

## Ocena projektów inwestycyjnych przy nieporównywalności kryteriów – zastosowanie metody ELECTRE IV\*

**Autor:** Maciej Wolny

### Abstrakt

Celem pracy jest pokazanie, że wykorzystanie metody ELECTRE IV do oceny projektów inwestycyjnych w kopalni węgla kamiennego związanych z eksploatacją wyrobisk wybierkowych pozwala ustalić ranking przedsięwzięć inwestycyjnych. W tego typu problemach rozpatruje się kryteria związane z zagrożeniami oraz kryteria finansowe. Zwykle decydent nie chce lub nie potrafi określić relacji między tymi kryteriami, z tego wynika nieporównywalność kryteriów, rozumiana jako brak informacji o preferencjach względem kryteriów. Na podstawie danych uzyskanych z przedsiębiorstw przemysłu górniczego analizowane jest zagadnienie ustalenia rankingu dziewięciu projektów wyrobisk wybierkowych węgla kamiennego ocenianych ze względu na szacowane wielkości urobku i kosztów całkowitych oraz występujących zagrożeń metanowych i tąpnięciami. Otrzymany ranking końcowy jest przybliżeniem systemu preferencji uwzględniającego nieporównywalność z jednej strony, a z drugiej – uwzględnia znamienne znaczenie każdego z rozpatrywanych kryteriów.

**Słowa kluczowe:** Projekt inwestycyjny, wyrobisko wybierkowe, analiza wielokryterialna,

ELECTRE IV  
JEL: C44, C65, L71

### Wprowadzenie

Działalność inwestycyjna jest podstawową działalnością przedsiębiorstwa. Ogólnie rzecz ujmując, polega na wydatkowaniu środków pieniężnych na różnego rodzaju aktywa (Samuelson, Nordhaus 1995). W podjętym zagadnieniu w sposób szczególny rozpatrywane będą inwestycje rzeczowe, czyli zakup aktywów, takich jak nieruchomości, maszyny i urządzenia (w odróżnieniu od inwestycji w papiery wartościowe) (Jajuga, Jajuga 2006). Zagadnienie inwestowania jest bardzo szerokie i występuje wiele problemów oraz definicji inwestowania w zależności od uwypuklenia aspektów tego procesu (Jonek-Kowalska, Michalak 2012), jak również kwestii związanych ze źródłami finansowania inwestycji

(Michalak, Jonek-Kowalska 2012). Ponadto z zależności od branży i rodzaju inwestycji posiadają one specyficzne własności (np. inwestycje rzeczowe, rozwojowe w przedsiębiorstwie przemysłowym zwykle oznaczają się dużą kapitałochłonnością oraz długim okresem zwrotu zainwestowanego kapitału). W pracy projekt inwestycyjny będzie rozumiany jako zbiór zadań inwestycyjnych wzajemnie od siebie zależnych, uczestniczących w osiągnięciu określonego celu inwestycyjnego (Brandenburg 2002). Zadanie inwestycyjne jest to z kolei część zakresu rzeczowego przedsięwzięcia inwestycyjnego, która może funkcjonować niezależnie i przynosić wymierny efekt – może być oddana do użytkowania przed zakończeniem całego projektu.

W artykule ocena projektu inwestycyjnego związana będzie ze zbiorem projektów inwestycyjnych, których ocena będzie wynikała z ich porównania. Tym samym rozważane zagadnienie dotyczy porządkowania projektów według malejącej preferencji. Preferencje te są określone

\* Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 341640 „Metoda wyznaczania wartości kopalni węgla kamiennego” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

przez kryteria oceny. Ogólnie rzecz ujmując, przy ocenie inwestycji najczęściej stosuje się kryteria finansowe związane z opłacalnością inwestycji – do klasycznych miar, opisywanych praktycznie w każdym podręczniku (Matfoka 2002) należą: okres zwrotu, zdyskontowany okres zwrotu, księgową stopa zwrotu, NPV (wartość bieżąca netto), PI (indeks zyskowności), wewnętrzna stopa zwrotu (IRR), zmodyfikowana wewnętrzna stopa zwrotu (MIRR) czy też minimalny cykl życia inwestycji (minimalny okres, w jakim inwestycja będzie generowała przychody). Obok tych kryteriów przy ocenie projektów inwestycyjnych uwzględnia się również kryteria społeczne, ekologiczne oraz związane z bezpieczeństwem i higieną pracy – szczególnie w przypadku inwestycji w przedsiębiorstwach przemysłowych, np. kopalniach.

W niniejszej pracy rozważany jest problem decyzyjny związany ze wstępną oceną projektów inwestycyjnych. Głównym celem artykułu jest pokazanie na przykładzie, że zastosowanie proponowanej metody umożliwi wielokryterialną ocenę projektów inwestycyjnych przy braku informacji o preferencji w zakresie międzykryterialnym oraz pozwala zbudować ranking projektów inwestycyjnych. Analizowany w pracy konkretny problem decyzyjny dotyczy oceny projektów inwestycyjnych w przedsiębiorstwie górniczym związanych z szeroko rozumianą eksploatacją wyrobisk wybierkowych (Turek 2013).

### Ocena wielokryterialna, nieporównywalność kryteriów

Zagadnienia wielokryterialne obejmują wszystkie problemy, w których uwzględnionych jest więcej niż jedno kryterium podejmowania decyzji. Oceny wariantów decyzyjnych względem określonego kryterium umożliwiają uporządkowanie wariantów, przy tym najczęściej porządku otrzymane przy wykorzystaniu różnych kryteriów nie są identyczne – nie są zgodne. Stąd jednym z kluczowych aspektów wielokryterialnej oceny jest określenie sposobu agregacji ocen względem różnych kryteriów (Roy 1985), która prowadzi do skalaryzacji zagadnienia<sup>1</sup>. Agregacja ocen jest konsekwencją uwzględnienia dodatkowych informacji uzyskanych od decydenta, odnoszących się do jego preferencji w zakresie uwzględnianych kryteriów.

W sytuacji, gdy występuje brak informacji o tych preferencjach możliwe jest również

wspomaganie decydenta, jednak w zakresie ograniczonym do metod wskazujących na rozwiązania efektywne lub realizujące różnorakie postulaty, takie jak maksymin lub maksimum (Hwang, Yoon 1981: 58–66).

Nieporównywalność kryteriów w sensie niniejszej pracy dotyczy takich sytuacji decyzyjnych, w których decydent nie chce lub nie umie określić referencji w zakresie kryteriów. Tym samym nie ma przesłanek do konstrukcji metakryterium agregującego rozważane kryteria. Sytuacje takie występują najczęściej we wstępnej analizie problemu decyzyjnego.

### Metoda ELECTRE IV

Proponowana metoda należy do rodziny metod ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité – ELimination and Choice Expressing REality) tzw. francuskiej szkoły wspomaganie wielokryterialnych decyzji (Roy 1985; Roy, Bouyssou 1993). Idea polega na budowie relacyjnego systemu preferencji w oparciu o relację przewyższania. Cechą, która wyróżnia metodę ELECTRE IV, jest brak konieczności wprowadzenia wag rozpatrywanych kryteriów – jedynie przyjmuje się, że żadne z kryterium nie jest mniej ważne niż połowa pozostałych. Wszystkie metody z grupy ELECTRE bazują na porównywaniu parami wariantów decyzyjnych. Dla każdego kryterium ustala się zwykle wartości progowe, które odnoszą się do różnicy ocen dwóch wariantów względem danego kryterium. Są to progi: równoważności  $q$  (jeśli różnica ocen nie przekroczy tego progu, to warianty uznaje się za równoważne), preferencji  $p$  (jest nie mniejszy niż próg równoważności i wskazuje granicę między silną i słabą preferencją – tzn. jeśli różnica ocen jest między  $p$  i  $q$ , to występuje słaba preferencja, jeśli różnica jest większa niż  $p$ , to silna preferencja) oraz próg weta, który określa maksymalną różnicę w ocenach wariantów, która uniemożliwia przewyższanie ze względu na spełnienie warunków preferencji względem innych kryteriów. W metodach ELECTRE wykorzystuje się tzw. testy na przewyższanie, które wskazują, czy między daną parą wariantów zachodzi relacja przewyższania.

W metodzie ELECTRE IV porównanie dwóch wariantów polega na sprawdzeniu, czy zachodzi między nimi jedna z następujących typów relacji: quasi-dominacji, dominacji kanonicznej, pseudodominacji, subdominacji oraz wetodominacji. Wszystkie te relacje są definiowane w odniesieniu do liczby kryteriów, względem których spełnione są odpowiednie zależności. W związku z tym przyjęto następujące oznaczenia:

<sup>1</sup> Formalnie można przyjąć, że wariant decyzyjny jest opisany przez wektor ocen względem rozważanych kryteriów.

$mp(a,b)$  – liczba kryteriów, dla których  $a$  jest silnie preferowane nad  $b$ ;

$m_q(a,b)$  – liczba kryteriów, dla których  $a$  jest słabo preferowane nad  $b$ ;

$mi(a,b)$  – liczba kryteriów, dla których  $a$  jest równoważne  $b$ , ale ocena wariantu  $a$  jest wartościowo lepsza niż  $b$ ;

$m0(a,b)$  – liczba kryteriów, dla których warianty  $a$  i  $b$  zostały ocenione identycznie, czyli  $m0(a,b)=m0(b,a)$ ;

$m$  – liczba wszystkich kryteriów;

$f_j(a)$  – ocena wariantu  $a$  względem  $j$ -tego kryterium,

$v_j(f_j(a))$  – próg weta, określający maksymalną różnicę między ocenami wariantu  $b$  i  $a$ , dla której wariant  $a$  może przewyższać  $b$ , tzn. jeśli to wariant  $a$  nie może przewyższać wariantu  $b$ .

Wobec przyjętych oznaczeń poszczególne relacje można zdefiniować w następujący sposób:

- quasi-dominacja ( $S_q$ ):

$$aS_q b \Leftrightarrow m_p(b,a) + m_q(b,a) = 0 \wedge m_i(b,a) \leq 1 + m_i(a,b) + m_q(a,b) + m_p(a,b) \quad (1)$$

- dominacja kanoniczna ( $S_c$ ):

$$aS_c b \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0 \wedge m_q(b,a) \leq m_p(a,b) \wedge m_q(b,a) + m_i(b,a) \leq 1 + m_i(a,b) + m_q(a,b) + m_p(a,b) \quad (2)$$

- pseudodominacja ( $S_p$ ):

$$aS_p b \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0 \wedge m_q(b,a) \leq m_p(a,b) + m_q(a,b) \quad (3)$$

- subdominacja ( $S_u$ ):

$$aS_u b \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0 \quad (4)$$

- wetodominacja ( $S_v$ ):

$$aS_v b \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0 \vee \left( m_p(b,a) = 1 \wedge (\forall j, f_j(b) \leq f_j(a) + v_j(f_j(a))) \wedge m_p(a,b) \geq \frac{m}{2} \right) \quad (5)$$

Wymienione kolejno typy dominacji reprezentują coraz słabsze przesłanki do występowania relacji przewyższania – jeśli zachodzi quasi-dominacja, to zachodzą również wszystkie pozostałe, jeśli zachodzi dominacja kanoniczna, to zachodzą również wszystkie pozostałe oprócz quasi-dominacji, itd. Na podstawie tych relacji buduje się dwa preporządki częściowe wykorzystujące procedurę destylacji (Roy, Bouyssou 1993, Nowak 2006). Kombinacja tych dwóch preporządków implikuje preporządek końcowy.

## Ocena wybranych projektów eksploatacji wyrobisk wybierkowych w kopalni węgla kamiennego

Rozpatrywany problem decyzyjny dotyczy oceny projektów inwestycyjnych w kopalni węgla kamiennego w zakresie przygotowania, eksploatacji oraz likwidacji wyrobisk wybierkowych w kopalni węgla kamiennego, czyli w zakresie cyklu życia wyrobiska wybierkowego. Pierwszym etapem jest przygotowanie, które obejmuje drażnienie wyrobisk korytarzowych (chodnik podścianowy, rozcinka ścianowa, chodnik nadścianowy i pozostałe chodniki) oraz zbrojenie ściany. Roboty przygotowawcze są drogie (średnio w analizowanych projektach zakładane koszty robót przygotowawczych stanowiły 48,9% szacowanych kosztów całkowitych, w tym drażnienie korytarzy 22,5%, a zbrojenie ścian 26,4%). Średni czas robót przygotowawczych wynosił 3,2 miesiąca. Średni czas eksploatacji ściany wynosił 10,9 miesiąca – drugi etap cyklu życia wyrobiska jest najdłuższy. Z tego punktu widzenia bardzo ważne na tym etapie są występujące zagrożenia: metanowe, tąpnięciami, wodne, pyłowe oraz inne, których pojawienie się powoduje szczególne zagrożenie zdrowia i życia górników. Przeciętne koszty eksploatacji wyrobiska wynosiły ok. 47,0% szacowanych całkowitych kosztów. Koszt likwidacji ściany stanowił ok. 4,1% całkowitych kosztów, przy tym czas trwania tego etapu jest porównywalny z etapem najbardziej kosztownym i był planowany średnio w badanych projektach wyrobisk na 3,4 miesiąca. Hierarchiczny aspekt zagadnienia został uwzględniony w pracy (Sojda, Wolny 2015). Celem analizy problemu w niniejszej pracy jest uporządkowanie wybranych projektów inwestycyjnych według malejącej preferencji z uwzględnieniem nieporównywalności kryteriów. Przyjęto cztery kryteria (wymienione w ta-

beli 1): wielkość urobku, koszty całkowite, zagrożenia metanowe oraz zagrożenia tąpnięciami (pozostałe zagrożenia nie różnicowały badane przedsięwzięcia). Należy przy tym zaznaczyć, że tego typu problemy zwykle są rozwiązywane ze względu na jedno kryterium (oczekiwane koszty całkowite lub generowany oczekiwany zysk). Natomiast kryteria związane z bezpieczeństwem pracy, uwzględniające występujące zagrożenia, są uwzględnione jako ograniczenia – uregulowania prawne sankcjonują konieczność zastosowania zabezpieczeń przy określonych stopniach

Tabela 1. Oceny wariantów decyzyjnych względem rozpatrywanych kryteriów.

Projekt inwestycyjny – wzrost wyrobisko wybierkowe	f1 – wielkość urobku, szacowane zasoby [tys. ton]	f2 – koszty całkowite [tys. zł]	f3 – zagrożenia metanowe (kategoria zagrożenia)	f4 – zagrożenie tąpnięciami (kategoria zagrożenia)
a1	411	55252	2	1
a2	469	58251	1	1
a3	297	82739	3	1
a4	1581	89022	2	2
a5	1092	99118	2	2
a6	966	78119	2	1
a7	650	84084	4	1
a8	414	68300	1	1
a9	737	85071	4	1

Źródło: dane z przedsiębiorstwa górniczego.

zagrożenia. Większe zagrożenie pociąga za sobą poniesienie wyższych kosztów. Jednakowoż zagrożenie to nie zostaje wyeliminowane, dlatego dla decydenta istotne znaczenie ma uporządkowanie projektów przy uwzględnieniu wyróżnionych kryteriów bez określania relacji między kryteriami.

W tabeli 1 przedstawiono oceny rozpatrywanych projektów inwestycyjnych ze względu na przyjęte kryteria. Spośród uwzględnionych kryteriów tylko kryterium *f1* (wielkość urobku) jest maksymalizowane, pozostałe są minimalizowane.

Przedstawione w tabeli 1 dane wskazują, że występują projekty zdominowane (nieefektywne,

czyli nie lepsze ze względu na wszystkie kryteria i jednocześnie gorsze ze względu na przynajmniej jedno), kolejno: projekt **a1** dominuje **a3**, **a2** dominuje **a3** i **a8**, **a4** dominuje **a5**, **a6** dominuje **a3**, **a7** i **a9**, **a8** dominuje **a3**. Zdominowane projekty są w rankingu niżej projektów, które je dominują, jednak relacja dominacji nie porządkuje zbioru analizowanych projektów.

W tabeli 2 przedstawione zostały wartości progów: równoważności, preferencji oraz weta. Dane te uzyskano od decydenta, gdy decydent określił zbiór rozpatrywanych projektów oraz poznał oceny tych projektów względem przyjętych kryteriów.

Tabela 2. Wartości progów: równoważności, preferencji oraz weta.

kryterium	próg równoważności $qk[fk(ai)]$	próg preferencji $pk[fk(ai)]$	próg weta $vk[fk(ai)]$
f1	10	50	1000
f2	100	1000	50000
f3	0	1	3
f4	2	3	4

Źródło: informacje uzyskane od decydenta

Na uwagę zasługuje fakt, że decydent przez ustalenie wartości progów (dokładnie progu równoważności) dla kryterium **f4** spowodował, że kryterium to nie różnicuje projektów (nie ma istotnego znaczenia – przy tym nie jest to związane z wagą liczbową kryterium). Kryterium nie zostało wyeliminowane z analizy, ponieważ w ogólnym przypadku może mieć pewne

marginalne znaczenie przy występowaniu dominacji kanonicznej (2), przy której uwzględnia się liczbę  $mi(a,b)$ .

Na podstawie uzyskanych od decydenta informacji oraz danych dotyczących projektów określono relacje zachodzące między wszystkimi parami projektów. Relacje te przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Relacje występujące między parami rozpatrywanych projektów.

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>
a <sub>1</sub>	1	0	1	0	0	0	0,2	0,8	0,2
a <sub>2</sub>	0	1	1	0	0	0	0,2	1	0,2

$a_3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$a_4$	0	0	0	1	1	0	0,2	0	0,2
$a_5$	0	0	0	0	1	0	0,2	0	0,2
$a_6$	0	0	1	0	0	1	1	0	1
$a_7$	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$a_8$	0	0	1	0	0	0	0,2	1	0,2
$a_9$	0	0	0	0	0	0	0,8	0	1

Źródło: opracowanie własne.

Wartości przedstawione w tabeli 3 reprezentują następujące relacje<sup>2</sup>:

1 – quasi-dominacja, 0,8 – dominacja kanoniczna, 0,6 – pseudodominacja, 0,4 – subdominacja, 0,2 – wetodominacja, 0 – brak relacji dominacji. Bazując na informacjach zawartych w tabeli 3, przeprowadzono procedurę destylacji zstępującej oraz wstępującej, na podstawie których zbudowano końcowe uporządkowanie rozpatrywanych projektów, które stanowi rozwiązanie analizowanego problemu decyzyjnego (warianty w kolejności według niemalejącej preferencji):  $a_6, a_2, a_1, a_4, a_8, a_9, a_5, a_7, a_3$ . Porównując otrzymane rozwiązanie do rozwiązań jednokryterialnych można zauważyć brak zgodności, szczególnie w optimum. Ze względu na szacowaną wielkość złoza uporządkowanie jest następujące:  $a_4, a_5, a_6, a_9, a_7, a_2, a_8, a_1, a_3$ , natomiast ze względu na szacowane koszty całkowite:  $a_1, a_2, a_8, a_6, a_3, a_7, a_9, a_4, a_5$ . Uporządkowania ze względu na kryteria związane z zagrożeniami wynikają z rang reprezentowanych przez kategorię zagrożenia przedstawionych w tabeli 1. Uzyskane dzięki zastosowaniu metody ELECTRE IV uporządkowanie wskazuje na wariant  $a_6$  jako najlepszy z projektów inwestycyjnych, który nie jest najwyższy w rankingach związanych z wielkościami ekonomicznymi (odpowiednio pozycja nr 3 ze względu na wielkość złoza oraz pozycja nr 4 pod względem kosztów całkowitych), ale cechuje go przy tym względnie wysoka pozycja w rankingach związanych z bezpieczeństwem.

### Podsumowanie

W pracy przedstawiono przykład wykorzystania metody ELECTRE IV do wspomaganiania wielokryterialnych problemów decyzyjnych przy braku informacji o preferencjach między kryteriami, gdy kryteria są nieporównywalne – decydent nie

chce lub nie może określić (ujawnić) preferencji dotyczących kryteriów.

W sposób szczególny produkcję węgla kamiennego cechuje działalność w warunkach zagrożenia zdrowia i życia pracowników. Występujące różnorodne zagrożenia (wodne, tąpnięciami, metanowe, pyłowe itd.) są oceniane, a regulacje prawne wymuszają stosowanie odpowiednich zabezpieczeń. Podejmowane działania zabezpieczające nie są w stanie wyeliminować zagrożeń, a w konsekwencji wystąpienia wypadków niosą poważne, finansowe skutki dla przedsiębiorstw górniczych – zamknięcie wyrobiska na skutek wypadku powoduje zatrzymanie produkcji na tym odcinku, a specyfika wydobycia powoduje, że koszty produkcji są w większości generowane (głównie ze względu na wysoki koszt robót przygotowawczych). Wobec tych faktów zasadne jest uwzględnienie analizy wielokryterialnej w tego typu problemach ze szczególnym uwzględnieniem kryteriów związanych z możliwymi zagrożeniami.

Z jednej strony określenie relacji między kryteriami oceniającymi bezpieczeństwo pracy (zagrożenie zdrowia i życia) pracowników a kryteriami finansowymi jest zwykle dla decydenta niemożliwe, nieakceptowane. Z drugiej zaś strony utylitarną wiedzą dla decydenta jest znajomość rankingu rozpatrywanych projektów przy uwzględnieniu nieporównywalności, wynikającej z tego braku informacji o preferencjach. Jedną z nielicznych metod, którą można wykorzystać w tego typu sytuacjach, jest proponowana w pracy metoda ELECTRE IV. Należy również podkreślić, że zastosowanie metody ELECTRE IV nie wymaga normalizacji ocen wariantów decyzyjnych, eliminuje to problem utraty informacji związanej z transformacją ocen wariantów decyzyjnych.

Proponowana analiza ma szczególnie utylitarne znaczenie we wstępnej fazie ewaluacji projektów przez menadżerów, a jej wyniki mogą mieć znaczenie referencyjne w końcowej fazie podejmowania decyzji.

<sup>2</sup> Wartości te są wykorzystywane w procedurze destylacji (Vallée, Zielniewicz 1994).

## Bibliografia

- Vallée D., Zielniewicz P. (1994), *ELECTRE III-IV, version 3.x - Aspects méthodologiques*. Document du LAMSADE no 85, Paris, Université Paris-Dauphine.
- Jonek-Kowalska I., Michalak A. (2012), *Ryzyko, koszt kapitału i efektywność w procesie finansowania inwestycji rozwojowych w górnictwie węgla kamiennego*, Warszawa, PWN.
- Michalak A., Jonek-Kowalska I. (2012), *Finansowanie inwestycji rozwojowych w górnictwie węgla kamiennego a wartość przedsiębiorstw górniczych*, Warszawa, PWN.
- Jajuga K., Jajuga T. (2006), *Inwestycje – instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*, Warszawa, PWN.
- Brandenburg H. (2002), *Zarządzanie lokalnymi projektami rozwojowymi*, Katowice, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach.
- Samuelson P., Nordhaus W. (1995), *Ekonomia 1*, Warszawa, PWN.
- Matłoka M. (2002), *Matematyka w finansach i bankowości*, Poznań, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Condurache G., Ciobanu R.M. (2003), *Some Particular Aspects Concerning Electre Method Applications*, 57th Meeting of the European Working Group, Multiple Criteria Decision Aiding, Viterbo, March 27-29.
- Roy B. (1985), *Methodologie Multicritere d'Aide a la Decision*, Paris, Ed. Economica.
- Roy B. (1990), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, Warszawa, WNT.
- Roy B., Bouyssou D. (1993), *Aide Multicritere a la Decision: Methodes et Cas*, Paris, Ed. Economica.
- Hokkanen J., Salminen P. (1997): „*ELECTRE III and IV Decision Aids in an Environmental Problem*”, *Journal Of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol.6/1997, s. 215–226.
- Nowak M. (2006), *Metody Electre*, [w:] *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, red. Trzaskalik T., Warszawa, PWE, s. 46–55.
- Hwang C.L., Yoon K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York, Springer-Verlag.
- Turek M. (2013), *System zarządzania kosztami w kopalni węgla kamiennego w cyklu istnienia wyrobiska wybierkowego*, Warszawa, Difin.
- Sojda A., Wolny M. (2015), *Zastosowanie metody AHP w ocenie projektów inwestycyjnych kopalni węgla kamiennego*, „*Studia Ekonomiczne*”, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, w druku.

## Investment projects estimation with non-comparability criteria – ELECTRE IV method application

**Abstract.** The aim of the paper is to show that the use of ELECTRE IV method for the investment projects evaluation in hard coal mine determines the ranking of investment projects. In this type of problems the criteria related to threats and financial criteria are dealt with. Usually the decision maker does not want or can not define the relationship between the criteria - non comparable criteria, understood as lack of information about preferences between the criteria. Based on the data obtained from coal mine enterprise, the paper analyzes the issue of building a ranking of nine projects assessed due to the estimated volume of the coal bed and the total costs and associated risks of methane and rock burst. The final ranking is an approximation of preferences system in which criteria incomparabilities and the significant importance of each criterion are taken into account.

**Keywords:** Investment project, coal excavation, multi-criteria analysis, ELECTRE IV