

MARIUSZ KRZAK

Teoria gier w geologii gospodarczej

Streszczenie

Przedmiotem zainteresowań geologii gospodarczej są złoża kopalin mineralnych. Obiekty te, skądinąd bardzo ciekawe w ujęciu przyrodniczym, opisywane są tutaj w aspekcie stosowanym. Są źródłem surowców, bez których nie jest możliwe funkcjonowanie bardzo wielu działów gospodarki. To one decydują często o poziomie bogactwa i dobrobytu społeczeństw. Tymczasem droga, od sformułowania prognoz złożowych, poprzez rozpoznanie geologiczne i późniejsze górnictwo aż do finalnego pozyskania surowców, zajmuje zwykle długi czas. Należy pamiętać, że realizacja projektu geologiczno-górniczego jest z reguły kosztowna, odbywa się często w warunkach niepewności i obciążona jest znacznym ryzykiem, a poniesione nakłady nie zawsze generują satysfakcjonujące zyski. Gospodarka zasobami złóż i ich ochrona, ocena użyteczności gospodarczej oraz eksploatacja wpisują się w ogólną, długoterminową politykę surowcową, przestrzenną i środowiskową. Nieuniknione jest, że w toku tych działalności, znajdzie potrzeba godzenia różnych, nierzadko sprzecznych interesów. Warunki konfliktu, obok ryzyka i niepewności, to fundamentalne warunki otoczenia, w których zachodzi konieczność podejmowania różnorodnych decyzji. Ryzyko i niepewność były przedmiotem bardzo licznych rozważań w literaturze w odniesieniu do aspektów geologiczno-górnicznych, natomiast sytuacje konfliktowe nie doczekały się aż tak bogatego piśmiennictwa. Tymi ostatnimi, nie tylko od strony matematycznej, zajmuje się teoria gier. Geologia gospodarcza, jako nauka interdyscyplinarna, korzystająca z doświadczeń i dorobku innych nauk, w tym matematyki, jest dziedziną, w której elementy teorii gier mogą znaleźć zastosowanie. Znaczna wszechstronność i bogactwo różnorodnych aspektów badawczych geologii gospodarczej, kreujących wiele sytuacji konfliktowych, wymuszają zastosowanie aparatu matematycznego.

Teoria gier analizuje problemy związane z decyzjami w układach z wieloma uczestnikami, z których każdy określa swoje preferencje co do wypłat. Wypłata (wielkość wygranej) w grze zależy nie tylko od własnych poczynań gracza, lecz jest uzależniona od posunięć wszystkich jej uczestników. Dodatkowo domniemywane jest, iż wszyscy uczestnicy gry zachowują się racjonalnie, co w języku teorii gier odnosi się do stwierdzenia, że każdy z graczy dąży do maksymalizacji własnej wypłaty, niezależnie od tego, co robią pozostali. Wydawać się zatem może, że teoria gier dostarcza matematycznych podstaw wyjaśniających myślenie strategiczne, tudzież narzędzia teorii gier

umożliwiają graczom wybór takich strategii, przy których maksymalizują własne wypłaty. Znane i powszechne są bardzo szerokie aplikacje teorii gier w ekonomii, wojskowości, biologii ewolucyjnej, naukach politycznych i innych. W każdym z modeli wyjaśnianych na gruncie teorii gier obserwowana jest dążność do wyboru optymalnego, spośród możliwych do realizacji, sposobu działania. Teoria gier funkcjonuje również w układach z jednym graczem operującym w warunkach niepewności, a bywa tak często w wielu aspektach działalności geologiczno-górnictwej.

Rozprawa składa się z trzynastu rozdziałów, a zasadnicza jej część dotycząca teorii gier obejmuje rozdziały od czwartego do jedenastego. Każdy z rozdziałów odnoszący się do teorii gier zaopatrzone w przykłady będące odbiciem realiów geologii gospodarczej. Rozdziały drugi oraz trzeci potraktowano jako wprowadzające w zakres zagadnień tematycznych poruszanych w dysertacji. Ujmują one w sposób ramowy klasyczną teorię decyzji oraz definiują zasadnicze wymiary ryzyka i niepewności inwestycji geologiczno-górnictwych. W kolejnym, czwartym rozdziale omówiono terminologię stosowaną w teorii gier, pokazano sposoby ich prezentacji, a także przybliżono podstawowe pojęcia teorii użyteczności i preferencji. Funkcja użyteczności ma podstawowe znaczenie w teorii gier jako sposób przyporządkowania wartości liczbowej do preferencji gracza, pozwalając na subiektywne określenie, ile zadowolenia dostarcza mu wypłata w grze. W rozdziale piątym scharakteryzowano gry dwuosobowe o sumie zerowej, demonstrując sposób opisu tego typu gier oraz algebraiczne i graficzne metody ich rozwiązywania. W rozdziale szóstym objęto opisem gry dwuosobowe o sumie niezerowej. Wprowadzono w nim poszerzoną o modelowanie sytuacji konfliktowej analizę, obejmującą kooperację pomiędzy uczestnikami gry. Zdefiniowano równowagę Nasha i jej odmiany w modelach gier Cournota oraz Stackelberga. W rozdziale siódmym zaprezentowano gry z pełną informacją w postaci ekstensywnej. Gry z naturą, rozpowszechnione w kontekście geologiczno-górnictwym, zostały przybliżone w rozdziale ósmym. W rozdziale dziewiątym skupiono się na grach wieloosobowych. Ukazano sposoby podziału wypłat w grach koalicyjnych oraz sposoby strategicznego postępowania w przetargach. Gry z niekompletną informacją, podobnie jak gry z naturą, częste w wielu aspektach działalności geologiczno-górnictwych i surowcowych objaśniono w rozdziale dziesiątym. W ostatnim, jedenastym rozdziale wzięto pod uwagę gry powtarzane stosowane przy modelowaniu wielokrotnych, wzajemnych interakcji graczy. Tego typu gry operują często pojęciem reputacji, kary, nagrody za zerwanie bądź dotrzymanie umów i są przydatne w ocenie strategicznych poczynań podmiotów rynkowych.

Podejmowanie decyzji jest nieodzowne we wszystkich dziedzinach działalności człowieka, szczególnego zaś znaczenia nabiera w działalności gospodarczej, na różnych jej etapach. Poszukiwanie sposobów podejmowania optymalnych decyzji jest tematem dociekań naukowych od dziesięcioleci, a mnogość opracowań z tego zakresu świadczy o istotności tej materii. Treść rozprawy, której celem było wskazanie narzędzi teorii gier jako pomocnych technik w rozwiązywaniu zagadnień konfliktowych w praktyce geologiczno-złożowej i surowcowej, wpisuje się w ten nurt.

MARIUSZ KRZAK

Game Theory in Economic Geology

Summary

The main area of interest of economic geology is mineral deposits. Such deposits, interesting enough from the point of view of nature, are considered here in a special context: as raw materials, without which it would be impossible for many sectors of the economy to function. It is these raw materials which often determine the level of wealth and prosperity of societies. Meanwhile the processes involved, from the forecast of reserves through geological and mining work to the final acquisition of ore, usually take a considerable length of time. It should be remembered that geological and mining projects are as a rule expensive, often occurring under conditions of uncertainty, and are subject to significant risks and expenditures which do not always yield satisfactory returns. The management and conservation of reserves, along with estimates of the economic utility of their exploitation, are part of the overall long-term politics of raw materials, space and the environment. Inevitably, in the course of these activities, various and often conflicting interests must be reconciled. Conditions of conflict, in addition to risk and uncertainty, are fundamental to the environment in which certain decisions must be made. Risk and uncertainty have been the subjects of many discussions in the literature concerning geology and mining; however, conflict has never been given so prominent a place. Game theory, however, concerns itself with such conflict and not only from a mathematical point of view. Economic geology, as an interdisciplinary science incorporating the experiences and achievements of other sciences, such as mathematics, is a field in which elements of game theory can be applied. The rich variety of the assorted conflict-creating aspects of economic geological research demands the use of mathematical tools.

Game theory analyses the problems associated with making decisions within systems involving multiple participants, each of whom has his own preference as to expected payoffs. The size of the game's payoff depends not only on a player's own actions, but on the moves of all participants. It is additionally presumed that all players behave rationally which, in the terminology of game theory, means that each player seeks to maximize his own payoff, regardless of what the others are doing. It would seem, then, that game theory provides a mathematical basis to explain strategic thinking; indeed, the tools of game theory enable each player to choose strategies which will maximize his own payoff. Applications of game theory are well-known and commonly employed

in economics, military science, evolutionary biology, political science, and many other fields. In each model explained on the basis of game theory, one can observe the tendency to choose the optimum strategy from among all possible modes of action. Game theory also works in systems where a single player is operating under conditions of uncertainty, as frequently occurs in many aspects of geological and mining activities.

This dissertation consists of thirteen chapters, a substantial portion of which deal with game theory, including Chapters Four through Eleven. Each chapter related to game theory is supplied with examples reflecting reality as actually encountered in the field of economic geology. The second and third chapters are intended to introduce the range of themes and issues addressed in the dissertation. They present decisions in the framework of classical theory as well as delineating the essential dimensions of risk and uncertainty in geological and mining investments. The following (fourth) chapter discusses the terminology used in game theory, demonstrating how these terms are to be used, as well as illuminating the basic concepts underlying the theories of utility and preferences. The utility function is crucial in game theory, as a way of assigning a numerical value to a player's preferences, enabling determination of the payoff associated with subjective satisfaction in the game. The fifth chapter describes a two-player, zero-sum game, demonstrating how to depict games of this type as well as algebraic and graphic ways of resolving them. The sixth chapter features a description of a two-player, non-zero-sum game. It includes an extended analysis of the modelling of a conflict situation, including co-operation between players. The Nash Equilibrium is defined, along with its variations in the game models of Cournot and Stackelberg. The seventh chapter presents, in extended form, games in which complete information is available. Games with nature, which have widespread applications in the geological-mining field, are summarized in Chapter Eight. The ninth chapter focuses on multi-player games. It shows the distribution of payoffs in games involving coalitions, as well as methods of strategic bargaining. Games involving incomplete information, similar to games with nature, which are commonly applied to geological and mining activities and evaluation of raw materials, are explained in Chapter Ten. The eleventh, or last, chapter considers games repeatedly used to model the mutual interactions of multiple players. These types of game incorporates such concepts as reputations, fines, awards for keeping contracts, or consequences for breaking them, and thus are useful for evaluating the actions of market participants.

Decision-making is essential in all areas of human activity; particular importance, however, is accorded to business and its various stages. The search for methods of arriving at the best decisions has been the subject of scientific inquiry for decades, as demonstrated by the multitude of studies on this topic. The contents of this inquiry, which is aimed at identifying the tools of game theory as a useful technique in addressing conflicts in the arena of geological-mining and raw-material activities, are part of this trend.