

Mariusz KRZAK*

Koszt nabycia niedoskonałej informacji, czyli ile należy zapłacić za dodatkowe rozpoznanie parametrów złoża – teoretyczny zarys problemu

Streszczenie: Informacja geologiczna dotycząca złoża, w postaci różnorodnych dokumentów, pochodzi z szeregu prac i robót geologicznych. Działania te zmierzają do zdefiniowania złoża, jego przestrzennej lokalizacji, formy i stopnia skomplikowania budowy, a także określenia głównych parametrów ilościowych i jakościowych. Jest powszechnie wiadomo, że aproksymacja ta opiera się zwykle na szacunkach, a specyfika tworów przyrodniczych jakim jest złoża kopaliny, nie pozwala na operowanie w warunkach zdeterminowanych. Informacja jest potrzebna, a stopień posiadanej informacji w każdej sytuacji decyzyjnej odgrywa fundamentalną rolę. Jest oczywiste, że jedną z najprostszycy metod ochrony przed ryzykiem w działalności jest zdobywanie dodatkowych informacji, a na ogół czym więcej informacji posiada decydent, tym lepsza jest jego sytuacja decyzyjna. Z drugiej zaś strony nadmiar informacji wprowadza szum informacyjny, w którym łatwo jest przeoczyć istotne fakty. Rodzi się zatem pytanie, jak dalece stosownym i uzasadnionym jest zdobywanie dodatkowych informacji, a także ile środków (nie tylko finansowych, choć pieniądź jest tu dobrym miernikiem) należy przeznaczyć na jej pozyskanie. W artykule, dla realiów prac poszukiwawczo-rozpoznawczych, przybliżono w zarysie problematykę wyceny dodatkowej informacji za pomocą bayesowskiej teorii decyzji, jednej z powszechnie stosowanych w tym celu technik.

Słowa kluczowe: niedoskonała informacja, informacja geologiczna, bayesowska teoria decyzji

Cost of Imperfect Information Acquisition, or How Much You Should Pay for the Additional Identification of the Mineral Deposit Parameters – a Theoretical Outline of the Issue

Abstract: Geological information related to the mineral deposit in the form of various documents comes from a number of geological works. These activities are intended to define the deposit, its spatial location, form and structure, as well as identify its quantitative and qualitative parameters. It is well known that this approximation is usually

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

based on estimates and specificity of the natural formation, which is a mineral deposit, does not allow operating under determined conditions. Information is needed, and the degree of shared information in any decision situation plays a fundamental role. It is well evident that one of the easiest ways to protect against the risk in the business activity is the acquisition of additional information, and in general, the more information possessed by a decision maker, the better the decision-making situation. On the other hand, too much information introduces significant information noise; it is easy to overlook important facts with its ??allowance. The question now is how far an appropriate and reasonable is information obtaining. And soon after another question: how many financial means should be allocated to the acquisition. In the paper for the reality of geological exploration work, an overview of the valuation of additional information has been brought closer with application of the Bayesian decision theory, one of the most widely used techniques for this purpose.

Key words: imperfect information, geological information, Bayesian decision theory

1. Informacja – komentarze ogólne

Informacja to jeden z najważniejszych czynników przy podejmowaniu decyzji. Od jej ilości, jak również jakości, zależy słuszność i powodzenie podjętego działania. Brak odpowiedniej informacji sprawia, że podejmowanie decyzji realizowane jest w warunkach niepewności, a więc stanu, w którym dla przynajmniej jednej decyzji nie jest znany rozkład prawdopodobieństwa konsekwencji. Czym zatem jest informacja? Pojęcie informacji nie jest terminem jednoznacznym i rozpatrywane jest w wielu różnorodnych aspektach: filozoficznych, semantycznych, naukowo-poznawczych, informatycznych i in. Informacja to właściwość, proces czy też element otaczającej nas rzeczywistości (Lubański 1975). W naukach o zarządzaniu, i nie tylko, rozróżnia się precyzyjne dane od informacji, ta ostatnia jest efektem przetworzenia i wstępnej interpretacji tych pierwszych. W dalszej kolejności pojawia się wiedza jako wynik korzystania z informacji i jej asymilacji z dotychczasowym stanem poznania. Intuicyjna tożsamość wiedzy z informacją nie jest prawdziwa. By nie wnikać w niuanse definicyjne, na rysunku 1 przedstawiono, ogólnie uznawaną, piramidę



Rys. 1. Hierarchia DIKW (wg Grabowskiego, Zajac 2009)

Fig. 1. *DIKW* hierarchy (by Grabowski & Zajac 2009)

(hierarchię) informacji. Nazywana ona bywa schematem *DIKW* (*data, information, knowledge, wisdom*).

W potocznym rozumieniu i powszechnym zastosowaniu informacja nie jest obarczona wzmiankowanymi powyżej konotacjami znaczeniowymi. Jest tworem procesu myślowego dążącym do zrozumienia i poznania rzeczywistości, zmniejszając nieokreśloność i/lub niepewność w stosunku do określonych faktów i obiektów. Jest takim czynnikiem, któremu człowiek może przypisać określony sens (znaczenie), aby móc ją wykorzystywać do różnych celów. W tym zwykłym, użytkowym rozumieniu informacja jest wiedzą o otaczającej rzeczywistości, jest wiedzą o obiekcie ocenianym i będącym przedmiotem zainteresowania człowieka. To ostatnie znaczenie będzie najbliższym pojęciowo odniesieniem w dalszej części artykułu. Pominięte zostaną w dalszej części wywodu ciekawe i ważne aspekty funkcjonowania systemów informacyjnych, odpowiedzialnych za gromadzenie, przetwarzanie, przechowywanie i transfer informacji, globalizacji informacji, manipulowania i inflacji informacji, a uwaga zogniskowana zostanie na cechach dobrej informacji.

We współczesnym świecie na różnorodnych polach zarządzania i gospodarki informacja traktowana jest często jak czwarty, obok ziemi, kapitału i pracy, czynnik produkcji. Wszak wiadome jest, że czym więcej informacji posiada dany podmiot, tym zwykle lepsza jest jego sytuacja decyzyjna. I nie jest tu istotne na jakim poziomie ogólności się to odbywa, czy na poziomie gospodarki globalnej, czy rozpatrywane jest na gruncie pojedynczego przedsiębiorstwa. Kluczowym, obok ilości informacji, pozostaje jednakowoż fakt jej jakości, tzn. zespołu cech, jakie powinna posiadać pożądana informacja. Obejmują one postulaty (Grabowski, Zajac 2009):

- celowości – informacja musi komuś i czemuś służyć,
- rzetelności – informacja dotyczy prawdziwości zarówno źródła informacji, jak i jej zawartości,
- aktualności – informacja musi dotyczyć konkretnego okresu lub miejsca decyzyjnego i winna być dostarczona w odpowiednim czasie,
- kompletności – informacja nie może być wrywkowa, musi uwzględniać kontekst decyzyjny,
- wszechstronności – informacja powinna przedstawiać sytuację decyzyjną z wielu różnych punktów widzenia,
- dokładności – informacja nie może być za szczegółowa i za ogólna,
- uzasadnionych nakładów finansowych – wykorzystanie informacji musi przynosić korzyści przynajmniej pokrywające nakłady poniesione na jej zdobycie.

Myszczyżyn i Myszczyżyn (2003) poszerzają atrybuty należytej informacji zestawiając dalsze jej cechy (tab. 1).

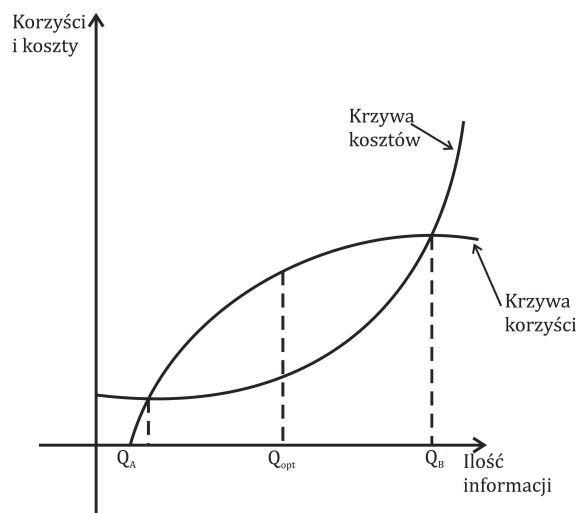
Spośród wymienionych cech, o większym lub mniejszym znaczeniu użytkowym, w pierwszym szeregu ustawia się aspekt wydatków potrzebnych do uzyskania informacji. Zdobywanie kolejnych informacji, służących zmniejszeniu niepewności, jest zwykle kosztowne, co przekłada się na fakt, iż od pewnego momentu pozyskiwanie kolejnych informacji może stać się nieopłacalne (rys. 2).

Generalna, obowiązująca na mocy rysunku 2 zasada mówi, że kolejne partie informacji zdobywać należy tak długo, jak długo oczekiwane korzyści z uzyskania informacji przewyższają oczekiwane koszty ich zdobycia, przy czym istnieje pewne optimum, w którym różnica ta jest maksymalna. Jakkolwiek wyróżniana jest także klasa decydentów nie prze-

TABELA 1. Cechy użytecznej informacji (wg Myszczyzyn, Myszczyzyn 2003)

TABLE 1. Features of useful information (by Myszczyzyn, Myszczyzyn 2003)

Nazwa cechy	Syntetyczne objaśnienie cechy
Aktualność	dostępna w czasie umożliwiającym właściwe podejmowanie decyzji przez decydenta
Bezpieczeństwo	możliwość przechowywania, archiwizacji i odtwarzania informacji
Decyzyjność	stopień wpływu na podejmowane decyzje, informacje nieistotne powinny być odrzucone
Użyteczność	przydatność informacji
Dokładność	dostarcza wiarygodnego odzwierciedlenia rzeczywistości
Dostępność	możliwość korzystania z informacji w danym miejscu i czasie przez użytkownika
Efektywność	zdolność do wywoływania określonego efektu
Elastyczność	zdolność do zaspokajania potrzeb informacyjnych różnych użytkowników
Ilość	zmniejszenie stopnia niepewności w podejmowaniu decyzji
Kompletność	brak potrzeby sięgania do innych informacji
Kosztowność	poziom nakładów finansowych niezbędnych na uzyskanie informacji
Porównywalność	możliwość analizy porównawczej
Przetwarzalność	określenie funkcji w postaci danych i form ich przetwarzania
Przyswajalność	objętościowy zakres informacji, który jest w stanie być efektywnie wykorzystany
Redundancja	stopień nadmiarowości informacji
Rzetelność	prawdziwa i wiarygodna, bez zniekształceń intencjonalnych
Szybkość uzyskiwania	ilość czasu niezbędna dla uzyskania niezbędnych informacji
Wiarygodność	brak zniekształceń porównywalnych informacji



Rys. 2. Optymalna ilość informacji (wg Forlicz 2001)

Fig. 2. Optimal amount of information (by Forlicz 2001)

jawiających aktywności informacyjnej (Forlicz 2001). Graficzna interpretacja pozyskiwania informacji (rys. 2) zwraca uwagę na ważki problem powiązany z wyceną wartości informacji. Zagadnienie to zostanie praktycznie zobrazowane w dalszej części artykułu, w ujęciu zaś teoretycznym wartość informacji obliczana jest jako różnica między oczekiwaną korzyścią z decyzji podjętej w przypadku posiadania informacji a oczekiwaną korzyścią z decyzji podjętej w przypadku braku tej informacji.

2. Informacja geologiczna – uwagi podstawowe

Artykuł 6 Prawa geologicznego i górniczego (Dz. U. 2011.163.981) definiuje informację geologiczną jako dane i próbki geologiczne wraz z wynikami ich przetworzenia i interpretacji, w szczególności przedstawione w dokumentacjach geologicznych oraz zapisane na informatycznych nośnikach danych. Uzyskanie danych geologicznych, przetwarzanych później w informację geologiczną, jest wynikiem postępowania w trakcie realizacji prac geologicznych i działalności górniczej. Nieć (2010) uznaje tę działalność za domenę wiedzy fachowej, której źródłem są:

- doświadczenia praktyczne, w wielu przypadkach gromadzone nieraz w ciągu wielu pokoleń,
- wyniki badań naukowych.

Długotrwała i kapitałochłonna realizacja inwestycji geologiczno-górniczych, na ogół odbywająca się w warunkach niepewności i ryzyka, była wielokrotnie poruszana w literaturze fachowej. Czas pomiędzy pierwszymi pracami poszukiwawczymi a uruchomieniem dużych kopalń (np. złóż rud, węgla itp.) wynosi zwykle kilka, często kilkanaście lat. Długość okresu inwestycyjnego powiększają: skomplikowane warunki geologiczno-górnicze, lokalizacja w trudno dostępnych geograficznie obszarach, uwarunkowania prawne, gospodarcze i polityczne państw, na terenie których prowadzone są prace, możliwości finansowe inwestora, nieuregulowana własność gruntowa czy wreszcie kwestie ochrony środowiska. Samo podjęcie prac poszukiwawczych nie gwarantuje sukcesu (Jolly 1991; Harquail *vide* Li i in. 2008). Należy pamiętać, że nieodkrycie złoża lub odkrycie złoża o parametrach bez znaczenia gospodarczego, wiąże się z ogromnymi nieraz wydatkami, które są bezpowrotnie tracone. Stąd też działania inwestycyjne w sferze surowcowej realizowane są etapami. Obejmują one kolejno:

- poszukiwanie i rozpoznanie geologiczne,
- udostępnienie złoża,
- eksploatację kopaliny,
- przeróbkę i sprzedaż surowca mineralnego,
- likwidację zakładu górniczego.

Pierwszy z wymienionych etapów, bodaj najważniejszy, jako że zmierzający do odnalezienia obiektu o znaczeniu gospodarczym, ze względu na koszty i ryzyko nieosiągnięcia spodziewanych rezultatów, jest także realizowany krok po kroku. Wyróżnić w nim można:

- poszukiwania szczegółowe,
- rozpoznanie wstępne,
- rozpoznanie szczegółowe,
- rozpoznanie eksploatacyjne realizowane w czynnym zakładzie górniczym.

Każdy z etapów, pomijając wykorzystane techniki, cechuje coraz większa ilość nagromadzonych danych i uzyskanej informacji. Obraz złoża, jego budowa, forma, zasoby zostają określone z większą precyzją i prawdopodobieństwem. Informacja o stanie poznania złoża przekłada się na konkretną kategorię w kwalifikacji zasobów do konkretnej kategorii rozpoznania. Metodyka dokumentowania i rozpoznawanie złóż kopalin to domena pracy geologa. Zakres robót koniecznych dla pozyskiwania danych geologicznych, jak i późniejsza ich interpretacja winne być realizowane z należytą starannością i uzasadniać celowość takowego postępowania. Szczegółowo komentuje te kwestie Nieć (2004). Należy pamiętać, że oprócz wymogów wynikających z samej praktyki geologii prospekcyjnej, konieczne jest uwzględnienie aspektów prawnych takiej działalności. Dokumentowanie badań geologicznych stanowi bowiem formę utrwalania i podsumowania wyników według reguł prawa powszechnego na poziomie ustawy (Stefanowicz 2012).

Nieć (2010), identyfikując konsekwencje braku pełnej znajomości stosownych faktów w specyfice działalności geologiczno-górnicznej, wymienia jako główne ograniczenie przybliżony charakter danych, na podstawie których podejmowana jest decyzja odnośnie eksploatacji złoża i wymagań, jakie ma ona spełniać, wskazując przy okazji na następujące potrzeby w tej działalności:

- konieczność stałej aktualizacji i modyfikacji danych o złożu, w miarę zdobywania nowych informacji na jego temat, także w czasie prowadzenia eksploatacji złoża,
- konieczność przewidywania możliwości takich zmian i ich uwzględniania w bieżącej działalności górniczej.

Powszechnie wiadomo, że poszczególne obiekty złożowe cechuje osobliwość i indywidualność cech; w przypadku złóż o prostej budowie nie zawsze zachodzi konieczność wykonywania dodatkowych robót rozpoznawczych. Jeśli wymóg pozyskiwania coraz bardziej precyzyjnych danych odnoszących się do złoża jest istotny, to tak jak w przypadku każdego pozyskiwania informacji, wiąże się on z kosztami. Powraca więc formułowane wcześniej zapytanie dotyczące wyceny kosztów pozyskania dodatkowej informacji geologicznej. Jest oczywiste, że nie jest możliwe dokładne poznanie obiektu, budżety prac poszukiwawczych są ograniczone, a potrzeba drobiazgowego i ścisłego poznania musi być utemperowana. Bariera określająca zasadność dalszego rozpoznania może być postawiona osiągnięciem konkretnego poziomu dokładności rozpoznania, można ją także motywować kwotowo. Ten drugi punkt widzenia, po poprzedzającym wstępie z teorii decyzji, zostanie zaprezentowany na uproszczonym, teoretycznym przykładzie. Hipotetyczne rozważania są mimo to bliskie rzeczywistości, a przyjęte założenia upraszczające nie mają wpływu na sposób strategicznego postępowania. Łatwo jest także rozbudować i uszczegółowić objaśniany model.

3. Matematyczny zarys teorii decyzji

Zasadniczo teoria decyzji ukierunkowana jest na dwa aspekty:

- analizę decyzji, czyli rozpatrywanie konkretnej decyzji pod kątem jej optymalności,
- wspomaganie procesu podejmowania decyzji, czyli poszukiwanie rozwiązania optymalnego przy posiadanym zasobie informacji i możliwych skutkach podjęcia tej czy innej decyzji.

W ujęciu matematycznym problem decyzyjny to uporządkowana trójka (A, Θ, Π) , gdzie A oznacza zbiór wszystkich możliwych i wzajemnie wykluczających się decyzji. Poszczególne decyzje w obrębie zbioru oznaczane są jako: a_1, a_2, \dots, a_m . Symbol Θ definiuje zbiór stanów natury $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$, zaś Π jest funkcją wypłat $\Pi = A \cdot \Theta \rightarrow \mathfrak{R}$. W przypadku, gdy zbiory stanów natury jak i zbiory możliwych decyzji są skończone, funkcję wypłat przedstawia się w tabeli (macierzy) wypłat $\Pi = [\pi_{ij}]$, w której wiersze reprezentują możliwe decyzje, kolumny zaś stany natury. Elementy macierzy to wypłaty $\pi_{ij} = \Pi(a_i, \theta_j)$ (1).

Decyzja	Stany natury				
	θ_1	θ_2	θ_3	...	θ_n
a_1	π_{11}	π_{12}	π_{13}	...	π_{1n}
a_2	π_{21}	π_{22}	π_{23}	...	π_{2n}
a_3	π_{31}	π_{32}	π_{33}	...	π_{3n}
...
a_m	π_{m1}	π_{m2}	π_{m3}	...	π_{mn}

(1)

Dla uproszczenia wyboru decyzji oraz samej analizy problemu decyzyjnego definiowane są następujące rodzaje decyzji: dominująca, ściśle dominująca oraz równoważna. Z obszaru zainteresowań decydenta usuwane są te decyzje, które – w sposób niebudzący wątpliwości – są niekorzystne. Decyzja dominująca to taka decyzja $a_i \in A$, spośród m decyzji przy jednym z n stanów natury, nie gorsza od decyzji $a_k \in A$, jeżeli:

$$\pi_{ij} \geq \pi_{kj} \text{ dla każdego } j \quad (2)$$

Decyzja ściśle dominująca to taka decyzja $a_i \in A$, lepsza od decyzji $a_k \in A$, jeżeli:

$$\pi_{ij} > \pi_{kj} \text{ dla każdego } j \quad (3)$$

Decyzja $a_i \in A$ jest równoważna decyzji $a_k \in A$, gdy:

$$\pi_{ij} = \pi_{kj} \text{ dla każdego } j \quad (4)$$

Zależności (2) oraz (3) odnoszą się do sytuacji, w której decydentowi zależy na maksymalizacji wypłaty π_{ij} . W sytuacji odwrotnej, gdy decydent skłaniać się będzie do minimalizacji wypłat, znaki większości lub równości bądź samej większości należy zamienić na przeciwne.

Ze względu na możliwość realizacji decyzji wyróżnia się decyzje dopuszczalne i niedopuszczalne. Decyzja $a_i \in A$ jest dopuszczalna, gdy nie istnieje decyzja ją dominująca z punktu widzenia zależności (2) lub (3). Niespełnienie któregoś z warunków czyni decyzję niedopuszczalną, a ona sama nie będzie optymalna. W konsekwencji nie jest wymagane jej uwzględnianie w dalszej analizie, a liczba możliwych decyzji problemu ulega zmniejszeniu.

Wybór kryteriów decyzyjnych niestatystycznego problemu decyzyjnego zależy od wiedzy decydenta odnośnie do możliwych stanów natury, w których podejmowana jest decyzja. W modelu deterministycznym, w którym znane są efekty rzeczowe poczynań, za optymalną przyjmuje się tę decyzję, która maksymalizuje funkcję wypłat. Analogiczne podejście

stosowane jest dla modelu działającego w warunkach ryzyka. Niech $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ opisuje rozkład prawdopodobieństw określonych na zbiorze możliwych stanów natury $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$, tzn. $p_j = P(\theta_j)$ jest prawdopodobieństwem wystąpienia stanu θ_j , przy czym $\sum_{j=1}^n p_j = 1$ oraz $0 < p_j < 1$ dla $j = 1, 2, \dots, n$. Każdej zatem decyzji a_i ze zbioru możliwych decyzji A można przypisać oczekiwaną wypłatę (EMV) związaną z tą decyzją:

$$EMV(a_i) = \sum_{j=1}^n \pi_{ij} \cdot p_j \quad (5)$$

Decyzja optymalna w warunkach ryzyka oznaczać będzie taką decyzję d_{EMV} , której odpowiada maksymalna, oczekiwana wielkość wypłaty:

$$d_{EMV} = \arg \max_{i=1,2,\dots,m} EMV(a_i) \quad (6)$$

Powyższa procedura poszukiwania decyzji optymalnej określana jest jako kryterium oczekiwanej wypłaty. Oczywiście jest, że decyzja optymalna zależy od przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa, stąd też istotnym powinno być zbadanie wrażliwości decyzji optymalnej w przypadku odstępstw od założonego rozkładu. Pewną niedogodnością oczekiwanej wartości wypłaty – a ujmując ogólnie każdej wartości oczekiwanej – jest to, że wartość oczekiwana opisuje spodziewany (średni) wynik doświadczenia losowego. Wagami poszczególnych wartości zmiennej losowej są prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Wielokrotne podejmowanie decyzji w identycznych warunkach zbliżałoby osiągnięte wypłaty do wielkości wartości oczekiwanej. Zatem konkretna wypłata (czy inny rodzaj użyteczności) nie jest zazwyczaj równa wartości oczekiwanej i stosowanie kryterium oczekiwanej wypłaty ma uzasadnienie w przypadkach, gdy działa prawo wielkich liczb. Kryterium oczekiwanej wypłaty nie uwzględnia wariancji wypłat, co może być istotne w pewnych sytuacjach.

Sygnalizowana wcześniej ewentualna dążność decydenta do minimalizacji wypłat wymaga wykorzystania przeciwstawnego kryterium, tzw. oczekiwanej straty możliwości. Zamieniając w macierzy (1) wielkości wypłat π_{ij} na możliwe do poniesienia straty c_{ij} dla decyzji a_i oraz pozostawiając analogiczne oznaczenia dla rozkładu prawdopodobieństw stanów natury, oczekiwaną stratą (EOL) odpowiadającą decyzji a_i jest wielkość:

$$EOL(a_i) = \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot p_j \quad (7)$$

Decyzja optymalna oznaczać będzie taką decyzję d_{EOL} , której odpowiada minimalna oczekiwana strata możliwości:

$$d_{EOL} = \arg \min_{i=1,2,\dots,m} EOL(a_i) \quad (8)$$

Kryterium oczekiwanej wypłaty i kryterium oczekiwanej straty są sobie równoważne, czyli dla dowolnego problemu decyzyjnego (A, Θ, Π) realizowanego w warunkach ryzyka z określonym prawdopodobieństwem $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ zachodzi równość:

$$d_{EMV} = d_{EOL} \quad (9)$$

4. Koszt nabycia dodatkowej informacji geologicznej – aproksymacja bayesowska

Pozyskanie kolejnych informacji, służących zmniejszeniu ryzyka, czy też odejściu od warunków niepewności jest zwykle kosztowne, a największą korzyść przyniosłoby decydentowi poznanie perfekcyjnej informacji o oczekiwanym stanie natury. Doskonała informacja oznaczałaby pewność, który ze stanów natury wystąpi, tym samym umożliwiając decydentowi podjęcie decyzji maksymalizującej wypłatę. Można zatem postawić pytanie o wartość oczekiwaną wypłaty przy wykorzystaniu doskonałej informacji. Kwestię tę przybliży poniższy, wspomniany wcześniej, przykład nabycia dodatkowej informacji na etapie rozpoznawania złoża. Osadzono go na realiach bliskich rzeczywistości, rozpatrując hipotetyczną procedurę decyzyjną odnoszącą się do zasadności zagospodarowania złoża ropy naftowej. Sam przykład został skonstruowany na bazie propozycji J. Grenia (1972), a pokrewne aproksymacje tego rodzaju można znaleźć w pracach A. Byrskiej-Rapały (2006, 2007).

Największe znaczenie gospodarcze, spośród złóż ropy naftowej w Polsce, mają te zlokalizowane w obszarze Niżu Polskiego. Występują one w utworach permu, karbonu i kambriu. Złóża te w większości reprezentują typ masywowy, z pasywną wodą podścielającą, o gazowo-ekspansywnych warunkach produkcji. Według Bilansu złóż kopaliny w Polsce (2013) ilość złóż ropy naftowej wynosiła 42. Są to ropy średnioparafinowe, o zasobach od pozabilansowych do bilansowych rzędu 5–7 mln ton (BMB, Lubiatów). Perspektywy odkrycia kolejnych złóż skłoniły pewnego inwestora do poszukiwań, a ich efektem było odkrycie i udokumentowanie złoża ZRN o zasobach 1 mln ton w kategorii C. Rozpoznanie w tej kategorii dopuszcza błąd oceny parametrów złoża, w tym zasobów do 30%. Inwestor górniczy uzależnia decyzję o zagospodarowaniu złoża i budowie kopalni od spodziewanych wartości bieżących netto (*NPV*), a te z kolei pozostają w ścisłej zależności przede wszystkim od zasobów. Rzeczywista wielkość zasobów jest stanem natury. Uwzględniając błąd oszacowania wynikający z kategorii rozpoznania, zasoby ropy mogą się wahać w przedziale 0,7–1,3 mln ton kopaliny. Dla uproszczenia dalszych kalkulacji przedział ten podzielono na 2 klasy tworząc dwuelementowy zbiór stanów natury Θ :

- θ_1 – 1,0–1,3 mln ton, złożo o zasobach dużych,
- θ_2 – 0,7–1,0 mln ton, złożo o zasobach małych.

Przeprowadzona ocena rentowności inwestycji zapewnia następujące, średnie wartości bieżące netto *NPV*:

- przy zasobach θ_1 : +10 mln zł,
- przy zasobach θ_2 : –1 mln zł.

Dla założonej stopy dyskontowej, przy zasobach dużych inwestycja generuje zyski, przy małych zaś nie jest opłacalna. Macierz ewentualnych wypłat w grze – inwestor górniczy i stan natury – zestawiono w (10).

		stan natury		
		θ_1	θ_2	
decyzja inwestora	α_1	10	–1	(10)
	α_2	0	0	

Postępowanie α_1 oznacza realizację projektu, niepodjęcie eksploatacji (decyzja α_2) skutkuje zerowymi wypłatami dla każdego stanu natury. Inwestor nie dysponuje własnym

kapitałem i nie jest rozważana alternatywna lokata kapitału. Przed podjęciem decyzji dotyczącej budowy kopalni inwestor może przeprowadzić dodatkowe badania, które pozwolą na redukcję całkowitej niepewności i przekształcą problem podejmowania decyzji z warunków niepewności do warunków ryzyka. Możliwe jest przykładowo zastosowanie badań geofizycznych, np. sejsmiki, które mogą potwierdzić istnienie pułapek i ich zasięg. Koszty dodatkowego rozpoznania obciążają inwestycję, niemniej możliwość redukcji niepewności może je rekompensować. Wyniki dodatkowego rozpoznania (ponownie dla uproszczenia mnogości operacji rachunkowych przyjęto jedynie dwa stany) tworzą zbiór $X = \{x_1, x_2\}$, gdzie x_1 oznacza, że zasoby złoża są duże, a x_2 – małe. Zastosowanie geofizyki nie daje oczywiście bezbłędnych rezultatów, a prawdopodobieństwa warunkowe uzyskania $x_i \in X$ dla poszczególnych stanów natury $\theta_i \in \Theta$, wynikające z dokładności metody wynoszą:

$$\begin{aligned} & \text{— } P(x_1|\theta_1) = \frac{8}{10}, P(x_1|\theta_2) = \frac{4}{10}, \\ & \text{— } P(x_2|\theta_1) = \frac{2}{10}, P(x_2|\theta_2) = \frac{6}{10}. \end{aligned}$$

Na podstawie dotychczas rozpoznanych 42 złóż na Niżu Polskim, rozkład prawdopodobieństw (p) wystąpienia złoża o konkretnej wielkości zasobów oceniany jest na:

$$\begin{aligned} & \text{— złoże duże} - \frac{2}{21}, \\ & \text{— złoże małe} - \frac{19}{21}. \end{aligned}$$

Zbiór możliwych stanów natury (wielkość złoża) wynikający z dodatkowego rozpoznania jest dwuelementowy, podobnie jak zbiór strategii inwestora, w rezultacie czego uzyskuje się $2^2 = 4$ niezrandomizowane funkcje decyzyjne d_i (11).

D	X	x_1 (θ_1)	x_2 (θ_2)
d_1		α_1	α_1
d_2		α_1	α_2
d_3		α_2	α_1
d_4		α_2	α_2

(11)

Dla przykładu funkcja decyzyjna d_2 oznacza, że jeśli wynik profilowania sejsmicznego sugeruje istnienie dużego złoża (x_1) to należy podjąć decyzję α_1 o budowie kopalni. Rezultat x_2 profilowania upoważnia do rezygnacji z udostępnienia złoża.

Uwzględniając zakres posiadanych przez inwestora informacji można oszacować przeciętne wartości funkcji wypłat $NPV(R)$. Przykładowa kalkulacja obejmuje dla $R(\theta_1, d_2) = 10 \cdot \frac{8}{10} + 0 \cdot \frac{2}{10} = 8$. Wraz z pozostałymi wartościami funkcji tworzą one nową grę z macierzą użyteczności (12).

D	B	θ_1	θ_2
d_1		10	-1
d_2		8	$-\frac{2}{5}$
d_3		2	$-\frac{3}{5}$
d_4		0	0

(12)

Gra posiada punkt siodłowy, zatem optymalną decyzją inwestora byłaby rezygnacja z budowy kopalni. Decyzja ta jest zapewne bezpieczna, gdyż oznacza zawsze konieczność zaniechania eksploatacji, bez względu na zasoby złoża. Nie wydaje się to jednak zbyt rozsądne. Dla prowincji Nizy Polskiego znany jest rozkład prawdopodobieństw występowania złóż o konkretnych zasobach, toteż zasadnym wydaje się wykorzystanie kryterium Bayesa (Wald 1949; Savage 1954). Bayesowską funkcję decyzyjną wyznacza maksymalny profil wypłat obliczony względem rozkładów stanu natury:

$$— r(R, d_1) = 10 \cdot \frac{2}{21} + (-1) \cdot \frac{19}{21} = \frac{1}{21},$$

$$— r(R, d_2) = \frac{42}{105},$$

$$— r(R, d_3) = -\frac{37}{105},$$

$$— r(R, d_4) = 0.$$

Wielkość maksymalna wypłaty $r(R, d_2) = \frac{42}{105}$ odpowiada decyzjom $d_2(x_1) = \alpha_1, d_2(x_2) = \alpha_2$.

Optymalną decyzją inwestora, odczuwalną intuicyjnie, jest uruchomienie złoża, gdy dodatkowe badania sejsmiczne wskażą na duże zasoby ropy oraz zaniechanie udostępnienia złoża, gdy profilowanie sejsmiczne ujawni małe zasoby. Zmierzając do postawionego na wstępie zapytania o koszt dodatkowej informacji należy określić, ile można wydatkować na dodatkowe badania geofizyczne. Największą korzyść przyniosłoby przedsiębiorcy poznanie perfekcyjnej informacji o stanie natury. Oczekiwana korzyść z perfekcyjnej informacji (*OKPI*) jest równa sumie iloczynów prawdopodobieństwa poszczególnych stanów natury i maksymalnej wypłaty przypadającej na dany stan natury θ_j :

$$— OKPI = \frac{2}{21} \cdot 10 + \frac{19}{21} \cdot 0 = \frac{20}{21}$$

Cena graniczna perfekcyjnej (doskonałej) informacji (*CGPI*), to maksymalna kwota, jaką warto zainwestować w dodatkowe badania, które pomogą poznać możliwe stany natury z największą dokładnością. Doskonała informacja jest wiedzą o przyszłym stanie natury przed podjęciem decyzji. Wartość tę oblicza się jako różnicę pomiędzy oczekiwaną korzyścią *OKPI* a maksymalną wartością oczekiwaną spośród strategii inwestora (*MOV*). W analizowanym przypadku wartość *MOV* wynosi $10 \cdot \frac{2}{21} + (-1) \cdot \frac{19}{21} = \frac{1}{21}$, stąd:

$$— CGPI = OKPI - MOV = \frac{20}{21} - \frac{1}{21} = \frac{19}{21}$$

Niestety poznanie *OKPI* jest często niemożliwe, a decyduje o tym ograniczony budżet przedsiębiorcy z jednej strony, z drugiej natomiast niedoskonałość samych badań jak i niemożność przewidzenia wszystkich czynników wpływających na stan natury. W tej sytuacji oszacowane mogą być korzyści płynące z dodatkowej informacji, niewyczerpujące całkowitej wiedzy o stanie natury (*OKDI*). Dysponując prawdopodobieństwami warunkowymi zaistnienia jednego z dwóch stanów odnoszących się do zasobów złoża pochodzących z dodatkowego badania sejsmicznego oraz prawidłowością rozkładu zasobów złóż na Nizy Polskim, możliwe jest wyliczenie prawdopodobieństw *a posteriori* tak postawionego problemu decyzyjnego (tab. 2).

W zależności od wyniku profilowania sejsmicznego decyzjami optymalnymi są:

$$— \alpha_1, \text{ jeżeli sejsmika wskaże zasoby duże } (x_1), \text{ gdyż} \\ E_1(\alpha|x_1) = \max\{E_1(\alpha|x_1), E_2(\alpha|x_1)\} = \max\left\{\frac{21}{28}, 0\right\},$$

TABELA 2. Prawdopodobieństwa *a posteriori* w ocenie celowości zagospodarowania złoża ropy naftowej ZRN

TABLE 2. Posterior probabilities of the prefeasibility assessment of the oil deposit ZRN development

	$P(\theta_j)$	$P(x_1 \theta_j)$	$P(x_1 \cap \theta_j)$	$P(\theta_j x_1)$
θ_1	$\frac{2}{21}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{16}{210}$	$\frac{16}{92}$
θ_2	$\frac{19}{21}$	$\frac{4}{10}$	$\frac{76}{210}$	$\frac{76}{92}$
Σ	1		$P(x_1) = \frac{92}{210}$	1
	$P(\theta_j)$	$P(x_2 \theta_j)$	$P(x_2 \cap \theta_j)$	$P(\theta_j x_2)$
θ_1	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{4}{210}$	$\frac{4}{118}$
θ_2	$\frac{19}{21}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{114}{210}$	$\frac{114}{118}$
Σ	1		$P(x_2) = \frac{118}{210}$	1

— α_2 , jeżeli sejsmika wskaże zasoby małe (x_2), gdyż
 $E_2(\alpha|x_1) = \max\{E_1(\alpha|x_2), E_2(\alpha|x_2)\} = \max\left\{-\frac{74}{118}, 0\right\}$.

Oczekiwana korzyść przy dodatkowej informacji definiowana jest jako:

$$OKDI = \sum_{k=1}^K P\{x_k\} E_{i|x_k}^{\max}(a) \quad (13)$$

a podstawiając konkretne wielkości wynosi:

$$\text{— } OKDI = \frac{92}{210} \cdot \frac{21}{28} \cdot \frac{118}{210} \cdot 0 = \frac{488}{1155}$$

Różnica pomiędzy oczekiwaną korzyścią przy uwzględnieniu dodatkowej informacji a oczekiwaną korzyścią bez uwzględnienia dodatkowej informacji (*MOV*) nazywana jest oczekiwaną wartością dodatkowej informacji (*OWDI*). Różnica ta interpretowana jest jako maksymalna, racjonalnie uzasadniona cena (koszt) dodatkowych badań, których wynik z określonym prawdopodobieństwem zostanie przyjęty do obliczeń i realizacji właściwej strategii zarządzania i wynosi dla przykładu:

$$\text{— } OWDI = \frac{488}{1155} - \frac{1}{21} = \frac{428}{1155}$$

Metody geofizyczne lub inne badania potwierdzające zasoby złoża ZRN są uzasadnione do kwoty 0,371 mln złotych.

Uwagi końcowe

Praktycznie we wszystkich sytuacjach decyzyjnych postępowanie decydenta uzależnione jest od zakresu posiadanej przezeń informacji. Jej niebagatelne znaczenie w niemal każdej działalności gospodarczej i przy podejmowaniu decyzji jest całkiem oczywiste. Niestety, jak trafnie ujmuje Robbins (2005): „...niegdziesz miał pełnej informacji

potrzebnej Ci do podjęcia decyzji. Gdybyś ją miał, byłby to oczywisty wniosek, a nie decyzja...”. Wiele decyzji podejmowanych w trakcie realizacji projektu geologiczno-górniczego wymaga wsparcia z wykorzystaniem różnorodnych technik, a proste metody bazujące na teorii decyzji mogą znacząco ułatwić ich podejmowanie. Pytanie o koszt i celowość dodatkowego badania geologicznego zmierzającego do uszczegółowienia obrazu o obiekcie złożowym jest zasadne. Rzutuje na rentowność przedsięwzięcia i ważna jest tu ocena wielkości środków, które należy na ten cel wydatkować. Być może przeprowadzenie kalkulacji ceny nabycia dodatkowej informacji, jaką zaproponowano w artykule, ochroni decydenta przed niepotrzebnym wydatkowaniem pokaźnych kwot pieniężnych.

Artykuł przygotowany w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.140.175.

Miłym obowiązkiem autora jest złożenie podziękowań Recenzentom, których wysiłek i dociekliwość przełożyły się na skrzętne i merytoryczne uwagi, które w połączeniu z rzeczową dyskusją umożliwiły korektę błędów w odniesieniu do pierwotnej wersji artykułu.

Literatura

- Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2012 r., 2013 – Praca zbiorowa pod redakcją: Szufflicki M., Malon A., Tyimiński M. Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Byrska-Rapała A., 2006 – Koszt pozyskania informacji geologicznej w rachunku szacowania wartości złoża węglowodorów. Sympozja i Konferencje 68, Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, s. 269–279.
- Byrska-Rapała A., 2007 – Koszt informacji w szacowaniu wartości projektu inwestycyjnego na przykładzie sektora naftowego. [W:] Preisner L. (red. nauk.), Finansowe aspekty transformacji gospodarki w Polsce. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, s. 214–222.
- Forlicz S., 2001 – Niedoskonała wiedza podmiotów rynkowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Grabowski M., Zając A., 2009 – Dane, informacja, wiedza – próba definicji. Zeszyty Naukowego Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie nr 798, s. 99–116.
- Greń J., 1972 – Gry statystyczne i ich zastosowania. Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa.
- Jolly J.L.W., 1991 – Copper. [W:] Minerals Yearbook. USBM Annual Report, Department of Interior Bureau of Mines, Washington, s. 501–579.
- Li S., Knights P., Dunn D., 2008 – Geological Uncertainty and Risk: Implications for the Viability of Mining Projects., *Journal of Coal Science & Engineering*, vol. 14, no. 2, s. 176–180.
- Lubański M., 1975 – Filozoficzne zagadnienia teorii informacji. Akademia Teologii Katolickiej, Warszawa.
- Myszczyszyn J., Myszczyszyn W., 2003 – Informacja – czwartym czynnikiem produkcji. [W:] Piech K., Szczodrowski G. (red.) – Przemiany i perspektywy polskich przedsiębiorstw w dobie integracji z Unią Europejską. Instytut Wiedzy, Warszawa.
- Nieć M., 2004 – Informacja geologiczna – jej jakość i użyteczność. *Górnictwo odkrywkowe*, vol. 46, no. 3/4, s. 13–19.
- Nieć M., 2010 – Wiedza fachowa, prawo geologiczne i górnicze i racjonalna gospodarka złożem. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* nr 79, s. 31–41.
- Robbins S.P., 2005 – Skuteczne podejmowanie decyzji. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Savage L.J., 1954 – *The Foundations of Statistics*. Wiley (2nd edition Dover Publications, 1972).
- Stefanowicz J. A., 2012 – Informacja geologiczna w nowym prawie geologicznym i górniczym. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, vol. 448, s. 259–264.
- Ustawa z dnia 09.06.2011r. Prawo geologiczne i górniczego (Dz. U. Nr 163, poz. 981).
- Wald A., 1949 – Statistical Decision Function. *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 20, no. 2, s. 165–205.

