



Alicja BYRSKA-RĄPAŁA*

Kryteria i zasady określania ryzyka poszukiwawczego (COS)

Streszczenie: Podstawowymi obiektami zainteresowań geologii górniczej są złoża kopalin, a metodyka szacowania ich zasobów to jedna z domen tej dyscypliny nauki. W górnictwie naftowym z metodyką szacowania zasobów złóż węglowodorów nierozdzielnie wiąże się określanie ryzyka poszukiwawczego COS (*Chance of Success*). Szansa na sukces w poszukiwaniu węglowodorów jest obliczana przez firmy naftowe na wiele różnych sposobów. Prawdopodobieństwo sukcesu jest modelowane przez rozważanie występowania i jakości kluczowych czynników geologicznych, tj. skały zbiornikowej, pułapki, czasu i warunków generowania węglowodorów, migracji. Firma naftowa analizuje każdy z czynników, a następnie przypisuje procentową szansę wystąpienia każdego czynnika na podstawie własnych zasad i kryteriów. W artykule zostały zaprezentowane zasady i kryteria oceny prawdopodobieństwa sukcesu COS opartego na praktykach największych firm naftowych.

Słowa kluczowe: ryzyko poszukiwawcze, czynniki ryzyka, czynniki geologiczne, niepewność.

The criteria and rules for determining exploration risk (COS)

Abstract: The main objects of interest of mining geology are mineral deposits and their resource estimation methodology is one of the domains of this discipline of science. In the oil and gas sector an estimation methodology of hydrocarbon resources is inextricably linked to the exploration risk determination of COS (*Chance of success*). COS for an oil or gas prospect is calculated by the oil companies in many different ways. The probability of success for a single segment prospect is usually modeled by considering key geological factors, for example: source, migration, timing, reservoir, trap and seal. An oil company analyzes each of them and then assigns a percentage chance of success resulting from each factor based on their own in-house system or rules. The article presents principles for the assessment of the COS based on the practices of major oil companies.

Keywords: exploration risk, risk factors, geological factors, uncertainty

* Dr inż., Wydział Zarządzania, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: abyrska@zarz.agh.edu.pl

1. Kategorie ryzyka i niepewności w projektach górniczych

Pojęcia „ryzyko” i „niepewność” najczęściej używa się w sformułowaniach typu: analiza ryzyka oraz zarządzanie ryzykiem w problematyce analizy decyzyjnej szacowania wartości ekonomicznej złoża, optymalizacji, planowania strategicznego. Zainteresowanie problematyką oceny i kwantyfikowania ryzyka oraz zarządzania ryzykiem projektu inwestycyjnego wynika z nieprzewidywalności otoczenia projektu górniczego oraz dynamicznego rozwoju techniki. Sposoby ustalania poziomu ryzyka, metody zarządzania ryzykiem są przedmiotem licznych badań i opracowań naukowych z różnych obszarów – od matematyki i badań operacyjnych, po zarządzanie projektami lub finansami przedsiębiorstw. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele definicji ryzyka. Jedne traktują ryzyko jako sytuację, gdy co najmniej jeden z czynników determinujących sukces nie jest znany, ale znane jest prawdopodobieństwo jego wystąpienia, a ryzyko wiąże się z możliwością nieuzyskania zamierzonych efektów lub poniesienia niezamierzonych strat (Pritchard 2002; Rogowski 2004). Inni autorzy definiują ryzyko jako możliwość odchylenia od planowanej lub oczekiwanej wielkości (Jajuga i Jajuga 2002; Pera 2008). Część autorów brak pewności opisuje jako ryzyko (Luenberger 2003). Wszyscy autorzy ryzyko wiążą z procesem podejmowania decyzji, któremu może towarzyszyć niepewność wynikająca z niedostatku informacji i nieprecyzyjnych prognoz.

Sposób klasyfikacji ryzyka wynika z perspektywy jego oceny. Klasyczny podział ryzyka wyróżnia dwie podstawowe kategorie: ryzyko systematyczne – pochodzące z ogólnych warunków gospodarowania, ryzyko niesystematyczne zwane również ryzykiem specyficznym – związane z sektorem, w którym działa przedsiębiorstwo, jego usługami czy produktami, zasobami, właścicielami itp.

Z perspektywy działalności przedsiębiorstwa wyróżnia się dwie kategorie ryzyka: ryzyko zewnętrzne czyli egzogeniczne, oraz ryzyko wewnętrzne, endogeniczne. Ryzykiem egzogenicznym jest ryzyko makrootoczenia – związane ze zmianami polityczno-prawnymi, ekonomicznymi, demograficznymi, technicznymi, oraz ryzyko sektora – wynikające z zachowania konkurencji, groźby pojawienia się nowych produktów lub substytutów, relacji z dostawcami i klientami w danym sektorze. Ryzyko endogeniczne jest związane z posiadanymi zasobami materialnymi i niematerialnymi, umiejętnym kształtowaniem relacji z akcjonariuszami i innymi interesariuszami przedsiębiorstwa.

Ryzyko w potocznym języku jest często utożsamiane z niepewnością, gdyż w praktyce nie jest możliwe idealne odróżnienie obu sytuacji. W teorii decyzji rozróżnia się jednak te dwie kategorie, szczególnie poprzez ich pomiar – ryzyko można mierzyć i istnieją różnorodne sposoby jego pomiaru, natomiast niepewność jest traktowana jako stan niewiedzy i wynika z niedostatku informacji – można ją redukować przez jej pozyskiwanie. Jednym z autorów, który zwraca uwagę na rozróżnianie tych dwóch pojęć jest Jim Ross (Ross 2004). Autor definiuje ryzyko projektu inwestycyjnego jako prawdopodobieństwo uzyskania handlowej produkcji ze złoża czyli zysku (prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń dyskretnych), a niepewność jako sytuację, gdy niemożliwe jest oszacowanie dokładnych wartości parametru, np. produkcji ze złoża lub ceny ropy/gazu – jej liczbowym wyrażeniem jest funkcja rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej ciągłej, którym jest niepewny parametr.

Niepewność w szacowaniu zasobów złoża lub jego wartości ekonomicznej można uwzględnić na trzy sposoby: zignorować, wyrazić werbalnie lub numerycznie. Pomijając zignorowanie niepewności, najprostszym sposobem wyrażenia niepewności jest umieszcze-

nie rozdziału w raporcie wyceny, w którym oceniający opisuje zidentyfikowane przyczyny niepewności i ich wpływ na przedstawioną wycenę.

Numeryczny sposób wyrażania niepewności to potraktowanie niepewnych parametrów w rachunku wartości projektu jako zmiennych losowych o zidentyfikowanej funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Sposobem uwzględniania niepewności w szacowaniu wartości projektu może być symulacja metodą Monte Carlo (MC) lub analiza wrażliwości.

Żaden z sektorów gospodarki nie opracował dotychczas przewodników czy instrukcji, które jednoznacznie wskazywałyby sposób i formę pomiaru niepewności.

2. Źródła niepewności i kategorie ryzyka w ocenie wartości złoża węglowodorów

Przemysł naftowy jest klasycznym przykładem podejmowania decyzji w warunkach ryzyka i niepewności, jest idealnym obszarem aplikacji rozwiązań racjonalizujących proces podejmowania decyzji w takich warunkach, jak również obszarem badania zachowania się przedsiębiorstw górniczych w warunkach ryzyka (Rose 2001).

Identyfikacja źródeł niepewności i czynników ryzyka związanych z oceną zasobności złoża lub wyceną wartości projektu inwestycyjnego/złoża wynika ze specyfiki sektora, jak i samego przedmiotu wyceny. Obiekt geologiczny – złożo jest specyficznym aktywem przedsiębiorstwa wydobywczego, którego:

- nie można zmierzyć jednoznacznie ani ilościowo, ani wartościowo, można z określonym prawdopodobieństwem oszacować ilość lub wartość w ustalonym momencie okresu jego „życia”,
- zasoby mogą być dokładnie ustalone dopiero po wyczerpaniu ostatniej tony ropy lub m³ gazu ziemnego,
- nie można odtworzyć – raz szcerpane złożo nie stanowi wartości dla potencjalnych nabywców (z wyjątkiem sytuacji, gdy szcerpane złożo gazowe może być użyte na podziemny magazyn),
- proces eksploatacji jest źródłem informacji geologicznych o możliwości zaistnienia aktywu o podobnych cechach co do wartości lub ilości,
- zużycie generuje dodatkowe koszty w skali makroekonomicznej, tj. koszty społeczne czy środowiskowe.

Podział ryzyka i niepewności w górnictwie naftowym wynika z charakteru inwestycji, przede wszystkim z:

- losowego (stochastycznego) charakteru wszystkich zjawisk i skutków związanych z poszukiwaniami naftowymi,
- dużego ryzyka występującego w trakcie poszukiwań, powodującego istnienie elementów pecha i szczęścia nawet przy najbardziej prawidłowych decyzjach,
- niepewnej ilości węglowodorów wydobywalnych przy ustalonym wariantcie zagospodarowania złoża,
- stochastycznego charakteru tempa wydobywania węglowodorów,
- wysokiego kosztu pozyskania węglowodorów (nakładów kapitałowych, kosztów operacyjnych),
- wahań cen ropy i gazu ziemnego.

James Smith wyróżnia dodatkowe trzy unikalne cechy, wspólne dla większości złóż ropy i gazu ziemnego, które decydują o strukturze przepływów pieniężnych, determinując wartość ekonomiczną złoża (Smith 2004):

- stosowanie współczynników przeliczeniowych – ekwiwalentu ropy i gazu,
- wysoka zmienność ceny rynkowej *in situ* i „na głowicy eksploatacyjnej” ropy i gazu ziemnego,
- inżynieria i strategia eksploatacji złoża.

Ryzyko w górnictwie naftowym dzieli się na ryzyko poszukiwawcze i ekonomiczne. Ryzyko poszukiwawcze dotyczy bezpośrednio prac górniczych prowadzonych na obiekcie geologicznym i zawiera w sobie ryzyko geologiczne oraz ryzyko techniczne, wynikające z możliwości wystąpienia awarii technicznej w trakcie wiercenia lub eksploatacji czy katastrofy ekologicznej. Niepewność ekonomiczna, inaczej rynkowa, jest niepewnością z kategorii egzogenicznych i dotyczy przyszłych cen surowców, warunków na rynku, przyszłych kosztów operacyjnych i ewentualnych potrzeb w zakresie dodatkowych nakładów kapitałowych. Niepewność ekonomiczna powiązana jest z niepewnością polityczną – czyli możliwością pojawienia się ograniczeń importowych, zmian podatków, przepisów z zakresu ochrony środowiska, a w odniesieniu do inwestycji zagranicznych – nacjonalizacji, zmian wymogów dotyczących sprzedaży, zakazu eksportu wydobytej kopaliny lub zysku.

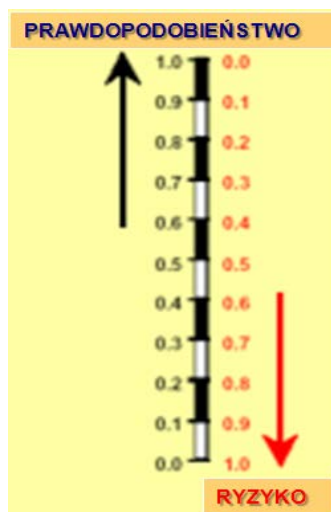
3. Zasady określania ryzyka poszukiwawczego – światowe, ogólnie przyjęte praktyki

Niepewność i ryzyko poszukiwawcze (endogeniczne) dotyczy istnienia, rozmiaru i jakości zasobów. To sytuacja, gdy nie uda się wydobyć zaplanowanej ilości zasobów lub nie uzyska się przewidywanej wydajności złoża. W procesie oceny ilości i jakości zasobów złoża źródłem ryzyka poszukiwawczego jest przede wszystkim ryzyko geologiczne – istnienie opłacalnej akumulacji węglowodorów, czyli możliwość uzyskania ustabilizowanego wypływu ropy/gazu.

Ryzyko odkrycia złoża COS (*Chance of Success*) wiąże się z odpowiedzialnością na pytanie: „jaka jest szansa, że bez wierceń obiekt zawiera lub nie ropę naftową/gaz?” Szukanie odpowiedzi na tak postawione pytanie Neil Hodgson przyrównuje do działania wyłącznika światła: odpowiednikiem włączenia lub wyłączenia światła jest stwierdzenie obecności lub braku złoża (Risk in Oil... 2012). Kiedy nastąpi stwierdzenie istnienia węglowodorów w obiekcie geologicznym czyli odkrycie, uwaga oceniającego skupia się na oszacowaniu wielkości zasobów w złożu. Niemożność jednoznacznego ustalenia wielkości zasobów to niepewność – rozumowanie przypomina funkcjonowanie ściemniacza: „jasna lub przyciemniona” możliwość oceny zasobności złoża. Według Hodgsona prosty przewodnik dla oceny ryzyka poszukiwawczego jest następujący:

- „niskie ryzyko” to sytuacja, że istnieje 25–50% szansy na sukces (od $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$),
- „średnie ryzyko” to 15–25% szansy odkrycia złoża (od $\frac{1}{6}$ do $\frac{1}{4}$),
- „wysokie ryzyko” to 8–15% szansy odkrycia złoża (od $\frac{1}{12}$ do $\frac{1}{6}$).

Należy pamiętać, że stwierdzenie „wysokie ryzyko” oznacza duże prawdopodobieństwo porażki (bliskie jedynki) lub małe prawdopodobieństwo sukcesu (bliskie zera) – tę zależność ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Ryzyko i jego kwantyfikacja

Fig. 1. Risk and its quantification

W poszukiwaniach za ropą lub gazem trudno jednoznacznie stwierdzić „niskie ryzyko”. Niskie ryzyko dla obiektu oznacza, że istnieje 25% szansy na sukces. Takie oszacowanie sukcesu w grze loteryjnej brzmi zachęcająco, dopóki nie spojrzymy na nie z drugiej strony – to oznacza również szansę 75%, że przegramy w grze. Jeśli szansa na nieudaną operację byłaby jak 3:4, najprawdopodobniej dwa razy należy pomyśleć o konieczności takiej operacji. Więc tak naprawdę firma naftowa stwierdzając „niskie ryzyko” poszukiwawcze raczej ma na myśli stosunkowo niskie ryzyko w porównaniu z poszukiwaniami na innych obszarach. Również „wysokie ryzyko” dla obiektu z szansą powodzenia 10% lub mniejszą nie przesądza o porażce poszukiwań – przecież nie trzeba wykonać dziesięciu odwiertów, by osiągnąć jeden pewny sukces, nawet jeśli inwestor dysponuje odpowiednimi środkami finansowymi. Takie rozumowanie ma sens tylko w przypadku wierceń w ramach pewnego portfela obszarów poszukiwawczych, czyli w sytuacji dywersyfikacji poszukiwań – może inne obiekty mają szansę na bycie produktywnymi. Zasadniczo szansa sukcesu, nawet na poziomie 1:10, znacznie przekracza szansę niepowodzenia, ale tylko dla zdywersyfikowanego portfela obszarów poszukiwań. Można to zilustrować przykładem.

W obszarze poszukiwań oszacowano szansę odkrycia złoża ps na poziomie 0,12 (czyli prawdopodobieństwo porażki pp to 0,88). Szansa sukcesu inwestora, który dysponuje funduszami na zbadanie wierceniami 10 obiektów geologicznych, zostały przedstawione w tabeli 1.

Jak widać w tabeli 1., prawdopodobieństwo, że kolejny odwiert jest nietrafiony, jest coraz mniejsze – dla pierwszego odwiertu wynosi 0,88, ale dla piątego odwiertu jest już tylko 53% szansy niepowodzenia. Prawdopodobieństwo, że dziesiąty odwiert będzie porażką to tylko 0,28. Analogicznie, prawdopodobieństwo sukcesu dla pierwszego wiercenia to 0,12, ale już prawdopodobieństwo, że na 5 odwiertów co najmniej jeden jest sukcesem wynosi 0,47.

Do podstawowych metod oceny ryzyka geologicznego, czyli prawdopodobieństwa odkrycia złoża, należą:

- intuicyjna ocena prawdopodobieństwa,
- oszacowanie prawdopodobieństwa na podstawie materiałów geologicznych rozpatrywanego obiektu,
- ocena prawdopodobieństwa na podstawie historii poszukiwań w danym regionie.

TABELA 1. Prawdopodobieństwo sukcesu inwestycyjnego dla 10 obiektów geologicznych z szansą odkrycia złoża 0,12

TABLE 1. The probability of investment success for 10 geological objects with the discovery chance of 0.12

k	Szansa porażki w kolejnym k -tym odwiercie	Szansa co najmniej jednego sukcesu
	p_p	$P(k \geq 1; n=k)$
1	0,88	0,12
2	0,77	0,23
3	0,68	0,32
4	0,60	0,40
5	0,53	0,47
6	0,46	0,54
7	0,41	0,59
8	0,36	0,64
9	0,32	0,68
10	0,28	0,72

Intuicyjna ocena prawdopodobieństwa odkrycia złoża wykorzystuje techniki, tj. ankiety eksperckie, porównania analogii, technikę delficką, burzę mózgow, analizę założeń, elementy analizy SWOT.

Znajomość rozkładu złóż w danym basenie czy formacji geologicznej, wiedza o wielkości złóż już odkrytych mogą umożliwić oszacowanie prawdopodobieństwa poszukiwawczego, jak również zasobności i ilości złóż pozostałych do odkrycia. Aplikacje różnych typów rozkładów do modelowania złóż odkrytych, w różnych klasach ich zasobności, można znaleźć w wielu publikacjach (Byrska-Rapała 2011; Divi 2004). Do szacowania prawdopodobieństwa sukcesu należy rozpatrzyć szereg dodatkowych informacji o badanym rejonie poszukiwawczym – geologię, historię poszukiwań, kolejność odkrywania złóż itp. Należy również uwzględnić fakt, że oszacowany na podstawie historii poszukiwań rozkład jest rozkładem wielkości złóż odkrytych – nie jest to rozkład populacji generalnej złóż.

Przełomem w inżynierii złożowej jest zastosowanie nowej generacji metod, tj. sztucznej inteligencji. Do tej grupy metod można zaliczyć nowe matematyczne rozwiązania do oceny basenów geologicznych czy pojedynczych złóż: systemy eksperckie, sieci neuronowe, zbiory rozmyte, algorytmy genetyczne, analiza przeszłości czy analiza baz danych (*data base mining*). Metody te pozwalają transformować dane geologiczne w informacje, a te z kolei w wiedzę o basenie czy złożu.

4. Ocena COS na podstawie materiału geologicznego

Prawdopodobieństwo odkrycia złoża czyli sukcesu p_s , oszacowane na podstawie materiałów geologicznych, jest iloczynem prawdopodobieństw istnienia wielu niezależnych czynników. Jeden ze sposobów jego wyliczenia to uwzględnienie trzech podstawowych czynników – występowanie dojrzałej skały macierzystej, skały zbiornikowej i pułapki złożowej:

$$P_s = P_z \cdot P_r \cdot P_t \quad (1)$$

gdzie:

p_z – prawdopodobieństwo istnienia dojrzałej skały macierzystej,

p_r – prawdopodobieństwo występowania skały zbiornikowej,

p_t – prawdopodobieństwo występowania pułapki złożowej.

Każdemu z trzech czynników ryzyka można przypisać prawdopodobieństwa według uproszczonej reguły (Goldstein 1994):

— nieudowodnione lub nie występuje – prawdopodobieństwo 0,3,

— prawdopodobne, ale nie ma wystarczających danych, aby stwierdzić jednoznacznie – prawdopodobieństwo 0,5,

— zachęcające, udowodnione – prawdopodobieństwo 0,8.

Barbacki rozszerzył listę czynników geologicznych, dołączając prawdopodobieństwo sprzyjające stadium generacji, ekspulsji i migracji węglowodorów do strefy poszukiwań (Barbacki 1993). Natomiast Levorsen twierdzi, że powstanie złoża ropy/gazu determinuje występowanie około 25 zmiennych czynników, a tylko nieliczne z nich można przewidzieć (Levorsen 1972).

Przewodnik dla wyceny ryzyka obszarów roponośnych Guidelines for Risk Assessment of Petroleum Prospects (Coordinating Committee... 2000) sugeruje wyodrębnienie dziewięciu ryzykownych czynników systemu ropo/gazonośnego, tj. występowanie facji zbiornika i jego jakość, obecność i poziom dojrzałości skał zbiornikowych, warunki generowania węglowodorów ze skał macierzystych (czas i ścieżki migracji płynów złożowych), występowanie i rodzaj pułapki złożowej oraz możliwość eksploatacji węglowodorów.

Jedną z propozycji szacowania p_s jest jego podział na ryzyko odkrycia potencjalnego obszaru występowania ropy/gazu P_{ob} oraz ryzyko odkrycia złoża na tym obszarze P_z , wtedy:

$$P_s = P_{ob} \cdot P_z \quad (2)$$

gdzie:

$$P_{ob} = p_{fs} \cdot P_z \cdot P_{rt} \quad (3)$$

$$P_z = p_p \cdot p_s \cdot p_u \cdot p_m \cdot p_r \quad (4)$$

- p_{fs} – prawdopodobieństwo występowania facji zbiornika,
- p_z – prawdopodobieństwo istnienia dojrzałej skały macierzystej,
- p_{rt} – prawdopodobieństwo istnienia struktury, np. antyklin,
- p_p – prawdopodobieństwo występowania efektywnej porowatości,
- p_s – prawdopodobieństwo występowania struktury, np. antykliny,
- p_u – prawdopodobieństwo istnienia skały uszczelniającej,
- p_m – ocena warunków migracji płynów złożowych,
- p_r – prawdopodobieństwo występowania retencji.

W tabeli 2. zostały przedstawione czynniki ryzyka poszukiwawczego i ich podział na czynniki genetyczne – związane z obszarem poszukiwań oraz czynniki dotyczące lokalnych skał – związane z pojedynczym obiektem, potencjalnym złożem ropy/gazu.

Należy podkreślić, że ryzyko odkrycia potencjalnego obszaru występowania ropy/gazu P_{ob} jest identyczne dla wszystkich potencjalnych złóż na tym obszarze. Natomiast ryzyko odkrycia złoża P_z związane jest z konkretnym obiektem, a więc może być różne dla złóż występujących w analizowanym obszarze poszukiwań.

TABELA 2. Czynniki ryzyka geologicznego dla obszaru poszukiwawczego i złoża

TABLE 2. Exploration risk factors for the play and prospect

Modelowanie ryzyka	
Czynniki ryzyka dla obszaru poszukiwawczego (czynniki dot. procesu powstawania struktury, czynniki genetyczne)	Czynniki ryzyka dla obiektu (czynniki dot. skał lokalnych)
Obecność facji zbiornikowych	Obecność efektywnej porowatości
Obecność dojrzałej skały macierzystej	Obecność struktury (np. antykliny)
Czas powstawania struktury	Obecność efektywnej skały uszczelniającej
	Migracja do struktury
	Retencja po migracji

Przyjmując do oceny p_s czynniki przedstawione w tabeli 2. i wzorze 2. należy rozważyć występowanie i efektywność każdego z czynników. W tabeli 3. i tabeli 4. przedstawiono mapy postępowania przy oszacowaniu prawdopodobieństwa występowania czynników ryzyka poszukiwawczego na przykładzie oceny obecności efektywnych facji skały zbiornikowej p_{fs} oraz występowania dojrzałej skały macierzystej p_z .

Tabela 5. podaje propozycję skali dla oszacowania prawdopodobieństw wystąpienia każdego z czynników sukcesu. Zakresy wartości prawdopodobieństwa 0–0,2 z tabel 3. i 4. zostały uszczegółowione według podobieństwa rozpatrywanego obiektu do modeli analogów lub podobnego odkrycia.

Otis i Schneidermann (1997) podają kryteria ułatwiające oszacowanie prawdopodobieństw występowania poszczególnych czynników. Autorzy interpretują wyniki takiej analizy następująco:

- $p_s \in (0,5; 0,99)$ oznacza bardzo małe ryzyko – wszystkie czynniki ryzyka są sprzyjające,

- $p_s \in (0,25; 0,5)$ oznacza małe ryzyko – wszystkie czynniki ryzyka są zachęcające do sprzyjających,
- $p_s \in (0,125; 0,25)$ oznacza umiarkowane ryzyko sukcesu – jeden lub dwa czynniki ryzyka są zachęcające lub neutralne,
- $p_s \in (0,063; 0,125)$ oznacza wysokie ryzyko sukcesu – jeden, dwa czynniki ryzyka są zachęcające lub dwa, trzy czynniki ryzyka są zachęcające lub neutralne,
- $p_s \in (0,01; 0,063)$ oznacza bardzo wysokie ryzyko sukcesu – dwa lub trzy czynniki ryzyka są neutralne lub jeden, dwa czynniki niesprzyjające.

TABELA 3. Kryteria oceny prawdopodobieństwa na obecność efektywnych facji skały zbiornikowej p_{fs}

TABLE 3. The criteria for assessing the probability of distributed reservoir facies p_{fs}

Kryteria	Zakres prawdopodobieństwa
Stwierdzenie parametrów skały zbiornikowej na podstawie testów (badań) porowatości	0,8–1,0
Boczne rozmieszczenie jest możliwe jak wskazują dane sejsmiki otworowej z badań wychodnich skał	0,6–0,8
Obecność efektywnych parametrów skały zbiornikowej jest prawdopodobne	0,4–0,6
Adekwatne parametry skały zbiornikowej mogą mieć charakter trendu (lub wskazywać na trend, np. porowatość zanika lub wzrasta)	0,2–0,4
Parametry skały zbiornikowej < od dopuszczalnych minimów	0,0–0,2

TABELA 4. Kryteria oceny prawdopodobieństwa występowania dojrzałej skały macierzystej pz

TABLE 4. The criteria for assessing the probability of sufficient mature source rock pz

Kryteria	Zakres prawdopodobieństwa
Komercyjne wydobywanie na badanym obszarze, odwierty badawcze wskazują na obecność HC	0,8–1,0
Dane sejsmiczne z co najmniej jednego odwiertu badawczego wskazują wyraźnie na regionalne występowanie skał macierzystych (dojrzałej materii)	0,6–0,8
Odwierty pokazują HC/próbki wskazują na obecność skały macierzystej oraz geochemiczne modele przewidują skałę macierzystą	0,4–0,6
Stwierdzenie obecności skały macierzystej opiera się na modelach analogowych	0,2–0,4
Stwierdzenie obecności skały macierzystej jest prawdopodobne	0,0–0,2

Przewodnik dla wyceny ryzyka obszarów roponośnych *Guidelines for Risk Assessment of Petroleum Prospects* (Coordinating Committee...2000) sugeruje również, aby przy ocenie COS oprócz oceny obecności każdego z czynników sukcesu, tzn. występowanie facji zbiornika i jego jakość, obecność i poziom dojrzałości skał zbiornikowych, warunki generowania węglowodorów ze skał macierzystych (czas i ścieżki migracji płynów złożowych), występowanie i rodzaj pułapki złożowej, uwzględnić również efektywność poszczególnych czynników.

TABELA 5. Kryteria oceny ryzyka geologicznego na podstawie modeli teoretycznych/ analogów lub podobnych odkryć

TABLE 5. The criteria for assessing risk assessment based on analogue or theoretical models or proven geological models

p*	Skala ogólna	Model analog lub model teoretyczny	Udokumentowane modele geologiczne	p*
1	Warunki prawie pewne do absolutnie pewnych. Jakość danych i ich weryfikacja jest doskonała.	zastosowanie modelu możliwe tylko dla danego obszaru	identyczne czynniki geologiczne dla złożeń i odkryć w bezpośrednim sąsiedztwie. Warunki są potwierdzone przez odwierty i dane sejsmiczne	1
0,9		model jest bardzo prawdopodobny do absolutnie pewnego		0,9
0,8	Warunki prawie pewne do absolutnie pewnych. Jakość danych i ich weryfikacja jest dobra.	model jest bardzo prawdopodobny. Niewielka szansa, że mogą być zastosowane nieodpowiednie modele	podobny czynnik geologiczny pomyślnie przetestowany przez odwierty (lub ma charakter trendu). Ciągłość jest prawdopodobna na podstawie przekonujących wskazań z odwiertów i danych sejsmicznych	0,8
0,7		model jest prawdopodobny do bardzo prawdopodobnego. Nieodpowiednie modele mogą być zastosowane		0,7
0,6	Warunki są prawdopodobne, jakość danych, ich weryfikacja jest korzystna.	model jest bardziej prawdopodobny niż wszystkie inne modele	podobny czynnik geologiczny pomyślnie przetestowany przez odwierty (lub ma charakter trendu). Ciągłość jest prawdopodobna na podstawie przekonujących wskazań z odwiertów i danych sejsmicznych	0,6
0,5		model prawdopodobny, jednak również niekorzystne modele są prawdopodobne		0,5
0,4	Warunki są możliwe lub jakość danych i ich weryfikacja jest słaba do korzystnej.	modele niekorzystne są bardziej prawdopodobne niż zastosowany model	podobny czynnik geologiczny może istnieć w ramach trendu. Ważnym jest, aby tylko przekonujące dane wskazywały na obecność trendu	0,4
0,3		model jest wątpliwy, niekorzystne modele są prawdopodobne do bardzo prawdopodobnych		0,3
0,2	Warunki prawie pewne do absolutnie niemożliwych. Jakość danych i ich weryfikacja jest doskonała.	model jest niepewny i bardzo wątpliwy. Modele niekorzystne są bardzo prawdopodobne do pewnych	nie wiadomo, czy istnieje czynnik geologiczny w obrębie trendu. Warunki są zweryfikowane przez jednoznaczne dane z odwiertu i sejsmiki	0,2
0,1		model jest niepewny i najbardziej wątpliwy. Modele niekorzystne są bardzo prawdopodobne do pewnych		0,1

Podsumowanie

Złoże, jako składnik majątku przedsiębiorstwa wydobywczego jest specyficznym aktywem, którego nie można zmierzyć jednoznacznie ani ilościowo, ani wartościowo, a właśnie ocena zasobów węglowodorów pod względem zasobności i wartości rynkowej decyduje o rozwoju lub przetrwaniu przedsiębiorstwa górnictwa. Decyzje inwestycyjne muszą opierać się na obiektywnych kryteriach wyboru.

Prawidłowa ocena złoża, zarówno pod względem jego zasobności i wartości rynkowej, determinuje finansowy sukces lub porażkę producenta ropy/gazu. Dlatego dla firm naftowych bardzo istotnym etapem oceny potencjalnej inwestycji poszukiwań jest ocena ryzyka COS.

Niezależnie od metody obliczania zasobów złoża (oparte na analogiach, wolumetryczne, analityczne) z wykorzystaniem symulacji, analizy wrażliwości, metody trzech punktów czy reguły Swansona – COS powinien pełnić rolę współczynnika korekcyjnego. Podobnie przy ocenie wartości ekonomicznej złoża, wyliczenie wartości oczekiwanej efektu finansowego powinno uwzględniać współczynnik COS.

Przedstawione w artykule przykładowe mapy oceny ryzyka poszukiwawczego mogą być przyczynkiem do tworzenia procedur postępowania w ocenie COS w firmie naftowej, które zmniejszą w ocenach wpływ subiektywności, poprawią spójność pomiędzy ocenami różnych projektów a dla niedoświadczonych geologów naftowych będą cennym wsparciem.

Literatura

- Barbacki, A. 1993. Geologiczne kryteria ekonomicznej oceny obszaru poszukiwań naftowych. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia* nr 3, s. 15–18.
- Ben-Awuaah i in. 2013 – Ben-Awuaah, J., Spariharijaona Andriamihaja, S. i Abdullah Ali, A. 2013. Hydrocarbon Resource Evaluation: Risk, Volumetric and Economic Assessment Methodology: A Case Study in the Norwegian Barents Sea. *International Journal of Petroleum and Geoscience Engineering (IJPGE)*, vol. 1, no. 4, s. 326–342 [Online] Dostępne w: <http://www.aropub.org/wp-content/uploads/2013/12/AROPUB-IJPGE-13-156.pdf> [Dostęp: 12.09.2015].
- Byrska-Rapała, A. 2011. *Metodyka szacowania wartości godziwej złoża węglowodorów*. Kraków, Wydawnictwa AGH.
- Caluyong, S.P. – The CCOP Guidelines for Risk Assessment of Petroleum Prospects [Online] Dostęp w: <http://www.ccop.or.th/projects/PPM.html> [Dostęp: 15.09.2015].
- Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programme in East and Southeast Asia (CCOP), 2000 – The CCOP guidelines for risk assessment of petroleum prospects: Bangkok, Thailand, Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programme in East and Southeast Asia 35 s.
- Divi, R.S. 2004. Probabilistic methods in petroleum resource assessment, with some examples using data from the Arabian region. *Journal of Petroleum Science and Engineering* vol. 42, s. 95–106.
- Goldstein, B.A. 1994. Explicating a gut feel; benchmarking the chance for exploration success. *Oil and Gas Journal* vol. 92, no. 52, s. 91–98.
- Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System, November 2011 [Online] Dostępne w: http://www.spe.org/industry/docs/PRMS_Guidelines_Nov2011.pdf [Dostęp: 15.09.2015].
- Jajuga, K. i Jajuga, T. 2002. *Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*. PWN, Warszawa.
- Levorsen, A.I. 1972. *Geologia ropy naftowej i gazu ziemnego*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Luenberger, D.G. 2003. *Teoria inwestycji finansowych*. PWN, Warszawa.
- Otis, R.M. i Schneidermann, N. 1997. A Process for Evaluating Exploration Prospect. *AAPG Bulletin* vol. 81, no. 7, s. 1087–1109.

- Pera, K. 2008. Koncepcja VaR (value at risk) w pomiarze ryzyka surowcowego projektu inwestycyjnego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 4/4, s. 273–289.
- Pritchard, C.L. 2002. Zarządzanie ryzykiem w projektach. *Teoria i praktyka*. WIG-Press, Warszawa.
- Risk in Oil ..., 2012 – Risk in Oil and Gas Exploration, Matra Petroleum [Online] Dostępne w: <http://guerillainvesting.co.uk/2012/05/21/matra-petroleum-neil-hodgson-jackson-black> [Dostęp: 21.05.2012].
- Rogowski, W. 2004. *Rachunek efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- Rose, P.R. 2001. *Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures*. Tulsa, Oklahoma, AAPG, Methods in Exploration Series, vol. 12, 164 s.
- Ross, J.G. 2004. Risk and uncertainty in portfolio characterization. *Journal of Petroleum Science and Engineering* vol. 44, s. 41–53.
- Smith, J.L. 2004. Petroleum property valuation. *Encyclopedia of Energy*. Academic Press, Cleveland, s. 811–832.