prognoz rynku energetycznego z okresu prawie 100 lat doszedł do wniosku, że „prognozy energii nie są warte kosztu najtańszego papieru, na którym są wydrukowane; najgorszy papier wypłowieje po kilku dekadach lat, podczas gdy większość prognoz jest nieaktualna po kilku miesiącach”.

## Uwagi końcowe

Celem pracy nie było przedstawienie diagnozy stanu rynku ropy naftowej czy prognoz ceny albo jedynie słusznej teorii, ponieważ takiej nie ma w odniesieniu do zasobów nieodnawialnych, a jedynie naświetlenie różnorodnych i złożonych, nie tylko ekonomicznych uwarunkowań mechanizmu kształtowania ceny.

Wyjaśnienie mechanizmu kształtowania ceny ropy naftowej wymaga zrozumienia równoczesnego wpływu wiązki czynników, których siła i waga zmieniają się w czasie. Złożoność i dynamika zmian tych relacji powoduje, że zmiany ceny przypominają ruchy Browna (lub jak w modelu Pindycka – ruchy powracające, wahadłowe z uskokami wokół „niezauważalnej” długoterminowej linii, w kształcie litery „U”, krańcowych kosztów wydobycia) i nie pozwala na zbu-



dowanie wiarygodnego modelu prognostycznego, stąd wszelkie prognozowanie ceny ropy w średnim i długim okresie nie sprawdza się, co nie neguje sensu modelowania zachowania się ceny ropy.

Model Hotellinga uznawany był za fundamentalny warunek równowagi rynkowej zasobów nieodnawialnych wiążący jednocześnie (poprzez długoterminową stopę procentową) rynek tego zasobu ze stanem rynku kapitałowego. Jak wszystkie teoretyczne modele nie odzwierciedlające bogatszej i bardziej złożonej rzeczywistości, tak i model Hotellinga należy traktować jako szczególny przypadek rzeczywistych relacji pomiędzy ceną i splotem wielu dynamicznie zmieniających się czynników rynkowych oraz pozarynkowych: ekonomicznych (popyt – podaż – cena – elastyczność, niedoskonałości rynkowe, rynek finansowy, wzrost PKB konsumentów, strategie producentów, waluta kontraktów), geologicznych (stan zasobów i nowe odkrycia), techniczno-technologicznych (dostępność alternatywnych technologii), polityczne (pokój i spokój w skali globalnej, regionalnej i krajowej, poszanowanie dla prawa) oraz psychologiczne (oczekiwania co do dostępności zasobów, ciągłości dostaw oraz wpływu spekulacji i monopolistów).

Model krótkoterminowej równowagi zapasów, popytu, podaży i ceny odzwierciedlający funkcjonowanie rynku *futures* dla ropy naftowej spina teoretyczne modele ze stanem rzeczywistego rynku ropy, gospodarki, rynku finansowego oraz psychologii (oczekiwań). Wydaje się, że obecnie większe praktyczne zastosowanie ma percepcja zachowania się ceny ropy naftowej na rynku *futures*, w którym uczestniczą nie tylko firmy wydobywcze, petrochemiczne i energetyczne, ale również inwestorzy finansowi.

Z przeglądu najnowszych badań wynika, że zaprezentowane teorie i podejścia należy traktować nie jako konkurujące, lecz jako uzupełniające się, w ramach których należy analizować mechanizm kształtowania ceny ropy. Model krótkoterminowej równowagi został jednak zaprezentowany jako przeciwstawienie teorii Hotellinga.

Z przeprowadzonych rozważań, a zwłaszcza z analizy dostępności zasobów wypływają jeszcze dwa istotne wnioski. Po pierwsze, bezkrytyczne i bezrefleksyjne traktowanie danych statystycznych dotyczących zasobów i wydobycia ropy naftowej może doprowadzić do katastrofalnych w skutkach decyzji. Po drugie, w interesie publicznym leży zmniejszenie konsumpcji ropy naftowej i przyspieszenie rozwoju technologii alternatywnych.

Kierunki dalszych badań powinny obejmować szerokie spektrum hipotez dotyczących zasobów nieodnawialnych (m.in. relacja cen i stóp procentowych) oraz możliwości pokrycia przyszłego zapotrzebowania energetycznego (m.in. aktywność i efektywność inwestycji w poszukiwania i wydobycie ropy naftowej oraz w alternatywne źródła energii). Rynek *futures* ropy naftowej jest oceanem hipotez i kopalnią informacji, nie mniej ważnym dla zrozumienia złożoności mechanizmów kształtowania ceny.

## Bibliografia

- Banks F.E., [2007], *The Political Economy of The World Energy*, World Scientific Publishing, Singapore.
- BP Statistical Review of World Energy, June 2008.
- Campbell C.J., Laherrere J.H., [1998], *The end cheap oil*, Scientific American.
- Cohen D., [Dec 17 2008], *The price is not right*, Energy Bulletin.
- Dasgupta P., Heal G., [1974], *The Optimal Depletion of Exhaustible Resources*, „The Review of Economic Studies”, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources.
- Dasgupta P., Heal G., Stiglitz J., [1980], The Taxation of Exhaustible Resources, Working Paper No. 436, National Bureau of Economic Research, Cambridge MA, USA.
- Dasgupta P., Stiglitz J., [1981], *Resource Depletion Under Technological Uncertainty*, „Econometrica”, Vol. 49, The Econometric Society.
- EIA, US Energy Information Administration, International Energy Outlook 2008.
- Farzin Y.H., [1984], *Effects of the Discount Rate on Depletion of Exhaustible Resources Exploitation*, „Journal of Political Economy”.
- Hamilton J.D., [2008], *Understanding Crude Oil Prices*, University of California, San Diego.
- Hamilton J.D., [2003], *What is Oil Shock?*, „Journal of Econometrics”.
- Hotelling H., [1931], *The Economics of Exhaustible Resources*, „The Journal of Political Economy”, Vol. 39.
- Hubbert M.K., [1949], *Energy from Fossil Fuels*, Science, New Series, Vol. 109, No. 2823.
- Hudson B., [March 7, 2008], A Review of EIA's Annual Energy Outlook 2008 Revised to Reflect Energy Independence & Security Act of 2007.
- Keynes J.M., [1956], *Ogólna teoria zatrudnienia procentu i pieniądza* (oryg. The General Theory of Employment, Interest and Money), PWN, Warszawa.
- Khanna N., [2003], *On The Economics of Non-renewable Resources*, Oxford University.
- Krautkraemer J.A., [Dec. 1998], *Nonrenewable Resource Scarcity*, „Journal of Economic Literature”, Vol. 36.
- Krichene N., [2005], A Simultaneous Equation Model for World Crude Oil and Natural Gas Markets, IMF.
- Kronenberg T., [2006], *Should we worry about the failure of the Hotelling rule?*, Research Centre Jülich, Institute of Energy Research, D-52425 Jülich, Germany.
- Kronenberg T., [2004], *The Curse Of Natural Resources In The Transition Economies*, Maastricht Economic Research Institute On Innovation And Technology (MERIT), University of Maastricht.
- Laughton D.G., Sagi J.S., Samis M.R., [September 2000], *Modern Asset Pricing and Project Evaluation In the Energy Industry*, „The Journal of Energy Literature”, 56.
- Lynch M.C., [2002], *Forecasting oil supply: theory and practice*, The Quarterly Review of Economics and Finance 42, Board of Trustees of the University of Illinois, USA.
- Petroleum Argus Global Markets, Scramble to store crude sustains contango, July 19, 2006.
- Pindyck R.S., [2005], *Energy Price Increases and Macroeconomic Policy*, Massachusetts Institute of Technology, Energy Laboratory.
- Pindyck R.S., [1999], *The long-run evolution of energy prices*, „The Energy Journal”.
- Potocki W., [2009], *Mechanizmy kształtujące cenę ropy naftowej*, rozdział 8 w Migracja kapitału w globalnej gospodarce, redakcja naukowa Andrzej Szablewski, Difin.
- Slade M., [1982], *Trends in Natural-Resource Commodity Prices: An Analysis of the Time Domain*, „Journal of Environmental Economy Management”.
- Smil V., [May 17-18, 2006], *Energy at the crossroads*, Background notes for a presentation at the Global Science Forum Conference on Scientific Challenges for Energy Research, Paris.
- Stiglitz J., [1976], *Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources*, „American Economic Review”.

- Sweeney J.L., [2006], *Economic Theory of Depletable Resources: An Introduction*, rozdział 17, [w:] Allen V. Kneese, James L. Sweeney, *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Volume 3, Elsevier, Amsterdam.
- Taylor J., van Doren P., [04.09.2008], *Random Oil*, „Forbes”.
- Yanagisava A., [2008], *Decomposition analysis of the soaring crude oil price*, The Institute of Energy Economics, Japan.
- Ye M., Shore J., [March 2001], *Forecasting Crude Oil Spot Price Using OECD Petroleum Inventory Levels*, St. Mary's College of Maryland and Department of Energy, U.S.A., the International Atlantic Economic Conference, Athens, Greece.

## FACTORS SHAPING CRUDE OIL PRICES IN THEORY AND PRACTICE

### S u m m a r y

The article examines the influence of various factors on the price of crude oil according to two approaches: American economist Harold Hotelling's rule of nonrenewable resources and a theory known as the short-term equilibrium approach.

Empirical studies show that the Hotelling rule does not hold true in practice, Potocki says, because it is based on unstable assumptions. These include changing extraction costs and variable interest rates, in addition to factors such as market failure and strategic interactions.

The short-term equilibrium model describes a crude oil pricing mechanism that is determined by a combination of economic, political and psychological factors among which the equilibrium of crude oil inventories plays a key role.

The author is critical of the widespread use of a static resource/production ratio and argues that researchers should think over the consequences of misinterpreting this ratio and the implications of overestimating crude oil resources.

**Keywords:** crude oil prices, Hotelling rule, nonrenewable resources, extraction costs, interest rate, short-term equilibrium model, resource/production ratio