

**Maciej Wolny**

Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Ekonomii i Informatyki  
Maciej.Wolny@polsl.pl

# OCENA WYROBISK WYBIERKOWYCH KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO Z UWZGLĘDNIENIEM NIEPORÓWNYWALNOŚCI KRYTERIÓW<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Głównym celem pracy jest przedstawienie możliwości uwzględniania nieporównywalności kryteriów w procedurze wielokryterialnego wspomaganie decyzji z wykorzystaniem metody AHP. Praca dotyczy zastosowania metod wielokryterialnych do oceny projektów inwestycyjnych dotyczących wyrobiska wybierkowego w kopalni węgla kamiennego. Uwzględnienie nieporównywalności kryteriów związane jest z aspektami bezpieczeństwa pracy (występujących zagrożeń). Zagadnienia poruszone w pracy są konsekwencją analiz związanych z oceną w cyklu istnienia (życia) inwestycji oraz wykorzystania koncepcji dominacji ze względu na ryzyko do wspomaganie decyzji przy nieporównywalności kryteriów.

**Słowa kluczowe:** wyrobisko wybierkowe, nieporównywalność kryteriów, wielokryterialne wspomaganie decyzji.

## Wprowadzenie

Celem pracy jest przedstawienie możliwości wspomaganie wielokryterialnych decyzji przy nieporównywalności kryteriów. Idea prezentowanej metody opiera się na wykorzystaniu koncepcji dominacji ze względu na ryzyko [Harsanyi i Selten, 1992] w procedurze metody AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [Saaty, 1977, 1980]. Punktem wyjścia do rozważań związanych z wykorzystaniem dominacji ze względu na ryzyko jest budowa modelu zagadnienia wielokryterialnego na gruncie teorii gier [Wolny, 2007, 2008; Madani i Lund, 2011].

---

<sup>1</sup> Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 341640 „Metoda wyznaczania wartości kopalni węgla kamiennego” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

## 1. Wielokryterialna ocena obiektów za pomocą metody AHP

Metoda AHP została opracowana przez T.L. Saaty'ego [1980] i ze względu na swoje właściwości jest szeroko stosowana w praktyce. Należy do metod wielokryterialnych bazujących na teorii użyteczności addytywnej oraz ma zastosowanie do zagadnień dyskretnych. Metoda umożliwia odwzorowanie hierarchicznej struktury problemu decyzyjnego. W metodzie AHP porównuje się parami obiekty (warianty decyzyjne), a następnie przypisuje się ocenie werbalnej wyrażonej przez decydenta ocenę liczbową. W toku procedury AHP otrzymuje się dla każdego kryterium względne wagi każdego wariantu decyzyjnego, które wyrażają preferencje decydenta w skali ilorazowej. W identyczny sposób porównuje się parami kryteria, otrzymując względne wagi kryteriów, które informują o ważności poszczególnych kryteriów. Końcowe uporządkowanie powstaje na bazie względnych wag wariantów dla każdego kryterium oraz wag kryteriów. Syntetycznie procedurę metody AHP można ująć następująco:

1. Budowa macierzy porównań na podstawie porównań parami wariantów decyzyjnych i kryteriów. Ocenie werbalnej przypisywana jest ocena liczbowa w zakresie od 1 do 9 (od równoważności do ekstremalnej preferencji) oraz odwrotności tych liczb w przypadku odwrotnej preferencji.

2. Obliczanie względnych wag wariantów dla każdego kryterium oraz dla kryteriów poprzez: sumowanie w kolumnach wartości z macierzy porównań, następnie normalizację macierzy porównań (podzielenie wartości macierzy w kolumnach przez ich sumę) oraz ostatecznie uśrednienie wartości w wierszach znormalizowanej macierzy porównań. Średnie te dla wariantów są wagami względnymi wariantów i tworzą macierz  $W$ . Średnie dla kryteriów to względne wagi kryteriów, które tworzą wektor  $w$ .

3. Końcowe wagi wariantów (wektor  $w^*$ ) określające końcowe uporządkowanie wariantów oblicza się zgodnie ze wzorem:  $w^* = W \cdot w$ .

4. Ocena zgodności porównań z wykorzystaniem współczynnika zgodności.

Przedstawiona skrótowa procedura opiera się na klasycznym podejściu opracowanym przez Saaty'ego. Umożliwia uporządkowanie obiektów, przy czym wymagane jest od decydenta wyrażenie preferencji w odniesieniu do każdej pary wariantów oraz każdej pary rozpatrywanych kryteriów.

Istnieją jednak problemy decyzyjne, w których decydent nie potrafi albo nie chce wyrazić preferencji w odniesieniu do przynajmniej niektórych z rozpatrywanych kryteriów, uznając je za istotne i nieporównywalne. Nieporównywalność przy analizie wielokryterialnej zostanie uwzględniona poprzez budowę zagadnienia wielokryterialnego na gruncie teorii gier.

## 2. Zagadnienie wielokryterialne jako gra

Model zagadnienia wielokryterialnego jako gra był formułowany jako dwuosobowa gra o sumie zerowej [Kofler, 1967] oraz w postaci gry z naturą w metodach dla zagadnień bez informacji o preferencjach przedstawionej w pracy Hwanga i Yoona [1981]. Problem wielokryterialny w postaci wieloosobowej gry niekooperacyjnej o sumie niezerowej rozpatrywano w pracy [Madani i Lund, 2011] oraz pracach [Wolny, 2007, 2008, 2013]. Budowa modelu problemu wielokryterialnego jako gry wynika z identyfikacji związków między zagadnieniem wielokryterialnym a grą [Wolny, 2007; Madani i Lund, 2011]. Z graczem osobowym utożsamiany jest decydent rozpatrujący problem z punktu widzenia jednego kryterium (gracz-kryterium), a pojedynczą strategią tego gracza będzie wybór wariantu decyzyjnego (strategia-wariant). Wypłatą (wygraną) gracza będzie wtedy ocena wariantu decyzyjnego względem danego kryterium. Gra jest więc pewnym abstraktem i rozgrywana jest „w umyśle” decydenta. Istotą problemu (w sensie wyboru jednego wariantu) jest wybór przez wszystkich graczy strategii związanej z tym samym wariantem decyzyjnym. Do pełnego określenia gry niezbędne jest również zdefiniowanie wypłat w sytuacji, gdy gracze-kryteria wybiorą strategie odpowiadające różnym wariantom decyzyjnym, przy uwzględnieniu konsekwencji takiego postępowania [Wolny, 2013]. Ponadto rozpatrywana gra może być analizowana ze względu na dwa podejścia: pierwsze – gra rozgrywana (między graczami-kryteriami) jest jednokrotnie, przy pełnej informacji o strategiach i wypłatach [Wolny, 2013], drugie – gra rozgrywana wieloetapowo, do momentu osiągnięcia stabilnego rozwiązania (równowagi), również przy pełnej informacji [Madani i Lund, 2011]. W pracy rozpatrywane będzie wyłącznie pierwsze podejście.

Z formalnego punktu widzenia zagadnienie wielokryterialne zostanie zdefiniowane ogólnie w następujący sposób:

$$\max_{x \in X} F(x) = \max_{x \in X} [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)], \quad (1)$$

gdzie  $X$  jest skończonym zbiorem dopuszczalnych wariantów decyzyjnych  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $x$  jest dowolnym elementem tego zbioru,  $f_j$  jest  $j$ -tą funkcją-kryterium określoną na zbiorze  $X$  ( $j=1, 2, \dots, k$ ),  $F(x)$  jest wektorem grupującym wszystkie funkcje celu,  $f_j(x)$  oznacza ocenę wariantu decyzyjnego względem  $j$ -tego kryterium (zakłada się, że każde z rozpatrywanych kryteriów jest kryte-

rium prawdziwym [Roy, 1985]<sup>2</sup>, wyraża preferencje w skali ilorazowej), czyli równanie (1) przedstawia problem maksymalizacji funkcji wektorowej, której składowe reprezentują uwzględniane funkcja-kryteria. Ponadto dane są wszystkie oceny wariantów decyzyjnych względem wszystkich kryteriów. Korzystając z relacji między zagadnieniem wielokryterialnym a grą, zagadnienie (1) można przekształcić w  $k$ -osobową grę niekooperacyjną o sumie niezerowej w następującej formie [Wolny, 2013]:

$$G = (\Phi, H), \quad (2)$$

gdzie  $\Phi = X^k$  jest zbiorem wszystkich możliwych sytuacji w grze, natomiast  $H$  jest funkcją wypłat graczy określoną na  $\Phi$ . Każda sytuacja w grze jest określona jednoznacznie przez wektor strategii czystych wybranych przez każdego z graczy. Elementem zbioru  $\Phi$  jest więc wektor  $\phi = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$ ,  $x_{ij} \in X$ , którego składowe oznaczają strategie poszczególnych graczy wybrane w danej sytuacji –  $i$ -ta strategia jest wybierana przez  $j$ -tego gracza ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$ ). Sytuację, w której wszyscy gracze wybierają strategię związaną z tym samym  $i$ -tym wariantem decyzyjnym, oznaczono przez:

$$\phi_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}), x_{i1} = x_{i2} = \dots = x_{ik}. \quad (3)$$

Motywacją graczy-kryteriów do osiągnięcia w grze sytuacji  $\phi_i$ , czyli jednoznacznego określenia wariantu decyzyjnego, jest punkt odniesienia, którego wypłaty odzwierciedlają sytuację, w której gracze-kryteria osiągają sytuację różną od  $\phi_i$ . Uzyskanie koordynacji między graczami w celu osiągnięcia sytuacji  $\phi_i$  jest możliwe, jeśli analizowana gra będzie miała charakter gry koordynacji [Wolny, 2008]. Sytuacja określona jako punkt odniesienia (*status quo*) niech generuje najmniejsze możliwe wypłaty graczy, spowoduje to motywację do osiągnięcia dowolnej sytuacji  $\phi_i$  (wyboru tego samego wariantu przez wszystkich graczy)<sup>3</sup>. Wobec tego postulat funkcja wypłat będzie miała następującą postać:

<sup>2</sup> Oznacza to, że jeden wariant jest preferowany w sensie kryterium względem drugiego, jeśli ocena względem kryterium wariantu pierwszego jest większa niż w przypadku drugiego wariantu. Jeśli oceny są takie same, to warianty są równoważne.

<sup>3</sup> Postulat wynika z konsekwencji, jakie niesie dla decydenta sytuacja, w której problem nie zostanie rozstrzygnięty (nie zostanie wybrany wariant decyzyjny). Przyjmuje się, że sytuacja taka jest zdecydowanie gorsza niż wybór dowolnego wariantu ze zbioru rozpatrywanych rozwiązań. Przyjęcie poszczególnych minimów jako punktu odniesienia jest więc racjonalnym podejściem. Oczywiście całkowicie odmienną problematyką będzie występowanie wariantu decyzyjnego o charakterze status quo, jak np. w pracy [Madani i Lund, 2011].

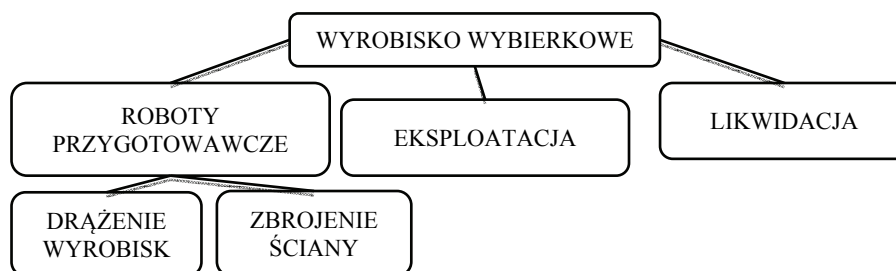
$$H(\phi) = \begin{cases} (f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_k(x_i)) & \phi = \phi_i, \\ (\min_{i=1,2,\dots,n} f_1(x_i), \min_{i=1,2,\dots,n} f_2(x_i), \dots, \min_{i=1,2,\dots,n} f_k(x_i)) & \phi \neq \phi_i \end{cases} \quad (4)$$

Model zagadnienia wielokryterialnego w postaci gry (2) z funkcją wypłat (4) jest grą koordynacji, w której występuje  $n$  równowag w zbiorze strategii czystych. Ustalenie równowagi jest równoważne z wyborem wariantu decyzyjnego. Do wyboru równowagi zostanie wykorzystana koncepcja dominacji ze względu na ryzyko [Harsanyi i Selten, 1992].

Mając pełną informację o wypłatach, gdy występuje dominacja ze względu na wypłaty, racjonalni gracze zastosują strategie wskazujące na tę równowagę. W przypadku równowag niezdominowanych ze względu na wypłaty gracze wybiorą strategie implikujące równowagę dominującą ze względu na ryzyko, przy tym ryzyko to jest związane z prawdopodobieństwem subiektywnym. Idea dominacji ze względu na ryzyko polega na porównaniu oczekiwanych wypłat dla różnych strategii oraz wyznaczeniu granicznego, subiektywnego prawdopodobieństwa warunkującego wybór przez gracza swojej lepszej strategii. Porównanie prawdopodobieństw warunkuje istnienie silniejszych przesłanek do wyboru odpowiedniej strategii-wariantu przez graczy. Idea ta zostanie przedstawiona w aplikowanym zagadnieniu dotyczącym oceny inwestycji ścianowych w kopalni węgla kamiennego.

### 3. Wielokryterialna ocena inwestycji dotyczących wyrobisk

Analizowany problem wielokryterialny dotyczy porównania dziewięciu inwestycji w kopalni węgla kamiennego z uwzględnieniem faz cyklu życia inwestycji [Sojda i Wolny, 2012]. Strukturę hierarchiczną zagadnienia przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Struktura zagadnienia oceny wyrobisk wybierkowych

Źródło: [Sojda i Wolny, 2012].

W każdej fazie cyklu życia rozpatrywane kryteria mają przede wszystkim charakter ilościowy związany z: długością drążonych wyrobisk, kosztem wykonanych robót, czasem trwania tych prac oraz wielkością złoża. Bardzo ważnym kryterium uwzględnianym przy ocenie jest kryterium związane z występującymi zagrożeniami (głównie: metanowymi, tapaniami, wodnymi i pyłowymi).

W procedurze agregacji kryteriów w metodzie AHP kryterium związane z występującymi zagrożeniami nie zostanie uwzględnione, ponieważ trudno wyrazić preferencje względem bezpieczeństwa zdrowia i życia ludzi a czynnikami techniczno-ekonomicznymi. W związku z tym obok kryterium związanego z zagrożeniami (F10) rozpatrywane są następujące kryteria techniczno-ekonomiczne, które traktowane są jako miary normatywne oceny inwestycji: długość chodnika nadścianowego i podścianowego w odniesieniu do wielkości złoża przy drążeniu wyrobisk (F1), długość rozcinki ścianowej w odniesieniu do wielkości złoża przy drążeniu wyrobisk (F2), koszt drążenia w odniesieniu do wielkości złoża przy drążeniu wyrobisk (F3), koszt zbrojenia w odniesieniu do czasu zbrojenia (F4), koszt zbrojenia w odniesieniu do wielkości złoża (F5), koszt eksploatacji w stosunku do czasu i wielkości urobku (F6), koszt eksploatacji w odniesieniu do wielkości złoża (F7), koszt likwidacji w odniesieniu do czasu trwania likwidacji (F8), koszt likwidacji w odniesieniu do wielkości złoża (F9). Względne wagi inwestycji ze względu na rozpatrywane kryteria, względne wagi kryteriów razem z końcowymi względnymi wagami ocenianych inwestycji wyznaczono na podstawie macierzy porównań i przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Względne wagi ocenianych inwestycji oraz kryteriów

INWES- TYCJA	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	RAZEM DLA KRYTERIÓW F1-F9
	0,250	0,250	0,500	0,333	0,667	0,500	0,500	0,333	0,667		
	DRAŻENIE			ZBROJENIE		EKSPLOATACJA	LIKWIDACJA	ZAGRO- ZENIA			
	0,667			0,333							
	PRZYGOTOWANIE										
0,334					0,568		0,098				
I	0,076	0,026	0,076	0,154	0,053	0,037	0,076	0,026	0,019	0,136	<b>0,058</b>
II	0,109	0,053	0,109	0,037	0,026	0,053	0,218	0,218	0,076	0,221	<b>0,114</b>
III	0,019	0,019	0,019	0,109	0,037	0,019	0,019	0,076	0,026	0,052	<b>0,026</b>
IV	0,154	0,307	0,154	0,218	0,307	0,307	0,307	0,053	0,154	0,083	<b>0,260</b>
V	0,307	0,218	0,218	0,076	0,154	0,218	0,037	0,019	0,037	0,083	<b>0,143</b>
VI	0,218	0,154	0,307	0,307	0,218	0,109	0,109	0,109	0,109	0,136	<b>0,155</b>
VII	0,037	0,076	0,026	0,019	0,076	0,026	0,154	0,037	0,053	0,034	<b>0,071</b>
VIII	0,026	0,037	0,053	0,026	0,019	0,076	0,053	0,307	0,218	0,221	<b>0,074</b>
IX	0,053	0,109	0,037	0,053	0,109	0,154	0,026	0,154	0,307	0,034	<b>0,099</b>

Źródło: [Sojda i Wolny, 2012].

Idea dominacji ze względu na ryzyko zostanie zaprezentowana na przykładzie porównania inwestycji VIII z inwestycją IX.

Ze względu na kryteria techniczno-ekonomiczne F1-F9 lepszą inwestycją w sensie metody AHP jest inwestycja IX ( $0,099 > 0,074$ ), natomiast ze względu na występujące zagrożenia lepszą jest inwestycja VIII ( $0,221 > 0,034$ ). Można więc powiedzieć, że ze względu na kryterium uwzględniające czynniki techniczno-ekonomiczne oraz kryterium uwzględniające zagrożenia rozpatrywane inwestycje są efektywne (niezdominowane). Porównanie tych dwóch inwestycji z wykorzystaniem modelu (2) prowadzi do dwuosobowej gry o sumie niezerowej, dla której macierz wypłat zgodnie z formułą (4) przedstawia się następująco:

$$\begin{bmatrix} (0,074;0,221) & (0,026;0,034) \\ (0,026;0,034) & (0,099;0,034) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Pierwszy wiersz oraz pierwsza kolumna macierzy odpowiadają inwestycji VIII, drugi wiersz i druga kolumna odpowiednio inwestycji IX. Pierwsza wartość w parze jest wypłatą gracza-kryterium związanego z czynnikami techniczno-ekonomicznymi, druga wartość wypłatą gracza-kryterium związanego z występującymi zagrożeniami. Mając do wyboru dwie wyszczególnione strategie, pierwszy gracz-kryterium wybierze swoją lepszą inwestycję, jeśli wartość oczekiwana wynikająca z wyboru tej inwestycji będzie większa niż wynikająca z wyboru inwestycji VIII, czyli spełniony zostanie warunek:

$$0,074 \cdot q + 0,026 \cdot (1 - q) < 0,026 \cdot q + 0,099 \cdot (1 - q), \quad (6)$$

gdzie  $q$  oznacza subiektywne prawdopodobieństwo wyboru przez gracza drugiego swojej lepszej strategii, czyli inwestycji VIII. Po przekształceniu otrzymuje się następujący warunek dotyczący wartości prawdopodobieństwa:

$$q < \frac{0,073}{0,121} = q_0 \approx 0,603, \quad (7)$$

czyli jeśli gracz pierwszy przypuszcza, że prawdopodobieństwo wyboru przez gracza drugiego jest mniejsze niż  $0,603$ , to będzie skłonny wybrać swoją lepszą strategię – inwestycję IX. Przez  $q_0$  oznaczono graniczną wartość prawdopodobieństwa wyboru przez gracza drugiego swojej lepszej strategii.

Podobnie gracz drugi wybierze swoją lepszą inwestycję, jeśli:

$$0,221 \cdot (1 - p) + 0,034 \cdot p < 0,034, \quad (8)$$

czyli:

$$p < 1 = p_0, \quad (9)$$

gdzie  $p$  oznacza subiektywne (w odniesieniu do gracza drugiego) prawdopodobieństwo wybrania przez gracza pierwszego swojej lepszej strategii, czyli inwestycji IX. Graniczną wartość prawdopodobieństwa wyboru przez gracza drugiego swojej lepszej strategii oznaczono przez  $p_0$ .

W rozpatrywanym przykładzie można zauważyć, że gracz drugi ma silniejsze przesłanki do wyboru swojej lepszej strategii niż gracz pierwszy swojej – dla gracza drugiego wystarczy, że wybór przez gracza pierwszego lepszej strategii nie jest zdarzeniem pewnym, natomiast dla gracza pierwszego prawdopodobieństwo wyboru przez gracza drugiego musi być mniejsze niż  $q_0 \approx 0,603$ . Przy pełnej informacji w grze obaj gracze, znając swoje motywacje przy wyborze strategii, wybiorą strategię implikującą równowagę (sytuację w grze) dominującą ze względu na ryzyko. Ogólnie rzecz ujmując, dla dowolnej pary strategii (inwestycji), gdy zachodzi zależność:

$$q_0 < p_0, \quad (10)$$

to obaj gracze wybiorą równowagę odpowiadającą lepszej strategii gracza drugiego. Z powyższych rozważań wynika, że dla problemów dwukryterialnych wariant decyzyjny  $x_1$  dominuje ze względu na ryzyko, wariant decyzyjny  $x_2$ , dla gry (2) z funkcją wypłat (4), jeśli zachodzi zależność:

$$f_{22} \cdot f_{12} < f_{11} \cdot f_{21}, \quad (11)$$

gdzie  $f_{ji} = f_j(x_i) - \min_k f_j(x_k)$ .

W przypadku zagadnień dwukryterialnych relacja dominacji ze względu na ryzyko jest przechodnia [Wolny, 2014].

Uwzględniając kryterium związane z zagrożeniami oraz korzystając z warunku (11), zbudowano ranking rozpatrywanych inwestycji, który przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Końcowy ranking ocenianych inwestycji

INWESTYCJA	RAZEM DLA KRYTERIÓW F1-F9 $f_1$	ZAGROŻENIA $f_2$	ILOCZYN $f_1 f_2$	RANKING (UPORZĄDKOWANIE)
I ( $x_1$ )	0,058	0,136	0,003	<b>6</b>
II ( $x_2$ )	0,114	0,221	0,016	<b>1</b>
III ( $x_3$ )	0,026	0,052	0,000	<b>7</b>
IV ( $x_4$ )	0,26	0,083	0,011	<b>3</b>
V ( $x_5$ )	0,143	0,083	0,006	<b>5</b>
VI ( $x_6$ )	0,155	0,136	0,013	<b>2</b>
VII ( $x_7$ )	0,071	0,034	0,000	<b>8</b>
VIII ( $x_8$ )	0,074	0,221	0,009	<b>4</b>
IX ( $x_9$ )	0,099	0,034	0,000	<b>7</b>
min	0,026	0,034		



Kolumna ILOCZYN zawiera wartości wynikające z warunku (11)<sup>4</sup>, czyli:

$$f_{1i} \cdot f_{2i} = (f_1(x_i) - \min_k f_1(x_k)) \cdot (f_2(x_i) - \min_k f_2(x_k)).$$

Reasumując przeprowadzone rozważania, najlepszą inwestycją w sensie proponowanego podejścia (przy uwzględnieniu wszystkich kryteriów) jest inwestycja II.

## Podsumowanie i wnioski końcowe

Przy analizie problemu oceny inwestycji ścianowych w kopalni węgla kamiennego należy podkreślić, że kryterium związane z występującymi zagrożeniami jest bardzo ważne i trudno określić w sposób skwantyfikowany relacje między tym kryterium a kryteriami techniczno-ekonomicznymi. Do oceny inwestycji ścianowych można zastosować inny zbiór kryteriów techniczno-ekonomicznych, jednak w każdym przypadku należy brać pod uwagę kryterium związane z występującymi zagrożeniami.

Przeprowadzona analiza dotycząca oceny wyrobisk wybierkowych ma charakter pogładowy i w sposób świadomy abstrahuje od wyceny złożeń<sup>5</sup> oraz wykorzystania metod związanych ze zaktualizowanymi wartościami strumieni pieniężnych. Nie umniejsza to jednak walorów utylitarnych proponowanej metodyki związanej z wykorzystaniem metody AHP w odniesieniu do porównywalnych kryteriów oraz metody opartej na teorii gier i ogólnej teorii wyboru równowagi w grach [Harsanyi i Selten, 1992] w odniesieniu do nieporównywalnych kryteriów.

Reasumując, propozycja wykorzystania modelu zagadnienia wielokryterialnego w postaci gry umożliwi uwzględnienie nieporównywalności kryteriów. Podstawowym warunkiem stosowalności takiego modelu jest wyrażenie ocen wariantów decyzyjnych w postaci kryterium prawdziwego, które jest miarą na skali ilorazowej – implementacja w metodykę AHP przez wykorzystanie wag względnych wariantów decyzyjnych (inwestycji) spełnia ten warunek. W odniesieniu do proponowanego podejścia na uwagę zasługuje fakt, że w opisywanym modelu nie jest wymagana normalizacja ocen, ponieważ relacja dominacji ze względu na ryzyko opiera się na porównaniu granicznych subiektywnych prawdopodobieństw związanych wyłącznie z wypłatami danego gracza – są wyrażone w jednostkach użyteczności tego gracza.

<sup>4</sup> Inwestycja IX jest lepsza od VII w sensie postulowanego podejścia, ponieważ występuje dominacja ze względu na wypłaty, która reprezentuje silniejszą preferencję niż dominacja ze względu na ryzyko.

<sup>5</sup> Przede wszystkim z powodu zewnętrznych czynników, które mają wpływ na cenę węgla, relatywnie dużych problemów z oszacowaniem cen oraz aspektami natury społeczno-politycznej, które mogą uzasadniać eksploatację złożeń w chwilowych warunkach nieracjonalności z punktu widzenia finansowej wyceny inwestycji.

## Literatura

- Harsanyi J.C., Selten R. (1992), *A general Theory of Equilibrium Selection in Games*, MIT Press, Cambridge-London.
- Hwang C.L., Yoon K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. State of the art Surveys*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Kofler E. (1967), *O zagadnieniu optymalizacji wielocelowej*, „Przegląd Statystyczny”, nr 1.
- Madani K., Lund J.R. (2011), *A Monte-Carlo game theoretic approach for Multi-Criteria Decision Making under uncertainty*, „Advances in Water Resources”, No. 34.
- Trzaskalik T. (red.) (2011), *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, PWE, Warszawa.
- Roy B. (1985), *Methodologie Multicritere d'Aide a la Decision (Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, WNT, Warszawa 1990), Editions Economica, Paris.
- Saaty T.L. (1977), *A Scaling method for priorities in hierarchical structures*, „Journal of Mathematical Psychology”, No. 15.
- Saaty T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, Mc-Graw Hill, New York.
- Sojda A., Wolny M. (2012), *Zastosowanie metody AHP w ocenie projektów inwestycyjnych kopalni węgla kamiennego*, materiały konferencji „Innowacje w finansach i ubezpieczeniach. Metody matematyczne, ekonometryczne i komputerowe. Konferencja im. dr hab. prof. AE Piotra Chrzana”, UE w Katowicach.
- Wolny M. (2013), *Aspekt sytuacji status quo we wspomaganiu wielokryterialnego wyboru bazującego na teorii gier*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Studia Ekonomiczne, nr 132.
- Wolny M. (2008): *Decision making problem with two incomparable criteria – game theory solution*, [w:] Trzaskalik T. (red.), *Multiple Criteria Decision Making '07*, Publisher of Karol Adamiecki University of Economics in Katowice, Katowice.
- Wolny M. (2007): *Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Wieloatrybutowe wspomaganie organizacji przestrzennej komórek produkcyjnych z zastosowaniem teorii gier*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Wolny M. (2014): *Wykorzystanie dominacji ze względu na ryzyko do porządkowania wariantów w zagadnieniach dwukryterialnych przy nieporównywalności kryteriów*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i Zarządzanie, nr 68.

### EXCAVATIONS EVALUATION IN HARD COAL MINE WYBIERKOWYCH CONSIDERING CRITERIA INCOMPARABILITY

**Summary:** The main aim of this paper is to present the possibilities to take into consideration non-comparability criteria in the procedure of multi-criteria decision support using AHP method. The work concerns the application of multi-criteria methods for the evaluation of investment projects associated with excavation in hard coal mine. The

inclusion of non-comparability criteria is associated with the safety aspects of work (existing threats). The issues dealt with in the work are a consequence of the investment life cycle analysis evaluation and the use of the concept of risk dominance for the decision support.

**Keywords:** excavation evaluation, incomparability criteria, multicriteria decision support.