

Artykuł pochodzi z archiwalnych zasobów firmy EKO-KONSULT sp. z o.o. 80-557 Gdańsk, ul. Narwicka 6.

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Korzystanie za zgodą firmy EKO-KONSULT [biuro@ekokonsult.pl](mailto:biuro@ekokonsult.pl)



*Kwartalnik „Problemy Ocen Środowiskowych” wydawany cyklicznie w latach 1998 – 2012, przez EKO-KONSULT był jedynym wydawnictwem w Polsce, poświęconym wyłącznie ocenom środowiskowym planowanych inwestycji oraz strategicznym ocenom oddziaływania na środowisko. Dla praktyków OOS, ale również dla osób początkujących może nadal stanowić wartościowe źródło wiedzy np. w zakresie prezentowanych case study i przeglądu stosowanych metodyk - w tym kontekście znaczna część artykułów zachowuje sporo aktualności.*

---

Aleksandra Niepokólczycka\*, Wiktor Treichel

## **Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji w sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko**

### **Wprowadzenie**

W przygotowaniu ocen oddziaływania inwestycji na środowisko wymagane jest przeprowadzenie wielostronnej analizy konsekwencji jakie wywoła planowana inwestycja na różne elementy środowiska [14]. Analiza ta dokonywana jest w oparciu o wariantowe rozwiązania inwestycji, przy czym określenie skutków realizacji poszczególnych wariantów opiera się z reguły na przybliżonych danych i wskaźnikach. Każdy z możliwych do przyjęcia wariantów poddany zostaje wszechstronnej ocenie, uwzględniającej wszystkie istotne jego cechy i przeprowadzanej względem różnych kryteriów - ocenie składającej się z wielu ocen cząstkowych. Przy porównywaniu za pomocą ocen cząstkowych najczęściej jednak nie można stwierdzić, który z wariantów jest bezwzględnie najlepszy. Podejmowanie decyzji o wyborze wariantu inwestycji na podstawie tych ocen musi być zatem prowadzone z ostrożnością. Mimo trudności decydent musi podjąć decyzję o realizacji konkretnego wariantu bądź zaniechaniu całej inwestycji. Trudną rolę do spełnienia ma również ekspert wykonujący ocenę oddziaływania na środowisko, do którego zadań należy sporządzenie dokładnego opisu możliwych rozwiązań oraz ich wpływu na środowisko, przedstawienie ich zalet i wad, jak również wstępna selekcja proponowanych wariantów i sformułowanie wniosków na podstawie, których podjęta zostanie ostateczna decyzja. Pożądane jest więc, aby w procesie decyzyjnym posługiwać się odpowiednio dobranymi metodami pozwalającymi przezwyciężyć te trudności i rzeczywiście wspomóc decydenta w jego wyborze.

W niniejszym artykule zaprezentowane zostaną metody analizy wielokryterialnej z grupy ELECTRE oraz wskazane zostaną możliwości ich zastosowania w analizie przeprowadzanej

---

\* Aleksandra Niepokólczycka została nagrodzona w tegorocznej edycji KONKURSU „PROBLEMÓW OCEN ŚRODOWISKOWYCH” NA PRACE MAGISTERSKIE I LICENCJACKIE ZWIĄZANE Z PROBLEMATYKĄ OCEN ŚRODOWISKOWYCH za pracę pt. „Stosowalność metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko na przykładzie obwodnicy miejskiej”

w trakcie procesu oceny oddziaływania na środowisko. Ilustracją działania tych metod będzie analiza wyboru przebiegu autostrady A-2 w rejonie aglomeracji warszawskiej. Przykład ma charakter ilustracyjny i odzwierciedla stan zaawansowania prac projektowych w 1997 roku. W następnym rozdziale wprowadzone zostaną niezbędne oznaczenia i przedstawiony zostanie krótki przegląd zastosowań metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w problemach środowiskowych. Następnie omówiony będzie problem decyzyjny służący do ilustracji metod prezentowanych w dalszej części artykułu. Jednocześnie z opisem teoretycznym metod przedstawione zostaną wyniki ich zastosowania na przykładzie.

## Wielokryterialna analiza decyzji

Przed omówieniem konkretnych metod wprowadzimy pewne oznaczenia i dokonamy klasyfikacji wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Przyjmijmy, że warianty decyzyjne tworzą zbiór **A**. Zbiór ten może być skończony, podany w postaci listy  $A=\{a_i\}$ ,  $i=1,\dots,m$  lub może być zbiorem nieskończonym, danym w postaci pośredniej (np. w postaci wyrażenia logicznego, układu równań lub nierówności algebraicznych, itp.).

Globalna ocena wariantów wykorzystuje oceny cząstkowe uwzględniające różne punkty widzenia. Ustala się zbiór atrybutów, a następnie na tej podstawie buduje się rodzinę kryteriów  $F=\{g_j\}$ ,  $j=1,\dots,n$ . Dla każdego wariantu należy obiektywnie ustalić ich wartość. Nie jest to jednak łatwe zadanie. Pomijając problemy związane ze zidentyfikowaniem na etapie projektowym wszystkich zagrożeń, dużo kłopotów przysparza wyrażenie ich wielkości w liczbowej skali ocen. Przegląd metod mogących nieco ułatwić to zadanie zaprezentowano w pracy [11].

Dalsza część analizy opiera się na modelu preferencji decydenta. Istnieje kilka metod budowania i eksploatacji tego modelu [8, 9]. Do najczęściej stosowanych należą:

1. Funkcja użyteczności, gdzie preferencje decydenta przedstawiane są w postaci jednej, niekoniecznie liniowej funkcji, a wynik otrzymywany jest przez jej maksymalizację. Niestety nie dla każdego problemu decyzyjnego można taką funkcję określić. Często sam decydent nie umie udzielić informacji dostatecznej do jej skonstruowania.
2. Metody dialogowe, które można scharakteryzować jako iteracyjny proces współdziałania decydenta i analityka wspomaganie komputerem. Każda iteracja składa się z dwóch faz: fazy dialogu i fazy obliczeniowej. W fazie dialogu decydent zapoznaje się z wygenerowanym w fazie obliczeniowej rozwiązaniem i formułuje jego ocenę (zwykle w formie rodzaju i wielkości zmian, jakie należy wprowadzić do rozwiązania), ujawniając w ten sposób swoje lokalne preferencje. Analityk nadaje propozycjom decydenta wyraz formalny. W fazie obliczeniowej zostaje wyznaczone nowe rozwiązanie, spełniające ustalone w fazie dialogu wymagania. Wadami tej metody jest wolna zbieżność do rozwiązania optymalnego lub nawet jej brak, jeśli decydent udziela informacji niekonsekwentnie.
3. Grupa metod bazujących na relacjach przewyższania, zgodności i niezgodności. W metodach tych warianty porównywane są parami. Dla każdej pary wariantów zliczane są kryteria świadczące o przewyższaniu jednego wariantu przez drugi oraz kryteria wetujące takie stwierdzenie. Na podstawie liczby kryteriów należących do obu koalicji określana jest relacja między tymi wariantami. Poszczególne metody pozwalają na otrzymanie informacji o grupie wariantów preferowanych oraz relacjach między nimi, wariantach izolowanych, umożliwiają zidentyfikowanie wariantów najsłabszych, a nawet dają możliwość wyboru jednego wariantu preferowanego.

W literaturze można spotkać nieliczne prace dotyczące wykorzystania powyższych metod w problemach środowiskowych.

Próby zastosowania funkcji użyteczności do modelowania preferencji decydentów w zagadnieniu wyboru przebiegu autostrady zaprezentowano w [3] i [12]. Otrzymane tą metodą

wyniki porównano z wynikami uzyskanymi metodą dialogową. Zgodność rezultatów była duża. Podstawienie obliczonych parametrów modelu preferencji decydenta do metody ELECTRE III, należącej do trzeciej grupy, nie dało jednak oczekiwanych rezultatów. Spowodowane mogło to być brakiem uwzględnienia preferencji decydentów przy określaniu parametrów nie estymowanych metodą funkcji użyteczności.

Również w [5] przedstawiono zastosowanie metody analizy wielokryterialnej przy wyborze trasy autostrady adriatyckiej. Zaproponowana metoda PROMETHEE bazuje na relacjach przewyższania, zgodności i niezgodności. Uzyskane wyniki nie pozwoliły na wskazanie konkretnego wariantu jako rozwiązania najlepszego, ale pozwoliły na ograniczenie rozpatrywanej liczby rozwiązań.

W pracy [6] podjęto próbę wykorzystania metody z grupy ELECTRE do wyboru optymalnej lokalizacji elektrowni wodnej na dolnym biegu Dunaju, a w książce [4] przedstawiono różne przykłady zastosowań metod ELECTRE w problemach dotyczących ochrony środowiska m.in. przy wyborze lokalizacji zakładu utylizacji odpadów, systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, ustalenia priorytetów regionalnej polityki w zakresie ochrony środowiska.

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną trzy metody z grupy ELECTRE: ELECTRE I, ELECTRE IS i ELECTRE III oraz zaprezentowane zostaną wyniki ich działania na przykładzie problemu wyboru przebiegu trasy autostrady w rejonie aglomeracji warszawskiej.

## Problem wyboru przebiegu trasy autostrady

Jako przykład ilustrujący działanie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji wykorzystany zostanie problem wyboru przebiegu trasy autostrady A-2 w rejonie Warszawy. Przykład odnosi się do sytuacji z 1997 roku [2]. Ówczesnie rozpatrywano dwanaście wariantów przebiegu tej autostrady (tabela 1), z których pięć przebiegało bezpośrednio przez stolicę. Warianty te scharakteryzowano 38 kryteriami: osiem z nich dotyczyło środowiska, piętnaście zmian społeczno-kulturowych, a dziesięć miało charakter ekonomiczny. Wartości poszczególnych kryteriów dla każdego wariantu otrzymano przez zastosowanie przybliżonych formuł obliczeniowych, oszacowań eksperckich i kalkulacji finansowych. W niniejszym artykule zmniejszono tę rodzinę kryteriów poprzez redukcję i agregację, ograniczając ich liczbę do 22. Uzyskaną macierz oceny prezentuje tabela 2. Ze względu na brak udziału decydenta w procesie analitycznym przeprowadzono obliczenia dla czterech hipotetycznych scenariuszy decyzyjnych. Pozwoliło to, oprócz zaprezentowania metod, na pokazanie możliwości jakie dają metody z grupy ELECTRE w zakresie wskazania punktów stanowiących istotę konfliktu w porównywanych wariantach.

## Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji

### Metoda ELECTRE I

Metoda ELECTRE I [10] pozwala wyznaczyć spośród skończonego zbioru wariantów **A** pewien podzbiór wariantów, które mogą być uznane jako najlepsze. Pasuje więc idealnie do problematyki jaka stawiana jest przed ekspertem wykonującym ocenę oddziaływania na środowisko.

Model preferencji decydenta jest w tym przypadku realizowany poprzez relacje przewyższania, którą oznaczymy przez **S**. Wariant **a** przewyższa wariant **b** (co będziemy zapisywali w skrócie jako **aSb**) wtedy i tylko wtedy, gdy wariant **a** jest co najmniej tak dobry jak wariant **b**. Relacja przewyższania grupuje zatem relacje preferencji **P**, pod którą rozumiemy sytuację, gdy zdecydowani jesteśmy uznać wariant **a** za lepszy od wariantu **b**

oraz relacje równoważności  $I$ , gdy uznajemy, że warianty  $a$  i  $b$  są sobie równoważne, przy czym nie jest istotne, która z tych relacji zachodzi,  $P$  czy  $I$ .

Niezbędne dane dla metody to:

- wektor wartości kryteriów dla każdego wariantu  $g_j(a)$ ,
- współczynniki ważności poszczególnych kryteriów  $k_i$ , (nie powinny być one interpretowane jako współczynniki umożliwiające substytucję między kryteriami lecz powinny być odzwierciedleniem preferencji decydenta),
- prógi weta dla poszczególnych kryteriów  $v_j, j=1,2,\dots,n$ .

Budowa relacji przewyższania opiera się na dwóch koncepcjach: **zgodności** oraz **niezgodności**. Rozwiązywanie problemu rozpoczyna się od wyznaczenia siły **koalicji zgodności**. Dla każdej uporządkowanej pary wariantów  $(a,b)$  stawia się hipotezę, że  $a$  przewyższa  $b$ ,  $a \succ b$ . Koalicja zgodności jest zbiorem kryteriów, które świadczą na korzyść postawionej hipotezy, czyli ją potwierdzają. Jej siłę wyraża tzw. **współczynnik zgodności**. Obliczany on jest jako stosunek sumy współczynników ważności kryteriów należących do koalicji zgodności do sumy współczynników ważności wszystkich kryteriów.

$$C(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^n k_j \cdot c_j(a,b)}{\sum_{j=1}^n k_j}, \quad (1)$$

gdzie:  $n$  - liczba kryteriów;  $k_j$  – współczynnik określający względne znaczenie kryterium  $g_j$ ;  $c_j(a,b)$  - wskaźnik zgodności dla konkretnego kryterium  $g_j$ , przybierający wartość 1 jeśli dane kryterium potwierdza stawianą hipotezę lub zero jeśli jej zaprzecza.

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } g_j(a) \geq^* g_j(b) \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}. \quad (2)$$

\* ten zwrot nierówności mamy wówczas, gdy sens preferencji kryterium jest rosnący tzn. preferowana jest wyższa wartość tego kryterium lub zwrot przeciwny,  $\leq$ , jeśli sens preferencji kryterium jest malejący, tzn. preferowana jest niższa wartość kryterium.

Tak zdefiniowany współczynnik zgodności  $C(a,b)$  może przyjmować wartości z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ . Wartość jeden oznacza stu procentową zgodność; wszystkie kryteria świadczą na korzyść stawianej hipotezy. Oznaczać to może, że wariant  $b$  jest zdominowany przez wariant  $a$ . W praktyce bardzo rzadko spotyka się przypadki pełnej zgodności, dlatego decydent powinien określić zadawalający go poziom zgodności. Czyni to przez zadanie poziomu odcięcia  $u$ , czyli takiej wartości współczynnika zgodności, którą uzna za wystarczająco dużą aby potwierdzić relację przewyższania. Aby ocena była wiarygodna poziom odcięcia powinien przyjmować wartości z przedziału  $\langle 0,5;1 \rangle$ .

Współczynniki zgodności  $C(a,b)$  dla wszystkich uporządkowanych par wariantów  $(a,b)$  tworzą macierz zgodności.

Następnym krokiem jest zbadanie opozycji poszczególnych kryteriów w stosunku do postawionej hipotezy. Odbywa się to przez obliczenie **współczynnika niezgodności**. W tym celu wykorzystuje się tzw. próg weta  $v_j$ . Próg ten jest najmniejszą różnicą między wartościami tego samego kryterium dla dwóch badanych wariantów powodującą odrzucenie postawionej hipotezy bez względu na siłę koalicji zgodności. Jego wartość lub sposób obliczania ustalane są przez decydenta dla każdego kryterium osobno. (Propozycja wartości

progów weta powinna wyjść od ekspertów znających charakterystykę wartości poszczególnych kryteriów). Wartość progów weta  $v_j[g_j(\mathbf{a})]$  może być zadana w postaci stałej liczby,  $\alpha_j$ , lub procentowo, przez podanie ułamka wartości kryterium,  $\beta_j$ , który powoduje odrzucenie postawionej hipotezy:

$$v_j[g_j(\mathbf{a})] = \alpha_j + \beta_j \cdot g_j(\mathbf{a}) \quad (3)$$

Np.  $\beta_j = 0.4$  dla pewnego kryterium oznacza, że jeśli wariant  $\mathbf{b}$  otrzyma ocenę z punktu widzenia tego kryterium o co najmniej 40% lepszą niż wariant  $\mathbf{a}$ , to nie można się zgodzić, że  $\mathbf{a}$  przewyższa  $\mathbf{b}$  bez względu na to jaką siłę ma koalicja zgodności. Kryterium  $i$ -te stawia w tym przypadku weto relacji  $\mathbf{aSb}$ .

Liczbowo pojęcie niezgodności wyraża się poprzez współczynnik niezgodności. Podobnie jak przy obliczaniu współczynnika zgodności, najpierw wyznacza się wskaźniki niezgodności dla poszczególnych kryteriów poprzez sprawdzenie, czy różnice w wartościach kryterium nie są większe niż progi weta dla poszczególnych kryteriów. Jeśli próg ten został przekroczony wskaźnik niezgodności  $D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  dla tego kryterium przyjmuje wartość jeden, w przeciwnym wypadku zero:

$$D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } g_j(\mathbf{b}) - g_j(\mathbf{a}) \geq v_j[g_j(\mathbf{a})] \\ 0 & \text{w przeciwnym razie} \end{cases} \quad (4)$$

Następnie wszystkie wskaźniki niezgodności obliczone dla danej uporządkowanej pary wariantów agreguje się do pojedynczego globalnego współczynnika niezgodności,  $D(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ :

$$D(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } \exists j : D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 1 \\ 0 & \text{gdy } \forall j : D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Oznacza to, że jeśli istnieje choć jedno kryterium „wnoszące weto”, zagregowany współczynnik niezgodności  $D(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  otrzymuje wartość 1, w przeciwnym wypadku 0. Zagregowane współczynniki niezgodności tworzą macierz niezgodności.

Po ustaleniu relacji zgodności i niezgodności dla wszystkich uporządkowanych par wariantów przeprowadza się **testy zgodności i nie niezgodności**. Testy te służą do określenia relacji przewyższania:

„ $\mathbf{a}$  przewyższa  $\mathbf{b}$ ”,  $\mathbf{aSb} \Leftrightarrow$  gdy jest dostatecznie duża zgodność i nie ma weta

gdzie:

- „dostatecznie duża zgodność” zachodzi, gdy współczynnik zgodności ma większą wartość niż ustalony poziom odcięcia  $C(\mathbf{a}, \mathbf{b}) > u$ ,
- „nie ma weta” oznacza, że żadne z kryteriów nie stanowi opozycji w stosunku do przyjętej hipotezy o przewyższaniu  $\mathbf{a}$  nad  $\mathbf{b}$ , czyli  $D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0$ , dla  $j=1, \dots, n$ .

Otrzymywane wyniki są zapisywane w postaci macierzy **przewyższania**  $S(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ . Jeśli stwierdzona została relacja przewyższania  $\mathbf{aSb}$  to  $S(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  przyjmuje wartość 1, w przeciwnym wypadku 0. W ten sposób buduje się relacje przewyższania, stanowiąca model preferencji decydenta.

Wygodnym sposobem prezentowania relacji zachodzących w skończonych zbiorach są grafy. Na podstawie macierzy przewyższania można wykreślić graf skierowany, którego wierzchołkami będą warianty decyzyjne natomiast łuki będą obrazowały relacje między nimi.

Na przykład jeśli wariant **a** przewyższa wariant **b** to wierzchołki **a** i **b** łączy łuk skierowany od **a** do **b**.

Tego rodzaju prezentacja graficzna ułatwia szybką identyfikację wariantów, których charakterystyka jest zgodna z preferencjami decydenta. Tworzą one tak zwane jądro grafu. Należące do niego warianty nie przewyższają się nawzajem, a każdy wariant z poza jądra jest przewyższany przez co najmniej jeden wariant należący do jądra. Wynikiem działania metody ELECTRE I jest jądro grafu zbudowanej relacji przewyższania.

Istotną informacją przy interpretacji grafu są charakterystyki wierzchołków należących do grafu. Wierzchołek w grafie może być:

- początkowy (nie ma poprzedników) - stanowi go więc wariant przewyższający co najmniej jeden z pozostałych wariantów, sam pozostając nie przewyższany,
- pośredni (są wierzchołki, które go przewyższają; sam także przewyższa inne wierzchołki) - w zależności od stosunku liczby wariantów przez niego przewyższanych i przewyższających można go ustawić w odpowiedniej hierarchii,
- końcowy (nie ma żadnego następnika) - wariant reprezentowany przez ten wierzchołek jest przewyższany przez co najmniej jeden z pozostałych wariantów, sam nie przewyższając żadnego; najprawdopodobniej nie jest to alternatywa godna zainteresowania,
- odizolowany (nie ma następników ani poprzedników) - wariant taki jest trudny do porównania, najczęściej jest preferowany z punktu widzenia większości kryteriów, natomiast dla co najmniej jednego kryterium wykazuje bardzo słabą wartość lub odwrotnie.

Zaletą metody ELECTRE I jest możliwość zidentyfikowania wariantów. Ich odrzucenie pozwala na wnikliwszą analizę pozostałych wariantów oraz odnalezienie głównych różnic między nimi. Zidentyfikowanie punktów spornych otwiera drogę do negocjacji, pozwala ograniczyć dyskusję jedynie do kwestii istotnych, co daje szansę uzyskania kompromisu.

### **Przykład**

Aby rozpocząć analizę należy zebrać informacje o preferencjach decydenta. W metodzie tej wyrażane są one poprzez wielkości wag przypisywanych kryteriom, proggi weta oraz współczynnik odcięcia. Aby analiza była pełna i obiektywna rozpoczęto od ustalenia progów weta, które są wartościami najmniej kontrowersyjnymi (tabela 3). W pierwszym scenariuszu założono iż wszystkie wagi równe są 1, a współczynnik odcięcia 0,8. Dla tak ustalonych parametrów przeprowadzono proces obliczeniowy. W jego wyniku, wszystkie wierzchołki w grafie relacji przewyższania okazały się izolowane. Fakt ten świadczy o tym, że żadna z hipotez o wzajemnym przewyższaniu się wariantów nie została poparta przez co najmniej osiemdziesiąt procent kryteriów przy braku weta. W związku z tym przeprowadzono kolejne obliczenia dla wartości współczynnika odcięcia, **u**, równego: 0,75; 0,70; 0,65; 0,60. Wyniki prezentuje tabela 4.

Na podstawie tych wyników wysnuto następujące wnioski dotyczące współczynnika odcięcia:

- ⇒ Im wyższy współczynnik odcięcia tym mniej otrzymuje się relacji i więcej wariantów izolowanych, (brak relacji pociąga za sobą brak możliwości porównania).
- ⇒ Wzrost wartości współczynnika **u** powoduje zmiany w jądrze grafu: relacje oparte na niższych współczynnikach zgodności powodują, że w jądrze znajduje się wariant **A<sub>8</sub>** natomiast nie kwalifikują do jądra wariantu **A<sub>6</sub>**. Ten ostatni należy natomiast do jądra, gdy relacje oparte są na wyższych współczynnikach zgodności.

Na podstawie otrzymanych wyników można również dokonać wstępnej oceny wariantów:

- ⇒ W badanym zbiorze rozwiązań brak wariantów zdecydowanie preferowanych nad innymi. Świadczy o tym brak relacji przewyższania przy progu odcięcia  $u=0,8$ .

- ⇒ Przy wszystkich badanych wartościach współczynnika odcięcia warianty **A<sub>1</sub>**, **A<sub>3</sub>** i **A<sub>7</sub>** znalazły się w jądrze grafu. Oznacza to, że brak w zbiorze rozwiązań wariantu, którego 60% kryteriów miałyby wartości lepsze niż wyżej wymienione warianty. To natomiast świadczy, iż w rozważanym scenariuszu, czyli przy wszystkich współczynnikach wagowych równych 1, są one najlepsze z badanego zbioru rozwiązań.
- ⇒ Warianty **A<sub>2</sub>** i **A<sub>5</sub>** we wszystkich przypadkach były przewyższane same nie przewyższając innych wariantów, co pozwala wnioskować, że są to rozwiązania najgorsze.
- ⇒ Wierzchołki **A<sub>4</sub>** i **A<sub>0</sub>** były, w całym badanym zakresie współczynnika odcięcia, izolowane. Stanowi to podstawę do wniosku, że warianty te są słabo porównywalne.

Przy tworzeniu oceny oddziaływania na środowisko powyższe wyniki powinny zostać przedstawione decydentowi oraz ewentualnie stronom zainteresowanym. Do nich również należy decyzja jaki poziom współczynnika odcięcia będzie brany pod uwagę w dalszej części analizy. W prezentowanym przykładzie przyjęty został współczynnik  $u=0,65$ .

Następnie analizie poddano współczynniki ważności. Ze względu na częste spory, wokół wartości współczynników ważności warto przeprowadzić analizę dla kilku różnych scenariuszy decyzyjnych. W rzeczywistości ich autorami powinny być strony zainteresowane. W celu zilustrowania zasad działania metody przeanalizowano trzy scenariusze wag, przedstawiające różne punkty widzenia:

- ⇒ punkt widzenia inwestora, w którym najwyższe wagi otrzymały kryteria ekonomiczne oraz kryteria dotyczące usprawnienia ruchu kołowego,
- ⇒ punkt widzenia ekologa, w którym największe wagi mają kryteria związane ze środowiskiem,
- ⇒ punkt widzenia opinii publicznej gdzie największy nacisk położono na kryteria społeczne.

Wektory wag dla poszczególnych scenariuszy zostały zestawione w tabeli 3. Następnie przeprowadzono obliczenia z uwzględnieniem poszczególnych wektorów wag, a otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 5 oraz na rysunku 1. Obliczenia wykonane z wektorami wag „ekologa” i „opinii publicznej” dały prawie takie same rezultaty. Pokrywają się one z wynikami otrzymanymi przy założeniu równości wszystkich współczynników wagowych. Większe różnice pojawiły się pomiędzy wynikami obliczeń otrzymanymi przy założeniu scenariusza wag inwestora, a pozostałymi rozwiązaniami. Część wspólną wszystkich rozwiązań stanowią warianty **A<sub>1</sub>**, **A<sub>7</sub>** i **A<sub>8</sub>** we wszystkich przypadkach należące do jądra, warianty **A<sub>5</sub>** i **A<sub>11</sub>** we wszystkich scenariuszach uznane za najgorsze oraz warianty **A<sub>4</sub>** i **A<sub>0</sub>**, które bez względu na wartości współczynników wagowych pozostają nieporównywalne.

Jako wynik prezentowanej metody można przyjąć następujące wnioski:

- ⇒ warianty **A<sub>2</sub>** i **A<sub>5</sub>** we wszystkich rozwiązaniach zostały uznane za najgorsze;
- ⇒ warianty **A<sub>1</sub>**, **A<sub>7</sub>** i **A<sub>8</sub>** są preferowane niezależnie od wag przypisanych kryteriom;
- ⇒ nie ma wariantu, który byłby preferowany według scenariusza wag jednego decydenta, a uznany za bardzo słaby według innego.

Otrzymane wyniki skłaniają do ograniczenia zbioru rozwiązań do wariantów **A<sub>1</sub>**, **A<sub>7</sub>** i **A<sub>8</sub>** oraz wyboru jednego z nich do realizacji.

## Metoda ELECTRE IS

Założenia tej metody są bardzo zbliżone do metody ELECTRE I. Opiera się ona również na skończonym zbiorze wariantów oraz spójnej rodzinie kryteriów, wykorzystuje współczynniki względnej ważności kryteriów [10]. Wynik otrzymywany jest w postaci grafu konstruowanego na podstawie obliczonych współczynników zgodności i niezgodności. Zasadniczą różnicą między tymi metodami jest istnienie w ELECTRE IS progów równoważności i progów preferencji. Progi te umożliwiają wprowadzenie relacji słabej

preferencji oznaczanej przez  $Q$ . Relacja ta jest odwzorowaniem sytuacji, gdy decydent waha się pomiędzy uznaniem dwóch wariantów za równoważne, a uznaniem jednego z nich za preferowany nad drugim.

**Próg równoważności,  $q_j$** , definiowany jest jako maksymalna różnica między wartościami kryterium  $g_j$ ,  $g_j(a)-g_j(b)$ , przy której decydent jeszcze nie potrafi, nie chce lub nie może stwierdzić, że jeden z wariantów jest lepszy (pod względem danego kryterium). Wszystkie rozpatrywane warianty których wartość kryterium znajduje się w przedziale  $(g_j(b)-q_j, g_j(b)+q_j)$  są traktowane jako równoważne z wariantem  $b$  (z punktu widzenia danego kryterium).

**Próg preferencji,  $p_j$** , wyznaczony jest przez najmniejszą różnicę między wartościami konkretnego kryterium  $g_j$ ,  $g_j(a)-g_j(b)$ , przy której decydent nie ma żadnych wątpliwości, który z wariantów jest lepszy (pod względem danego kryterium). Wszystkie warianty posiadające wartość danego kryterium większą od  $g_j(b)+p_j$ , (przy preferencjach rosnących), są uznane za lepsze od  $b$  (z punktu widzenia danego kryterium).

Oba progi mogą być podane zarówno w postaci wartości stałej, bądź też mogą zależeć liniowo od wartości kryterium. Wprowadzenie progów powoduje zmianę dotychczasowych prawdziwych kryteriów w pseudokryteria oraz dzieli przestrzeń wnioskowania na pięć stref:

- strefę równoważności, której wielkość zależy od wartości progu równoważności  $q_j$ ,
- dwie strefy silnej preferencji, odpowiadające różnicy w wartościach kryterium, której wielkość bezwzględna jest większa od progu preferencji  $p_j$ ,
- dwie strefy pośrednie, reprezentujące pewne niezdecydowanie pomiędzy równoważnością i silną preferencją, odpowiednio do swojego położenia zwane słabą preferencją.

Wprowadzenie progów równoważności i preferencji powoduje, że algorytm metody ELECTRE IS różni się w pewnych szczegółach od metody ELECTRE I, choć ogólny przebieg pozostaje bardzo zbliżony. Obliczenia współczynnika zgodności  $C(a,b)$  przeprowadzane są według wzoru (1). Natomiast wskaźniki zgodności  $c_j(a,b)$  uwzględniają próg równoważności. Gdy różnica między  $g_j(a)$  i  $g_j(b)$  nie przekracza  $\pm q_j$ , (oznacza to, że oba warianty są sobie równoważne)  $c_j(a,b)=c_j(b,a)=1$ .

Wskaźniki niezgodności wyznaczane są podobnie jak w metodzie ELECTRE I (wzór (3)), wprowadza się jednak dodatkowo współczynnik korygujący:

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } g_j(b) - g_j(a) \geq v_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a)) \cdot \frac{1 - C(a,b)}{1 - s} \\ 0 & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}, \quad (6)$$

Wskaźnik  $D_j$  może przyjąć wartości: 0 lub 1. Jednak poprzez wprowadzenie współczynnika korygującego zależnego od współczynnika zgodności uwzględniony tu został próg równoważności. Działa on następująco: jeśli współczynnik zgodności jest mały, wartość progu weta  $v_j[g_j(a)]$  jest obniżana, powodując tym samym jego zadziałanie już przy niewielkiej różnicy wartości kryterium. Natomiast przy „dużej zgodności”, różnica  $g_j(b)-g_j(a)$  musi być bardziej znacząca i bliższa progowi weta, aby kryterium to zostało uznane za stwarzające opozycję, czyli niezgodne. Oczywiście wskaźnik ten obliczany jest jedynie dla tych par wariantów  $(a,b)$ , dla których współczynnik zgodności jest większy od progu odcięcia, czyli  $C(a,b) > u$ . Wtedy możliwe jest przewyższanie wariantu  $b$  poprzez wariant  $a$ .

Następnie, podobnie jak w ELECTRE I, wskaźniki niezgodności poszczególnych kryteriów agregowane są zgodnie ze wzorem (5) do współczynnika niezgodności dla badanej pary wariantów. Na podstawie wyznaczonych relacji zgodności i niezgodności budowana jest relacja przewyższania. Podobnie jak w ELECTRE I, wnioskuje się, że  $a$  przewyższa  $b$ ,  $aSb$ ,



gdy występuje „wystarczająco duża zgodność” i „nie ma weta”. Dalsza analiza, tzn. wyznaczenie grafu, jego jądra oraz eksploatacja, jest identyczna jak w metodzie ELECTRE I.

### **Przykład**

Na podstawie rozpiętości ocen poszczególnych kryteriów określono progi równoważności i preferencji. W rzeczywistości wartości progów, które są elementem modelu preferencji decydenta, powinien wyznaczyć on sam. Pomocne mu mogą być przy tym sugestie ekspertów poszczególnych dziedzin, którzy znają charakterystykę oraz błąd ocen cząstkowych. Ustalone wartości progów zaprezentowano w tabeli 3.

Analogicznie jak w przy metodzie ELECTRE I przeprowadzono obliczenia dla trzech wcześniej już prezentowanych scenariuszy wag (tabela 3) oraz dla przypadku wszystkich wag równych 1, przy założonym współczynniku odcięcia 0,65. Otrzymane wyniki prezentuje tabela 6.

Otrzymane wyniki są bardziej zróżnicowane niż w przypadku wyników uzyskanych przy zastosowaniu metody ELECTRE I. Spowodowane jest to zastosowaniem progów równoważności i preferencji. Przykładowo, w rozwiązaniu metodą ELECTRE I wariant **A<sub>8</sub>** należał do jądra bez względu na zastosowany scenariusz wag. Jednakże po wprowadzeniu progów okazało się, że przy scenariuszu inwestora warianty **A<sub>7</sub>** i **A<sub>9</sub>** posiadają wartości części kryteriów akceptowalnie gorsze od niego, natomiast wartości pozostałych kryteriów znacznie lepsze, co wyeliminowało go z jądra. Kolejnym przykładem może być wariant **A<sub>2</sub>**. Pomimo, iż został on zupełnie odrzucony w poprzedniej metodzie, a analiza współczynnika odcięcia uwidoczniała jego „słabość”, nie został on uznany za skrajnie słaby przez rozwiązanie otrzymane przy realizacji scenariusza wag inwestora (wariant **A<sub>2</sub>** został zgłoszony przez Agencję Budowy i Eksploatacji Autostrad) okazało się bowiem, iż pod względem niektórych kryteriów nie jest dużo słabszy niż wariant **A<sub>3</sub>** natomiast pod wieloma względami go przewyższa.

W oparciu o otrzymane wyniki można stwierdzić, że:

- ⇒ Warianty **A<sub>1</sub>** i **A<sub>7</sub>** są rozwiązaniami, najlepiej z prezentowanych, realizującymi cele wszystkich decydentów.
- ⇒ Wariant **A<sub>5</sub>** nie zadowala żadnego z decydentów.
- ⇒ Wariant **A<sub>0</sub>** jest nieporównywalny (patrząc na wartości poszczególnych kryteriów nie jest to wynik zaskakujący); również o wariacie **A<sub>4</sub>** niewiele można powiedzieć na podstawie uzyskanych wyników.

Analizując wyniki uzyskane przy zastosowaniu obu przedstawionych metod należy pamiętać o nie przechodności relacji przewyższania tzn. jeśli wariant **A<sub>7</sub>** przewyższa w grafie wariant **A<sub>8</sub>**, a wariant **A<sub>8</sub>** przewyższa wariant **A<sub>12</sub>** to wcale nie oznacza to, że wariant **A<sub>7</sub>** jest lepszy niż wariant **A<sub>12</sub>**. Warianty te są względem siebie nieporównywalne. Zwrócić też należy uwagę na stopień zgodności, na jakim opierają się analizowane relacje, reprezentowany przez współczynnik odcięcia. Jeśli wariant **A<sub>6</sub>** przewyższa wariant **A<sub>10</sub>** przy współczynniku odcięcia równym **0.65** oznacza to dokładnie tyle, że sześćdziesiąt pięć procent kryteriów ma w przypadku wariantu **A<sub>6</sub>** wartości lepsze niż w przypadku wariantu **A<sub>10</sub>**, natomiast różnice między wartościami pozostałych kryteriów świadczące na niekorzyść tej relacji nie przekraczają progu weta.

### **Metoda ELECTRE III**

Metoda ELECTRE III [13,15] pozwala uszeregować warianty „od najlepszego do najslabszego” zgodnie z preferencjami decydenta. Zestaw danych, potrzebnych do jej zastosowania, jest identyczny jak w ELECTRE IS.

Początkowa faza postępowania jest podobna jak w opisanych już wyżej metodach. Buduje się relację przewyższania opierając ją na pojęciach zgodności i niezgodności. Współczynnik zgodności obliczany jest tak samo jak w ELECTRE I (wzór (1)). Nieco inaczej konstruowane są wskaźniki zgodności, które w tej metodzie mogą przybierać wartości dowolne z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ . Jeśli różnica pomiędzy wartościami tego samego kryterium dla dwóch wariantów jest mniejsza od progu równowartości, wskaźnik przyjmuje wartość 1. Jeśli wyżej opisana różnica jest większa od progu preferencji, wskaźnik przyjmuje wartość 0. Jeśli jej wartość należy do przedziału pomiędzy progami, wartość wskaźnika liniowo maleje.

W kolejnym kroku obliczane są wskaźniki niezgodności. Odbyna się to w nieco odmienny sposób niż w poprzednich metodach. W tej metodzie wskaźnik  $d_j(a,b)$  podobnie jak wskaźnik  $c_j$  może przyjmować wartości z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ . Jeśli różnica pomiędzy wartościami tego samego kryterium dla dwóch wariantów jest mniejsza od progu preferencji, wskaźnik przyjmuje wartość 0. Jeśli wyżej opisana różnica jest większa od progu weta, wskaźnik przyjmuje wartość 1. Jeśli jej wartość należy do przedziału pomiędzy wymienionymi progami, wartość wskaźnika rośnie liniowo. Stąd też, im wartość współczynnika bliższa jest 1, tym istnieje większa niezgodność co do przyjmowanej hipotezy, z punktu widzenia tego kryterium.

Na podstawie współczynników zgodności i niezgodności budowana jest tzw. **rozmyta relacja przewyższania**. Dla każdej uporządkowanej pary  $a, b \in A$  oblicza się stopień wiarygodności  $w(a,b)$  hipotezy, że „ $a$  przewyższa  $b$ ”. Jak wynika z poniższego wzoru jeśli wartość współczynnika zgodności jest większa od poszczególnych współczynników niezgodności, to jako stopień wiarygodności przyjmuje się wartość współczynnika zgodności, w przeciwnym przypadku, gdy choć jeden współczynnik niezgodności ma wartość większą od współczynnika zgodności wartość współczynnika wiarygodności otrzymuje się przez modyfikację (osłabienie) współczynnika zgodności:

$$w(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{gdy } J = \{j \mid d_j(a,b) > C(a,b)\} = \emptyset \\ C(a,b) \prod_{j \in J} \frac{1-d_j(a,b)}{1-C(a,b)} & \text{gdy } J \neq \emptyset \end{cases}, \quad (7)$$

Jak widać z tego wzoru, stopień wiarygodności hipotezy, że „ $a$  przewyższa  $b$ ” jest co najwyżej równy wartości współczynnika zgodności, gdy nie ma opozycji, lub jest tym mniejszy im silniejsza jest opozycja. W szczególności, gdy istnieje kryterium, które stawia weto, tzn.  $d_j(a,b)=1$ , to wtedy stopień wiarygodności równa się 0, co oznacza brak zgody na przyjęcie hipotezy, że  $a$  przewyższa  $b$ .

Rozmytą relację przewyższania można przedstawić w postaci grafu skierowanego, w którym warianty stanowią wierzchołki, a wartości  $w(a,b)$  przypisane są do poszczególnych łuków. Graf ten stanowi punkt wyjścia do skonstruowania częściowego preporządku w zbiorze  $A$ , czyli uszeregowania wariantów. Wynik ostateczny otrzymywany jest przez zastosowanie algorytmu destylacji zstępującej i wstępującej oraz znalezienia teoriomnogościowego przecięcia powstałych preporządków zupełnych. Idea procedur destylacji zstępującej i wstępującej polega na tym, że w pierwszym przypadku uporządkowanie wariantów konstruowane jest poczynając od wariantów najlepszych i przechodząc stopniowo do wariantów gorszych; natomiast w drugim przypadku postępowanie jest odwrotne [13, 15].

Efektom zastosowania tych algorytmów są dwa, zazwyczaj różne, preporządki zupełne w zbiorze wariantów. Na podstawie tych uporządkowań tworzy się macierz porównania wariantów składającą się z elementów:

$$T(a,b) = \begin{cases} + & \text{gdy } a \text{ poprzedza } b \text{ w obydwu preporządkach} \\ 0 & \text{gdy w obydwu preporządkach } a \text{ i } b \text{ są równowazne} \\ * & \text{gdy } a \text{ poprzedza } b \text{ w jednym preporządku a w drugim jest odwrotnie} \\ - & \text{gdy } b \text{ poprzedza } a \text{ w obydwu preporządkach} \end{cases} \quad 10$$

Macierz porównania wariantów jest pomocna przy określaniu końcowego porządku częściowego w zbiorze wariantów. Każdemu wariantowi przypisuje się odpowiadającą mu rangę, przy czym rangę równą 1 otrzymują warianty, które nie są przewyższane przez żadne inne warianty, rangę równą 2 otrzymują warianty, które są przewyższane jedynie przez warianty o randze 1, rangę  $k$  otrzymują warianty, które są przewyższane przez warianty o wyższych rangach.

Otrzymane uporządkowanie wariantów jest zgodne z wcześniej wyrażonymi preferencjami decydenta. Jednakże otrzymany wynik nie stanowi podstawy do wydania decyzji o realizacji konkretnego wariantu. Jest punktem wyjścia do dalszej analizy. Poprzez wprowadzanie niewielkich zmian w modelu preferencji lub przyjętym wektorze wag można ustalić, które kryteria lub parametry modelu preferencji mają duży wpływ na zmiany porządku wariantów, łatwo na tej podstawie określić słabe punkty konkurujących rozwiązań. Proces taki powinien mieć przebieg interaktywny. Niezbędne jest uczestnictwo w nim decydenta.

### **Przykład**

Metodą ELECTRE III przeprowadzono obliczenia dla przypadku wszystkich wag równych 1 oraz dla wcześniej przyjętych scenariuszy wag (patrz tabela 3). Z uwagi na specyficzność wariantu  $A_0$  sprawdzono jaki wpływ na otrzymywane rozwiązanie ma usunięcie tego wariantu ze zbioru alternatyw. Wyniki przeprowadzonych obliczeń prezentuje tabela 7 oraz rysunek 2.

Otrzymane wyniki potwierdzają zgodność metod z grupy ELECTRE. Wariantom uprzednio tworzącym jądro grafu nadane zostały rangi 1 lub 2, czyli najwyższe. Warianty wcześniej uznane za najslabsze teraz także mają najniższe rangi. Istotną zaletą metody ELECTRE III jest klasyfikacja wszystkich wariantów także tych, które w metodach ELECTRE I i IS uznane zostały za nieporównywalne. Przy ocenie takich wariantów należy jednak brać pod uwagę nie tylko przyporządkowaną im rangę lecz także wartości z macierzy zgodności i macierzy wiarygodności. Istotnych informacji o wszystkich wariantach może dostarczyć analiza wyników destylacji wstępującej i zstępującej. Pomimo, iż są to tylko porządki pomocnicze służące do konstrukcji porządku ostatecznego mogą nieść wiele informacji o wariantach najlepszych i najgorszych.

Uzyskane wyniki skłaniają do następującej oceny wariantów:

- ⇒ Wariant  $A_1$  bez względu na wzięty pod uwagę scenariusz wag klasyfikowany był najwyżej.
- ⇒ Wariant  $A_7$ , który w zależności od scenariusza wag otrzymywał rangę 1 lub 2 wydaje się być niewiele gorszy od wariantu  $A_1$ .
- ⇒ Warianty  $A_3$ ,  $A_8$  i  $A_{10}$ , które najmniej ingerują w środowisko, z punktu widzenia inwestora i opinii publicznej również nie są najgorsze.
- ⇒ Warianty  $A_2$  i  $A_5$  nie zadawalają żadnego z decydentów i powinny zostać wyłączone z dalszej analizy.
- ⇒ Pozostałe warianty ( $A_4$ ,  $A_6$ ,  $A_9$ ,  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ) we wszystkich otrzymanych wynikach są średnie; być może modyfikacja wartości niektórych kryteriów (np. wynikająca z zastosowania urządzeń minimalizujących wpływ na środowisko lub zmiany w wytyczeniu trasy) sprawiłaby podniesienie ich wartości. Można wykluczyć je z dalszej analizy, jeśli decydent nie będzie optował za realizacją któregoś z nich.
- ⇒ Obecność wariantu  $A_0$  nie wpłynęła na wyniki, aczkolwiek jego stosunkowo wysoka klasyfikacja wydaje się być nieuzasadniona. Najprawdopodobniej wiąże się to z dużymi różnicami w ocenach częściowych pomiędzy tym wariantem, a pozostałymi. W prezentowanym przykładzie ocena wariantu zerowego jest bardzo trudna. Brak budowy autostrady musi za sobą pociągnąć działania osób trzecich prowadzące do usprawnienia ruchu kołowego w Polsce na kierunku wschód-zachód oraz rozwiązania problemów komunikacyjnych w Warszawie i jej okolicach. Przewidzenie rodzaju tych działań oraz skutków jakie mogą za sobą pociągnąć jest w zasadzie niemożliwe, a cóż dopiero ich ocena.

Kolejnym krokiem w poszukiwaniach rozwiązania kompromisowego powinna być analiza wrażliwości, która pozwoli odpowiedzieć na pytanie: o ile można zmienić wagę danego kryterium, aby nie zmienić rozwiązania końcowego lub o ile trzeba zmienić wagi, aby w rozwiązaniu otrzymać konkretny wariant. Jej wyniki mogą zaoszczędzić zbędnych dyskusji nad zmianami wag, które nie pociągają za sobą zmiany rozwiązania. Niestety metoda ELECTRE III oraz program ElecWin realizujący właśnie tę metodę nie pozwala na bezpośrednie otrzymanie raportu wrażliwości, dlatego trzeba przeprowadzać taką analizę przez kolejne zmiany wag poszczególnych kryteriów. W prezentowanym przykładzie przeprowadzono taką analizę na dla modelu ze scenariuszem wag ekologa. Otrzymane wyniki prezentuje tabela 8.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że o otrzymanym, przy tym scenariuszu, porządku wariantów zdecydowały przede wszystkim wagi kryteriów fauna i flora. Duży wpływ mają również wagi kryteriów gleby, dobra kultury, sieć drogowa oraz koszt użytkownika. Nawet niewielkie ich zwiększenie powoduje zmiany w ustalonym porządku. Przeprowadzenie tego typu analizy dla wszystkich scenariuszy pozwala na zidentyfikowanie kryteriów mających zasadniczy wpływ na uszeregowania wariantów. Jej wynik daje możliwość wyróżnienia punktów spornych pomiędzy kilkoma, promowanymi przez strony zainteresowane, wariantami. Na ich podstawie może dojść do kompromisu poprzez wprowadzenie do jednego z projektów zmian lokalnych (ekrany akustyczne, dodatkowe przepusty dla zwierząt, nieznaczne zmiany przebiegu trasy istotne dla społeczności lokalnej, itp.), które spowodują poprawę dotychczas przewidywanych konsekwencji do poziomu akceptowalnego przez oponentów. Dokonując zmian w wielkości wag pamiętać jednak trzeba, że podczas analizy dokonano kolejno zmiany poszczególnych wag przy jednoczesnym zachowaniu pozostałych wag takich jak w scenariuszu. Zmiana dwóch wag naraz (w zakresie z tabeli 8) może spowodować zmianę uprzedniego porządku wariantów.

## Podsumowanie i wnioski

W artykule na prezentowanym przykładzie wyboru trasy przebiegu autostrady A-2 w rejonie Warszawy, przeprowadzono analizę rozwiązania za pomocą systemów wspomaganie decyzji z grupy ELECTRE.

Z prezentowanych wariantów warianty **A<sub>1</sub>** i **A<sub>7</sub>** są oceniane najlepiej, przy czym pierwszy z nich jest wysoko oceniany z uwagi na kryteria ekonomiczne, drugi zaś ze względu na kryteria środowiskowe (z wyjątkiem flory) i społeczne. Warianty **A<sub>3</sub>**, **A<sub>8</sub>** i **A<sub>10</sub>** są również dobre, a ich niższa klasyfikacja spowodowana jest słabymi ocenami cząstkowymi pojedynczych kryteriów. Wszystkie z wyżej wymienionych wariantów warte są wnikliwego rozpatrzenia oraz podjęcia prób zmian lokalnych w ich projektach, które mogą doprowadzić do wyłonienia wariantu najlepszego kompromisu. Warianty **A<sub>2</sub>** i **A<sub>5</sub>** mają na tyle słabe oceny większości kryteriów, że plasowały się w wynikach wszystkich metod na samym końcu. Nic nie może usprawiedliwiać rozpatrywania ich w dalszej analizie. Bardzo trudny do oceny jest wariant **A<sub>0</sub>** ze względu na odbiegające od pozostałych wariantów wartości kryteriów. Sposób cząstkowej oceny tego wariantu skłania do stwierdzenia, iż ze względu na polityczno-gospodarczą wagę budowy autostrady wariant ten nie został wnikliwie przeanalizowany. Należy również zwrócić uwagę na trudność jaką przedstawia w tym wypadku ocena wariantu zerowego biorąc pod uwagę konieczność uwzględnienia działań ze strony osób trzecich, jakie pociągnie za sobą brak budowy autostrady.

Przeprowadzona analiza skłania do następujących wniosków:

⇒ Opiswane metody mogą być wykorzystywane w ocenach oddziaływania na środowisko do wyboru wariantu kompromisowego. Pojęcia zgodności i niezgodności, na których się opiera ich działanie, są bliskie myśleniu decydenta, często podświadomie przez niego używane, przez co łatwo zrozumiałe.

- ⇒ Wynikiem ich działania jest wybór wariantów najlepiej spełniających oczekiwania decydenta, bądź wprowadzenie pewnego porządku do zbioru wariantów, który umożliwia identyfikację wariantów najlepszych, najgorszych, równoważnych i nieporównywalnych. Mogą być to cenne informacje pozwalające na zawężenie wyboru i ograniczenie analizy z kilkunastu do kilku wariantów.
- ⇒ Uzyskane wyniki stanowią pewien obraz zależności pomiędzy wariantami, który pozwala wyłonić rozwiązania najbliższe preferencjom decydenta i zidentyfikować rozwiązania najslabsze.
- ⇒ Ważne jest uczestnictwo decydenta w całym procesie analitycznym. Może on na bieżąco wprowadzać modyfikacje w modelu swoich preferencji.
- ⇒ Metoda jest „odporna” na wprowadzanie nowych wariantów. Operacja ta powoduje zmiany wynikające jedynie z pojawienia się nowych relacji, nie zmieniając całkowicie wcześniej wyznaczonego porządku.
- ⇒ Obecność w zbiorze rozwiązań wariantów, o ocenach cząstkowych znacznie odbiegających od pozostałych, nie powoduje zaburzenia wyników. Wariant taki może być jednak uznany za nieporównywalny, czyli nie możliwy do sklasyfikowania.
- ⇒ Metody te nie dają możliwości wyznaczenia relacji między wszystkimi wariantami. Niedostatek informacji jest szczególnie uciążliwy przy analizowaniu grafów. Często wnioskowanie oparte jest jedynie na kilku relacjach, przy ocenie kilkunastu wariantów. Sytuacja taka nie jest nieoczekiwana, niektóre warianty na rozpatrywanym poziomie rozpoznania, są rzeczywiście nieporównywalne i błędem byłaby jakakolwiek klasyfikacja ich względem siebie.

Metody są proste w zastosowaniu i można je wykorzystywać bez użycia jakichkolwiek narzędzi. Jednakże wygodną formą korzystania z nich jest zastosowanie istniejącego oprogramowania komputerowego, użytego w prezentowanej analizie. Pomimo iż grupa prezentowanych metod pochodzi z Francji i pierwotne wersje mają mało przyjazny charakter z uwagi na to, że pracują w środowisku DOS, nowe wersje oprogramowania dla środowiska Windows powstały ostatnio w Politechnice Poznańskiej. Dotyczy to w szczególności systemu ElecWin, który pozwala na analizę zadanego problemu m.in. metodą ELECTRE III.

Na koniec należy zastrzec, że przeprowadzone analizy i otrzymane wyniki są jedynie laboratoryjną próbą zastosowania omawianych metod w problemach sporządzania ocen oddziaływania na środowisko. Dalsze szczegóły tej analizy znaleźć można w [7]. Ze względu na brak uczestnictwa realnych decydentów w budowie i eksploatacji modelu preferencji uzyskane wyniki nie mogą być jednak podstawą do jakichkolwiek decyzji.

**Mgr inż. Aleksandra Niepokólczycka,**  
**Dr inż. Wiktor Treichel,**  
 Instytut Systemów Inżynierii Środowiska,  
 Politechnika Warszawska

## **Bibliografia**

- [1] **Bogardi J.J., Nachtnebel H.P. (ed.), 1994,** „*Multicriteria Decision Analysis in Water Resources*”, UNESCO, Paris.
- [2] **Jaworski P., Pajewski P., 1998,** „*Ocena oddziaływania na środowisko wariantów przebiegu autostrady A2 w rejonie aglomeracji warszawskiej*”, Praca Magisterska, Instytut Systemów Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska.
- [3] **Marchet J.C., Siskos J., 1979,** „*Aide à la décision en matière d’environnement: Application au choix de tracé autoroutier*”, Cahier du Lamsade Nr 23, Université Paris-Dauphine, Paris.

- [4] **Maystre L.Y., Pictet J., Simos J., 1994**, „*Méthodes multicritères ELECTRE. Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale.*”, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne.
- [5] **Mladineo N., Lozić I., Stošić S., 1992**, „An evaluation of multicriteria analysis for DSS in public policy decision”, *European Journal of Operational Research*, 61, 219-229.
- [6] **Nachtnebel H.P., 1994**, „Comparison of hydropower utilization and environmental impacts along the Danube downstream of Vienna” in J.J. Bogardi, H.P. Nachtnebel (ed.) „*Multicriteria Decision Analysis in Water Resources*”, UNESCO, Paris.
- [7] **Niepokólczycka A., 1999**, „*Stosowalność metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko na przykładzie obwodnicy miejskiej*”, Praca Magisterska, Instytut Systemów Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska.
- [8] **Płoszajski G., 1985**, „Metody wyboru spośród wariantów” w Findeisen W. (ed.) „*Analiza systemowa – podstawy i metodologia*”, PWN, Warszawa.
- [9] **Roy B., 1990**, „*Wielokryterialne wspomaganie decyzji*”, WNT, Warszawa.
- [10] **Roy B., Skalka J. M., 1985**, „ELECTRE IS. Aspects méthodologiques et Guide d'utilisation”, Document du Lamsade Nr 30, Université Paris-Dauphine, Paris.
- [11] **Sas-Bojarska A., 1999**, „Metody stosowane w ocenach oddziaływania na środowisko”, *Problemy Ocen Środowiskowych*, Nr 2, 56-64
- [12] **Siskos J., Assimakopoulos N., 1989**, „Multicriteria highway planning: a case study”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol 12, No 10/11, 1401-1410.
- [13] **Skalka J.M., Bouyssou D., Vallee D., 1992**, „ELECTRE III. Aspects Methodologiques et Guide d'utilisation”, Document du Lamsade Nr 25, Université Paris-Dauphine, Paris.
- [14] **Synowiec A., Rzeszot U., 1995**, „*Oceny oddziaływania na środowisko. Poradnik*”, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- [15] **Vallee D., Zieleniewicz P., 1994**, „ELECTRE III - IV, version 3.x – Aspects méthodologiques”, Document du Lamsade Nr 85, Université Paris-Dauphine, Paris.