

**KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PODEJMOWANIA
DECYZJI: UJĘCIE WIELOKRYTERIALNE,
NA PRZYKŁADZIE WYBORU PRZEBIEGU
DROGI EKSPRESOWEJ VIA BALTICA**

Piotr Jastrzębski*
Ignacy Kaliszewski**

* Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Wydział Informatycznych
Technik Zarządzania, studia II stopnia, specjalność Komputerowe Wspomaganie
Zarządzania

** Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Wydział Informatycznych
Technik Zarządzania;
Instytut Badań Systemowych, Polska Akademia Nauk

W pracy przedstawiono zasadnicze elementy analizy wielokryterialnej zastosowane do analizy wariantów przebiegu drogi ekspresowej Via Baltica przez firmę konsultacyjną Scott Wilson na tle metodologii przekazywanej studentom Wydziału Informatycznych Technik Zarządzania naszej uczelni w ramach przedmiotów Komputerowe Wspomaganie Decyzji i Teoria Podejmowania Decyzji.

Słowa kluczowe: analiza wielokryterialna, wspomaganie decyzji, wybór drogi, warianty

1. Wprowadzenie

Na Wydziale Informatycznych Technik Zarządzania, na II stopniu studiów, studenci specjalności Komputerowe Wspomaganie Zarządzania mają w programie zajęcia laboratoryjne pod nazwą Komputerowe Wspomaganie Decyzji. Zajęcia te stanowią integralną całość z równoległym wykładem Teoria Podejmowania Decyzji. Oba te przedmioty prowadzone są przez drugiego z autorów. Skrypt akademicki (Kaliszewski, Podkopaev, 2010) zawiera materiały obejmujące zakres obu przedmiotów jednocześnie.

W pracy przedstawimy zawartość projektu (dalej: Projekt) wykonanego w roku akademickim 2010/2011 przez pierwszego z autorów w ramach przedmiotu Komputerowe Wspomaganie Decyzji. Projekt ten wyróżnił się na tle innych projektów aktualnością rozpatrywanego problemu, przeprowadzeniem analiz na rzeczywistych danych, a także pełnym wykorzystaniem możliwości metodologii prezentowanej studentom w ramach obu przedmiotów.

W szczególności, interesować nas będzie, jak metodologia analizy wielokryterialnej przekazywana studentom w ramach obu przedmiotów może wzbogacić takie analizy przeprowadzane w odniesieniu do rzeczywistych, bieżących problemów decyzyjnych występujących w gospodarce, i jak uniknąć związanych z taką analizą możliwych pułapek. Przywołany tu Projekt pierwszego z autorów stanowi dobrą tego ilustrację.

2 Droga ekspresowa Via Baltica

Przebieg drogi ekspresowej Via Baltica przez terytorium Polski na odcinku od granicy litewskiej do Warszawy wzbudzał przez szereg lat gorące kontrowersje. Forsowany początkowo przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad wariant przebiegu, zakładający przecięcie przez tę drogę Doliny Rospudy (Wariant 1), wzbudzał gorący sprzeciw ekologów. W sprawę zaangażowała się nawet Unia Europejska, stając po stronie ekologów i wytykając rządowi polskiemu próbę naruszenia regulacji unijnych. Ostatecznie, pod zmasowanym naciskiem krajowej i europejskiej opinii publicznej, rząd podjął decyzję o takim przebiegu drogi, który omija prawnie chronione obszary przyrody. Trzeba to podkreślić, że przebieg drogi w okolicach Doliny Rospudy był tylko jednym z wielu, choć najbardziej nagłośnionych przez media, odcinków drogi, wokół przebiegu których istniały gorące spory.¹

Na pewnym etapie prac, znajdująca się wówczas w ogniu krytyki Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, zleciła wskazanie firmie doradczej Scott Wilson wariantów przebiegu drogi ekspresowej Via Baltica i przedstawienia rekomendacji. W lipcu 2008 roku firma przedstawiła dokument *Strategia rozwoju ...* (2011), w którym między innymi dokonano analizy wielokryterialnej rozważanych wariantów. W tym artykule odniesiemy się jedynie do tego aspektu dokumentu.

3. Analiza wielokryterialna według firmy Scott Wilson

Analiza wielokryterialna dokonana przez firmę Scott Wilson została przeprowadzona w odniesieniu do 40 wariantów przebiegu drogi ekspresowej Via Baltica ocenianych względem czterech kryteriów. Czytelnika zainteresowanego sposobem ustalenia poszczególnych wariantów jak i sposobem uzyskania wartości kryteriów, odsyłamy do wspomnianego wyżej dokumentu. Tutaj skupimy się wyłącznie na metodologii analizy wielokryterialnej zastosowanej przez firmę Scott Wilson w odniesieniu do wykorzystanych przez firmę w analizie wariantów i wartości kryteriów. Dane wykorzystane przez firmę przedstawia Tabela 1 (oznaczenia wariantów jak w dokumencie *Strategia rozwoju...*, 2011, wartości kryteriów odwzorowane zostały na wspólną skalę punktową o wartościach z przedziału od 0 do 10 punktów).

¹ Jak wiadomo sprawa zakończyła się rządową decyzją o zmianie wcześniej zaakceptowanego przebiegu trasy, z pominięciem Doliny Rospudy.

Tabela 1. Wartości kryteriów dla wariantów przebiegu Via Baltica

Wariant	Kryterium ruchowo-sieciowe	Kryterium ekonomiczne	Kryterium społeczne	Kryterium środowiskowe
Wariant 1	9,0	4,7	4,0	0,0
Wariant 1a	8,4	5,2	3,3	0,7
Wariant 1b	8,8	0,0	4,4	2,0
Wariant 1c	9,4	0,5	6,7	2,7
Wariant 2	10,0	5,5	7,5	4,4
Wariant 2a	9,4	6,4	7,0	5,1
Wariant 2b	8,8	4,4	6,6	5,3
Wariant 2c	8,6	6,9	7,2	6,0
Wariant 2d	7,6	2,8	4,4	5,2
Wariant 2e	6,9	3,6	3,6	5,9
Wariant 2f	8,9	2,2	7,4	1,9
Wariant 2g	7,5	3,1	4,3	2,6
Wariant 2h	7,4	3,9	5,2	4,4
Wariant 2i	6,8	4,8	4,6	5,0
Wariant 2j	6,5	2,3	4,4	4,3
Wariant 2k	6,1	3,2	4,4	5,0
Wariant 3	6,6	5,8	8,7	6,0
Wariant 3a	6,2	6,7	7,2	6,7
Wariant 3b	6,4	4,2	7,8	5,9
Wariant 3c	6,1	5,1	6,9	6,6
Wariant 4	5,4	10,0	2,5	6,6
Wariant 4a	6,2	8,4	2,1	6,5
Wariant 4b	1,1	7,7	4,6	10,0
Wariant 4c	0,1	6,1	4,0	9,9
Wariant 24	4,8	6,6	0,7	3,6
Wariant 24a	4,1	7,4	0,0	4,3
Wariant 24b	5,9	5,0	1,4	3,5
Wariant 24c	4,9	5,8	1,0	4,2
Wariant 24d	1,4	4,2	5,0	7,0
Wariant 24e	0,1	5,1	2,4	6,9
Wariant 24f	0,5	2,6	5,4	6,9
Wariant 24g	0,0	3,5	4,8	7,6
Wariant 42	9,0	9,0	8,7	7,3
Wariant 42a	8,9	7,8	8,2	8,3
Wariant 42b	6,8	6,2	6,2	8,2
Wariant 42c	7,3	5,7	6,5	4,9
Wariant 42d	6,2	7,4	6,7	7,3
Wariant 42e	7,2	5,8	7,2	7,2
Wariant 43	7,3	9,3	10,0	8,9
Wariant 43a	6,2	7,6	8,4	8,8

Źródło: *Strategia rozwoju...* (2011)

W analizie wielokryterialnej posłużono się ważoną funkcją liniową o postaci:

$$\sum_i \lambda_i y_i ,$$

gdzie y_i jest wartością i -tego kryterium, natomiast λ_i wagą tego kryterium, z wagami ustalonymi według pięciu założonych typów ocen: oceny zrównoważonej, oceny „Drogowca”, oceny „Księgowego”, oceny „Ekologa”, oceny „Społecznika”. Przypisane poszczególnym typom oceny wartości wag, podane w Tabeli 2, wyjaśniają sens tych nazw. Każda ocena ustala kolejność wariantów zgodnie z wartością ważonej funkcji linowej obliczonej dla odpowiadających danej ocenie wartości wag. Im wyższa wartość funkcji, tym wyższa pozycja wariantu. W analizach przeprowadzonych przez firmę Scott Wilson ocena zrównoważona była oceną wiodącą, pozostałe oceny miały charakter pomocniczy.

Tabela 2. Wagi dla poszczególnych typów oceny

Ocena	Wagi			
	Kryterium ruchowo-sieciowe	Kryterium ekonomiczne	Kryterium społeczne	Kryterium środowiskowe
Zrównoważona	0,25	0,25	0,25	0,25
„Drogowca”	0,6	0,2	0,1	0,1
„Księgowego”	0,2	0,6	0,1	0,1
„Ekologa”	0,1	0,1	0,6	0,2
„Społecznika”	0,1	0,1	0,2	0,6

Źródło: *Strategia rozwoju...* (2011)

Dla selekcji wariantów do fazy analiz eksperckich analitycy firmy Scott Wilson zastosowali dwa działające kolejno po sobie filtry.

Pierwszy filtr eliminował z rozważań warianty, dla których w którejkolwiek z pięciu ocen wartość oceny wyniosła poniżej $\frac{3}{4}$ wartości maksymalnej (tj. 10 punktów), czyli poniżej 7,5 punktu.

Drugi filtr eliminował z rozważań warianty, dla których w którejkolwiek z pięciu ocen wartość oceny wyniosła 7,5 punktu lub powyżej, ale wartość ta była szóstą lub dalszą kolejną wielkością, licząc od wartości maksymalnej. W wyniku zastosowania tych filtrów do dalszej analizy zakwalifikowały się następujące warianty: 42, 42a i 43 (co było zgodne z życzeniem zleceniodawcy, aby do końcowego wyboru rekomendować jedynie trzy warianty).

Dalsze analiza miała już charakter czysto ekspercki i niewiele już wspólnego z analizą wielokryterialną. Dla porządku tylko przypomnimy, że w końcowej swojej rekomendacji firma Scott Wilson wskazała wariant 42 jako najlepszy.

4. Analiza wielokryterialna według Projektu

Zgodnie z metodologią przekazywaną studentom w ramach obu przedmiotów, w wykonywanych przez nich projektach mieli oni za zadanie, dla rzeczywistego lub wymyślonego przez siebie problemu decyzyjnego, skonstruować mechanizm wyznaczania potencjalnie wszystkich wariantów efektywnych w sensie Pareto (a więc takich, które nie są zdominowane przez żaden inny wariant), a następnie wcielić się w rolę decydenta i kierując się swoimi preferencjami podać wagi kryteriów prowadzące do wariantu najbardziej preferowanego. Kluczowym elementem tej metodologii jest posługiwanie się ważoną funkcją Czebyszewa o postaci:

$$\max_i \lambda_i (y_i^* - y_i) ,$$

gdzie y_i i λ_i oznaczają wielkości jak powyżej, natomiast y_i^* oznacza największą wartość i -tego kryterium w zbiorze rozpatrywanych wariantów powiększoną o dowolną wartość dodatnią. Wariant, dla którego przy ustalonych wagach wartość tej funkcji jest najmniejsza w zbiorze rozpatrywanych wariantów, jest wariantem efektywnym².

W Projekcie wyznaczono warianty efektywne odpowiadające preferencjom reprezentowanym przez wagi podane w tabeli 2, reprezentujące scenariusze ocen przygotowane przez firmę Scott Wilson. Do wyznaczania takich wariantów posłużono się arkuszem kalkulacyjnym Excel, w którym skonstruowano funkcję Czebyszewa dla analizowanego problemu i wykorzystano dodatek Solver realizujący funkcje pakietu optymalizacyjnego. Wyznaczono następujące warianty efektywne:

- dla oceny zrównoważonej - wariant 42a,
- dla oceny „Drogowca” – wariant 2a,
- dla oceny „Księgowego”, „Ekologa” i „Społecznika” - wariant 43.

Projekt kończy się dyskusją zalet i wad poszczególnych wariantów i wskazaniem wariantu w opinii autora najbardziej preferowanego.

5. Dyskusja

Zastosowana przez analityków firmy Scott Wilson metodologia dla selekcji wariantów nie zapewnia w ogólnym przypadku, że wszystkie wybrane warianty wyczerpują zbiór wariantów efektywnych³. Zastosowanie takiego podejścia w projektach innego typu mogłoby istotnie ograniczać pole wyborów decyzyjnych.

Natomiast metodologia wykorzystana w Projekcie pozwala potencjalnie wyznaczyć wszystkie warianty efektywne. Innymi słowy, żaden wariant efektywny nie jest w przypadku stosowania tej metodologii apriorycznie wykluczony z rozważań i

² Dokładniej, jest wariantem efektywnym, jeżeli jest on jedynym wariantem, dla którego wartość funkcji Czebyszewa jest najmniejsza.

³ Zbiór wszystkich takich wariantów, dla których przy dowolnie dobranych wagach nie istnieje wariant lepszy.

może być wybrany, jeżeli tylko decydent poda swoje preferencje – w postaci wag – wskazujące na ten wariant. Zastosowanie takiego podejścia w rozważanym tu problemie wyboru przebiegu drogi wykluczyłoby Wariant 1 z dalszych rozważań, ponieważ nie jest on efektywny. Z faktu, że Wariant 1 nie jest efektywny wynika, że dla każdego możliwego zestawu wag istnieje inny wariant, dla którego wartość funkcji Czebyszewa (z tymi wagami) jest mniejsza niż dla Wariantu 1. Jest to prawidłowość ogólna. Minimalna wartość funkcji Czebyszewa na zbiorze wariantów jest zatem osiągnięta tylko dla wariantów efektywnych.

Selekcja wariantu najbardziej preferowanego może być natomiast prowadzona poprzez nałożenie odpowiedniego filtra na mechanizm wyznaczania wariantów efektywnych. Takim filtrem może być na przykład pierwszy z filtrów wykorzystanych przez firmę Scott Wilson. W zależności od parametrów tego filtra (poziomy odcięcia) zbiór wariantów efektywnych selekcionowanych do dalszej analizy może być elastycznie kształtowany.

W rozważanym problemie wyboru przebiegu trasy jest siedem wariantów efektywnych: warianty 2, 2a, 4, 4b, 42, 42a i 43. Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę wariantów w rozpatrywanym problemie, wszystkie warianty efektywne mogą być wyznaczone za pomocą prostego algorytmu (por. Kaliszewski, Podkopaev, 2010, rozdział 4).

Można zapytać, dlaczego w Projekcie nie wyznaczono za pomocą minimalizacji funkcji Czebyszewa na zbiorze wariantów efektywnego wariantu 42, który firma Scott Wilson uznała za najbardziej preferowany. Odpowiedź jest prosta. Żadna z preferencji wyrażona w postaci wag odpowiadających poszczególnym ocenom (Tabela 2) nie wskazuje poprzez mechanizm tej funkcji na wariant 42. Można jednak w prosty sposób wskazać taką preferencję i wyrazić ją za pomocą wag. Co więcej, można to zrobić dla każdego wariantu efektywnego. Wagi takie podane są w Tabeli 3.

Tabela 3. Wagi wskazujące jednoznacznie na poszczególne warianty efektywne w przypadku zastosowania ważonej funkcji Czebyszewa

Ocena	Wagi			
	Kryterium ruchowo-sieciowe	Kryterium ekonomiczne	Kryterium społeczne	Kryterium środowiskowe
Wariant 2	0,060	0,331	0,211	0,398
Wariant 2a	0,099	0,286	0,248	0,366
Wariant 4	0,287	0,051	0,436	0,226
Wariant 4b	0,481	0,160	0,311	0,049
Wariant 42	0,200	0,200	0,230	0,370
Wariant 42a	0,194	0,296	0,259	0,250
Wariant 43	0,435	0,200	0,118	0,247

Źródło: obliczenia własne

Wagi podane w Tabeli 3 gwarantują, że minimum wartości funkcji Czebyszewa z tym wagami osiągnane jest na zbiorze wariantów dla odpowiadającego wagi wariantu. Ponadto, minimum to jest osiągnane tylko dla tego wariantu.

Warto zwrócić jeszcze uwagę na fakt, że ze swojej natury ważona funkcja Czebyszewa lepiej przenosi w przestrzeń wartości kryteriów preferencję (lub, co na to samo wychodzi, brak preferencji) decydenta w względem relacji pomiędzy wartościami kryteriów wyrażoną w postaci równych wag, niż robi to ważona funkcja liniowa. Istotnie, ważona funkcja Czebyszewa z równymi wagami (lub, co równoważne, bez wag) dla danego wariantu przyjmuje wartość największej z różnic pomiędzy najlepszą wartością kryterium w zbiorze wariantów (dodatnie zaburzenie tej wartości, konieczne dla poprawności wyznaczania wariantów efektywnych, jest tu sprawą wyłącznie techniczną, zaburzenie to może być dowolnie małe) a wartością tego kryterium dla rozpatrywanego wariantu. Wyznaczanie w zbiorze wariantów wariantu, dla którego ta wartość jest minimalna, w sposób automatyczny prowadzi do wyznaczania wariantów zrównoważonych, czyli wariantów o wartościach kryteriów w największym możliwym stopniu do siebie zbliżonych. Wazona funkcja liniowa, ze względu na własność addytywności, tej cechy nie posiada. Na przykład, w przypadku wariantów przebiegu drogi ekspresowej Via Baltica ocena zrównoważona (wszystkie wagi równe) prowadzi dla ważonej funkcji liniowej do wyznaczenia wariantu 43, dla którego odchylenie średnie (średnia z odchyleń bezwzględnych wartości od wartości średniej) wartości kryteriów wynosi 0,79, natomiast dla ważonej funkcji Czebyszewa prowadzi do wyznaczenia wariantu 42a, dla którego odchylenie średnie wartości kryteriów wynosi 0,30.

6. Podsumowanie

Należy tu podkreślić, że autorzy niniejszej pracy nie dysponują wiedzą w zakresie planowania tras drogowych, dlatego wypowiedziane tu uwagi nie odnoszą się w żadnym stopniu do wartości merytorycznej opracowania przygotowanego przez firmę Scott Wilson. Pragniemy tylko zwrócić uwagę na istnienie instrumentarium, które lepiej nadaje się w ogólnym przypadku dla prowadzenia analiz wielokryterialnych, niż te stosowane powszechnie. W takie właśnie instrumentarium wyposażeni są w trakcie studiów studenci Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej i Zarządzania - WIT.

Firmie Scott Wilson należą się natomiast słowa uznania za wprowadzenie elementów analizy wielokryterialnej do swojego opracowania. Dzięki temu argumenty przeciwko kontrowersyjnemu Wariantowi 1 mogły zostać przedstawione w formie obiektywnych, popartych liczbami, argumentów. W konsekwencji, do realizacji został wybrany wariant, który w kategoriach wypracowanego wielostronnego kompromisu zainteresowane strony mogą uznać za *najlepszy*.

Literatura

- Jastrzębski P. (2011) Wybór optymalnego przebiegu drogi ekspresowej „Via Baltica”. Projekt wykonany w ramach przedmiotu Komputerowe Wspomaganie Decyzji, Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Wydział Informatycznych Technik Zarządzania, Warszawa.
- Kaliszewski I., Podkopaev D. (2010) *Komputerowe Wspomaganie Podejmowania Decyzji: Ujęcie Wielokryterialne*. Skrypt Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa.
- Strategia rozwoju I Pan-Europejskiego Korytarza Transportowego (2011) Część I: korytarz drogowy - dokument końcowy, <http://viabaltica.scottwilson.com.pl> . Pobrano 1 września 2011.