ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2011
Seria: ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE z. 57 Nr kol. 1847

Jan KAŁUSKI
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Ekonomii i Informatyki

ZASTOSOWANIE TEORII GIER W PLANOWANIU I KONTROLOWANIU POTRZEB MATERIAŁOWYCH W PRZEDSIĘBIORSTWIE GÓRNICZYM[1]

Streszczenie. W artykule omówiono podejście teoriogrowe w planowaniu i kontrolowaniu liczby materiałów niezbędnych w działalności wydobywczej przedsiębiorstwa górniczego. Zaproponowano i uzasadniono hierarchiczną, dwuosobową grę o sumie niezerowej jako model sytuacji decyzyjnej, występującej w przedsiębiorstwie górniczym. Dla sformułowania strategii czystych obu graczy przyjęto rozwiązanie gry w postaci strategii optymalnych, wynikających z równowagi niekooperacyjnej w sensie Stackelberga. Scenariusz zaproponowanej gry zostanie zweryfikowany zgodnie z uwarunkowaniami w rzeczywistym przedsiębiorstwie górniczym.

GAME-THEORY APPLICATION TO PLANNING AND CONTROLLING OF THE NECESSARIES MATERIALS AT THE COAL MINE

Summary. In the work game-theoretical approach to the planning and controlling necessaries of materials at the coal mine is presented. The hierarchical two-person non-zero-sum game was prepared and justified. For the pure strategies for two persons solving of game in the Stackelberg sense is accepted. The proposed scenario at the game will be verified after investigation in the coal mine.

[1]Artykuł naukowy, finansowany ze środków na naukę w 2009 roku jako projekt badawczy własny nr N N524 552038.

1. Wstęp

Planowanie potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwach jest ciągle ważnym i aktualnym problemem decyzyjnym w zarządzaniu organizacjami. Ta dziedzina wiedzy doczekała się ogromnej liczby publikacji dotyczących metod optymalizacji wspomnianego planowania. Prym wiodą tutaj metody wielokryterialnej optymalizacji. Wspomagane symulacją komputerową, dają wyniki z żądaną dokładnością i wykorzystywane są nie tylko w planowaniu potrzeb materiałowych, ale również w kontrolowaniu i sterowaniu tych potrzeb, w tym zapasów materiałowych. Metody optymalizacji wielokryterialnej są żmudne, matematycznie rozbudowane i wymagają szczegółowych danych do ich stosowania. Dlatego też używane są na poziomie taktycznym lub operacyjnym przedsiębiorstw.

Przedsiębiorstwa górnicze ze względu na swoją specyfikację i warunki działalności są obiektami trudno zarządzanymi, a problemy podejmowania decyzji zaopatrzenia materiałowego, potrzebnego w procesie produkcyjnym węgla, są jeszcze niedostatecznie rozpoznane. Modelowanie matematyczne procesów w górnictwie dotyczy modelowania górotworu i związanych z tym problemów. Zastosowanie modelowania matematycznego w podejmowaniu decyzji zarządczych w przedsiębiorstwie górniczym staje się dziś problemem naglącym ze względu na opłacalność wydobycia węgla w ogóle, a w szczególności w bardzo skomplikowanych ekonomicznych warunkach Polski. Stąd też liczne próby zastosowań różnych metod matematycznych, które wspomagają podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwach górniczych. Nie od rzeczy będzie tu wspomnieć o próbach zastosowania metod teorii gier w podejmowaniu decyzji w górnictwie [2].

W związku z powyższym, celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie i uzasadnienie zastosowania teoriogrowego podejścia do wspomagania planowania i kontrolowania potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwie górniczym na poziomie strategicznym.

Zatem, w punkcie 2 artykułu zbudowano scenariusz gry w celu uzasadnienia zastosowania wybranej postaci gry w formułowaniu i rozwiązywaniu problemu decyzyjnego. W punkcie 3 zaproponowano i uzasadniono dwuosobową hierarchiczną grę o sumie niezerowej jako matematyczny model rozwiązywanego problemu decyzyjnego. W punkcie 4 zaś zawarto wnioski i propozycję dalszych prac badawczych w omawianym zakresie.

2. Budowa scenariusza gry

Przy planowaniu zapotrzebowania na materiały w przedsiębiorstwie górniczym pierwszoplanową rolę, której nie sposób pominąć, odgrywa procedura zamawiania materiałów związana z procesem przetargowym. Liczba przetargów jest ustalona odgórnie i regulowana przez ustawę „Prawo zamówień publicznych". Planując przede wszystkim ilość wybranego rodzaju materiału, należy mieć na uwadze istotne ograniczenia w postaci terminów przetargów i związanych z tym procedur. Zakłóca to znacznie rytm zamawiania potrzebnych materiałów, które w określonym czasie powinny być dostarczone do przedsiębiorstwa górniczego.

Zatem, optymalne planowanie zapotrzebowania materiałowego, ustalonego co do rodzaju i ilości, powinno uwzględniać wiele kryteriów (zwykle jest ich więcej niż dwa) przy różnorodnych uwarunkowaniach. Jednym z ważniejszych uwarunkowań jest wspomniana już przez nas procedura przetargowa. Ograniczenia wynikające z tej procedury są przede wszystkim czasowe. Szczególnie więc w strategicznym planowaniu zapotrzebowania materiałowego przez przedsiębiorstwo górnicze ograniczenia tego typu powinny być bezwarunkowo uwzględnione.

W jaki sposób w tej sytuacji może postępować przedsiębiorstwo górnicze (w skrócie PG)? Aby na to pytanie odpowiedzieć, ograniczmy się do sytuacji decyzyjnej przy zamawianiu jednego wybranego rodzaju materiału również na poziomie strategicznym. W tym przypadku strategii postępowania może być wiele. Ze względu jednak na wspomniane ograniczenie czasowe, wynikające z systematyki przetargów, można wskazać na przynajmniej trzy różne strategie postępowania przy planowaniu zapotrzebowania materiałowego przez PG:

1. Jednorazowo dokonuje się zamówienia pełnej ilości materiałów na planowany okres, np. 1 rok.
   Strategia ta polega na tym, że w określonym terminie sporządza się zamówienie na dostarczenie całości materiału do PG, który następnie jest składowany i zużywany stopniowo w miarę potrzeby podczas realizacji zadań produkcyjnych w PG.
2. Całkowita planowana ilość potrzebnego materiału dzielona jest na równe lub z góry ustalone części (porcje) w zależności od możliwej maksymalnej liczby przetargów w ciągu np. 1 roku.
   Taka strategia postępowania jest już bardziej elastyczna, a zarazem bardziej złożona i wymaga ścisłego przestrzegania terminów przetargów i ilości materiałów przypisanych danemu terminowi. Taktyka i operacyjne działania w tym przypadku mogę być różne i wymagają użycia adekwatnych optymalizacyjnych modeli formalnych (programowanie wielokryterialne itp.). Jest to więc ciągły, zdeterminowany pobór materiałów.
3. Trzecia strategia postępowania w tym przypadku polega na okresowym zamawianiu pewnej ilości materiału w okresach niekoniecznie zbieżnych z wszystkimi terminami przetargów. Mogą to być terminy wynikające z bieżącego monitorowania (śledzenia) ilości zapasów materiałowych. Taki sposób pozwala na sterowanie zapasami materiałowymi na poziomie strategicznym.

W ramach zaprezentowanych trzech strategii postępowania przy podejmowaniu decyzji dotyczącej planowania zapotrzebowania materiałowego możliwe są oczywiście bardziej wyrafinowane sposoby postępowania, które na razie nie będą rozpatrywane, a ich pominięcie nie wpłynie na ogólny scenariusz budowy gry decyzyjnej.

Krótko scharakteryzujmy 3 przedstawione strategie postępowania PG. Zauważmy, że postępowania takie proponuje się na poziomie strategicznym PG, a więc najwyższym i najbardziej ogólnym. Poziom ten cechuje się niedużą szczegółowością decyzji. Z jednej strony jest to ułatwienie, gdyż nie wymaga niejednokrotnie zaawansowanego aparatu matematycznego do planowania. Z drugiej strony błędy w planowaniu, popełnione na tym poziomie, są trudno lub wręcz niemożliwe do korygowania w przyszłości i w znacznym stopniu rzutują na cały proces planowania potrzebnej ilości materiałów. Wszak wiadomo, iż we współczesnych dynamicznych warunkach działalności przedsiębiorstw, w szczególności górniczych, trafne zaplanowanie ilości materiałów potrzebnej do nieprzerwanego procesu produkcyjnego jest niejednokrotnie sztuką bardzo trudno realizowalną.

Reasumując, trafne przewidzenie jednorazowo całkowitej ilości materiału, potrzebnej do produkcji w PG, jest zadaniem niezwykle trudnym i wymaga precyzyjnej predykcji wielu czynników wpływających, podczas gdy dokładne liczby tych czynników oraz ich oddziaływanie są mało precyzyjne, wręcz rozmyte i niepewne, niejednokrotnie występujące z różnym i nie zawsze określonym prawdopodobieństwem.

Uwagi i zastrzeżenia co do takiego postępowania w podejmowaniu decyzji na poziomie strategicznym dotyczą, rzecz jasna, trzech wymienionych tutaj strategii postępowania. Dostrzegamy jednak, że strategie znacznie się między sobą różnią. Pierwsza, polegająca na zamówieniu jednorazowo całości potrzebnego materiału dla PG, jest najbardziej zawodna, gdyż prawdopodobieństwo przebiegu procesu produkcyjnego w PG w sposób zaplanowany na okres jednego roku jest bardzo małe. Dwie inne strategie – druga i trzecia – są bardziej niezawodne, aczkolwiek wymagają stosowania różnych, czasami niełatwych, metod optymalnego wielokryterialnego programowania z bieżącą kontrolą w celu korekcji ilości zapasów lub ich braku w następnym okresie.

W celu naukowo uzasadnionego podejścia do planowania zapotrzebowania materiałowego w PG na poziomie strategicznym proponuje się (w związku z przedstawionym scenariuszem podejmowania decyzji) podejście oparte na teorii gier.

3. Model matematyczny sytuacji decyzyjnej

Modelowanie matematyczne problemów decyzyjnych jest zadaniem trudnym i mało efektywnym. Przyczyną małej efektywności w tym przypadku nie jest brak metod optymalizacji problemów podejmowania decyzji, lecz trafności stosowania tych metod w rozpoznawalnych warunkach działalności przedsiębiorstw. Warunki te bowiem bardzo trudno poddają się identyfikacji lub ciągle zmieniają się i przestają być aktualne w krótkim czasie. Dlatego też bardzo ważne jest stosowanie takich metod optymalizacyjnych przy planowaniu zapotrzebowania materiałowego, które są mało wrażliwe (wręcz odporne) na zmieniające się uwarunkowania działalności przedsiębiorstw oraz na skutki nieprecyzyjnej lub niepełnej ich identyfikacji.

Zastosowanie metod teorii gier w tej sytuacji rodzi naturalne scenariusze postępowania w procesie decyzyjnym. Dla tych metod zmieniające się uwarunkowania są stosunkowo łatwo modelowane lub ewentualne niedokładności ich modelowania mają niewielkie znaczenie w przyszłym, ogólnym scenariuszu gry. Oczywiście różnych możliwych scenariuszy, opisujących sytuacje decyzyjne, jest bardzo dużo. Prowadzi to do wielu różnych gier strategicznych i niestrategicznych, które z kolei mogą być deterministyczne lub stochastyczne. W niniejszym artykule nie będziemy szczegółowo omawiać tych zagadnień. Literatura na ten temat jest dziś ogromna. Wspomnę tylko niektóre (obecnie już klasyczne) pozycje, takie jak [1, 3, 4, 5]. Można w nich znaleźć metody modelowania różnych problemów decyzyjnych z zastosowaniem różnego rodzaju gier.

Rozpoznając sytuację decyzyjną w przypadku strategicznego planowania zapotrzebowania materiałowego w PG, rysuje się określony scenariusz sytuacji decyzyjnej w postaci dwuosobowej gry strategicznej. Mamy gracza, który niezależnie od przedsiębiorstwa decyduje o możliwości przeprowadzenia przetargu. Gracz ten decyduje, czy można w danym terminie wykonać zamówienie przez PG określonego rodzaju materiałów potrzebnych do produkcji. Widać stąd, że ten gracz w hierarchii stoi wyżej niż decydent podejmujący decyzje na poziomie PG. W terminologii teorii dwuosobowych gier strategicznych gracz ten ma zatem dwie czyste strategie:

1. umożliwić przeprowadzenie przetargu przez PG,
2. uniemożliwić przeprowadzenie tego przetargu.

Gracza tego będziemy nazywali graczem pierwszym – prowadzącym (liderem) i będziemy go oznaczali przez G1. Wymusza on swoje strategie.

Wracając do proponowanego scenariusza podejmowania decyzji na poziomie przedsiębiorstwa górniczego, widzimy, że gracz drugi – przedsiębiorstwo – ma trzy różne strategie czyste w tym przypadku:

1. jednorazowy pobór całości materiałów,
2. pobór ciągły materiałów, tzn. w każdym możliwym terminie przetargowym (podział całkowitej ilości materiału jest dzielony na równe lub z góry określone porcje),
3. pobór okresowy potrzebnych materiałów w terminach uzależnionych od przetargu z uwzględnieniem danych z monitoringu (śledzenia) zapasów materiałów. Tego gracza będziemy nazywali naśladowcą (followerem) i oznaczali przez G_2. Gracz ten, jak widać,

w hierarchii stoi niżej niż gracz pierwszy. Jego decyzje zależą od terminów przetargów, którymi rozporządza G_1.

Uściślając sytuację decyzyjną w postaci gry, powiemy, że w danym przypadku mamy do czynienia z modelem hierarchicznej, dwuosobowej gry strategicznej o sumie niezerowej. W takiej grze istnieje równowaga w postaci sformułowanej przez Stackelberga [1].

W celu rozumienia dalszego postępowania zaprezentujemy dalej niezbędny formalizm matematyczny dotyczący tego rodzaju gry (zob. np. [1]). Każdą strategiczną grę można w sposób formalny przedstawić w postaci określonej macierzy gry lub w postaci drzewa gry. Skupimy się na postaci macierzowej, modelującej opisaną sytuację decyzyjną. Budujemy macierz o wymiarach (m x n), m wierszy i n kolumn. Wiersze w tej macierzy reprezentują strategie czyste gracza pierwszego (G_1), kolumny zaś strategie czyste gracza G_2. W naszym przypadku będziemy mogli zapisać grę w postaci macierzy (2 x 3). Ogólnie, można napisać, że liczba czystych strategii gracza G_1 przebiega wartości indeksu $i = \overline{1, m}$, a liczba czystych strategii gracza G_2 przebiega wartości indeksu $j = \overline{1, n}$. Będziemy zatem mieli do czynienia z macierzą (m x n). Jest ona zbudowana z podwójnych elementów (a_{ij}, b_{ij}) i tworzy w ten sposób podwójną macierz, tzw. bimacierz. Można ją rozłożyć na dwie pojedyncze macierze dla każdego gracza. Są nimi $A = [a_{ij}]$ dla gracza pierwszego oraz $B = [b_{ij}]$ dla gracza drugiego. Odpowiednie macierze są pokazane we wzorach:

$$[(a_{ij}, b_{ij})] = \begin{bmatrix} (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) & \dots & (a_{1n}, b_{1n}) \\ (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) & \dots & (a_{2n}, b_{2n}) \\ (a_{i1}, b_{i1}) & \dots & (a_{ij}, b_{ij}) & (a_{in}, b_{in}) \\ (a_{m1}, b_{m1}) & \dots & \dots & (a_{mn}, b_{mn}) \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{m1} & \dots & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$B = [b_{ij}] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & & & \\ b_{m1} & \dots & \dots & b_{mn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

W danej grze gracz G_1 wybiera wiersze od $i = \overline{1, m}$ jako swoje strategie postępowania. Wówczas optymalną strategią dla gracza G_2 jest taka kolumna $j = k(i)$, że dla każdego $j = \overline{1, n}$ jest spełnione $b_{ik} \le b_{ij}$. Zbiór wszystkich strategii czystych $k(i)$ oznaczymy przez

R(i). Strategią równowagi w sensie Stackelberga dla prowadzącego (leadera) gracza G_1 jest strategia i_0, taka że spełniona jest następująca zależność [1]:

$$\max_{j \in R(i_0)} a_{i_0 j} = \min_i \max_{j \in R(i)} a_{ij} = S^*(A), \tag{4}$$

gdzie $S^*(A)$ jest tzw. kosztem Stackelberga dla prowadzącego. Natomiast strategią Stackelberga (optymalną strategią) dla naśladowcy jest $j_0 \in R(i_0)$.

Objaśnijmy jeszcze tu pojęcia tzw. rozwiązania Stackelberga i wyniku równowagi Stackelberga. Jeżeli i_0 jest strategią Stackelberga dla prowadzącego (gracza G_1), a $j_0 \in R(i_0)$ optymalną strategią naśladowcy, to para strategii (i_0, j_0) stanowi rozwiązanie Stackelberga, a odpowiadająca im para kosztów $(a_{i_0 j_0}, b_{i_0 j_0})$ jest wynikiem równowagi w grze w sensie Stackelberga.

W ten sposób został sformalizowany i omówiony scenariusz problemu decyzyjnego w postaci hierarchicznej, dwuosobowej gry strategicznej o sumie niezerowej z równowagą Stackelberga. Do rozwiązania konkretnego problemu decyzyjnego tą metodą, w przypadku podejmowania decyzji w planowaniu zapotrzebowania materiałowego dla PG, niezbędna jest znajomość elementów macierzy A i B dla obu graczy. Wartości elementów tych macierzy a_{ij}, b_{ij} dla: $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$ zostaną pozyskane w trakcie identyfikacji uwarunkowań, które mają miejsce w rzeczywistym PG. Prace dotyczące tego fragmentu projektu będą tematem następnych etapów pracy naukowo-badawczej.

BIBLIOGRAFIA

1. Kałuski J.: Teoria Gier. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Kowalik S.: Wykorzystanie teorii gier do podejmowania decyzji w górnictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
3. Osborne J.M.: An introduction to Game Theory. Oxford University Press, New York 2004.
4. Owen G.: Game Theory. Third Edition. Academic Press, 1995.
5. Straffin P.D.: Teoria Gier. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 2001.

Recenzent: Dr hab. inż. Ireneusz J. Jóźwiak

Abstract

The coal mine's undertakings in Poland have very complicate structure to managing. Therefore decision making problems in the planning and controlling of the necessaries materials are inadequate recognized.

Mathematical modeling of the mining processes today's privilege concerning of rock mass and similar problems. Application of the mathematical modelling to decision making problems in Polish coal mines however today's becomes very important. Hence we have numerous of the tests to application of the different mathematical methods supporting decision making in the coal mines. We should have to mention about the tests application of the game-theory methods to decision making in coal mine industry.

The aim of the present work is presentation and justification game-theory approach to supporting of planning and controlling of the necessaries materials at the coal mine on the strategic level. Therefore in the part 1 of the work the scenario of adequate game is constructed. In the part 2 the hierarchical to-person non-zero-sum game is prepared and justified. The equilibrium in game in the Stackelberg sense is accepted. Some conclusions and propositions to further works is included.