

# MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ANALIZY WIELOKRYTERIALNEJ W PROCESIE INWESTYCYJNO-BUDOWLANYM

Elżbieta SZAFRANKO\*

Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,  
ul Heweliusza 4, 10-724 Olsztyn

**Streszczenie:** Proces inwestycyjno-budowlany jest niezwykle złożony a czynności związane z jego realizacją można podzielić na kilka etapów. Najważniejszym z nich jest etap przygotowania inwestycji. To wtedy zapada szereg decyzji dotyczących m. in. wyboru lokalizacji, wyboru rozwiązań materiałowych czy technologicznych. O wyborze ostatecznego rozwiązania może zadecydować wiele czynników i podjęcie decyzji w sposób bezpośredni jest niezwykle trudne. W skomplikowanych przypadkach decyzyjnych konieczne jest stosowanie matematycznych metod wspomaganie. Ze względu na mnogość rozpatrywanych czynników, szczególnie przydatne są metody analiz wielokryterialnych. W artykule przedstawiono możliwości wspomaganie różnych problemów decyzyjnych z wykorzystaniem metod analizy wielokryterialnej. Postępowanie zilustrowano przykładami analizy wyboru lokalizacji inwestycji mieszkaniowej, wariantowania inwestycji drogowej oraz wyboru rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego obiektu budowlanego. W wyniku analizy przeprowadzonej różnymi metodami stwierdzono ich przydatność w przypadkach analizy inwestycji o różnych cechach i funkcjach.

*Słowa kluczowe:* proces inwestycyjny, analizy, metody wielokryterialne.

## 1. Wprowadzenie

W działalności inwestycyjno budowlanej pojawia się wiele problemów decyzyjnych. Większość z nich wymaga rozstrzygnięcia na etapie planowania inwestycji (Dziadosz i Kończak, 2016). Są to na przykład problemy dotyczące wyboru różnych możliwości lokalizacyjnych, od których niejednokrotnie zależy powodzenie przedsięwzięcia, wybór wariantu inwestycji czy rozstrzygnięcia konstrukcyjno-technologiczne (Zavadskas i in., 2012). W każdym z tych przypadków inwestor, projektant lub wykonawca muszą przeanalizować wiele czynników, decydujących o przyszłej inwestycji. Czynniki te to kryteria oceny, a właściwe ich przygotowanie jest punktem wyjścia do oceny przy pomocy wielu znanych metod wspomaganie matematycznego. Ze względu na mnogość informacji decydujących o ostatecznej decyzji, szczególnie przydatne stają się metody analizy wielokryterialnej (Marques i in., 2011). Metody różnią się sposobem postępowania, stopniem skomplikowania aparatu matematycznego i czytelnością uzyskanych wyników (Dytczak, 2010). Jednak we wszystkich przypadkach początkiem dalszych obliczeń jest ustalenie grupy lub grup kryteriów oraz oszacowanie ich znaczenia. Ważne jest właściwe zdefiniowanie kryteriów uwzględnianych w analizie. Ten etap może też przebiegać różnie a ocena, przeprowadzana w oparciu

o opinie ekspertów przeprowadzana jest na podstawie ankiet przygotowanych specjalnie dla każdej z metod, z uwzględnieniem ich specyfiki (Szafranko 2013). W zależności od stopnia skomplikowania rozważanego problemu, liczby i kategorii kryteriów oraz charakteru inwestycji, mogą być przydatne różne metody.

Celem pracy jest przeanalizowanie sposobu postępowania w różnych przypadkach inwestycyjnych. Dla zilustrowania problemów w artykule przedstawiono kilka przykładów.

## 2. Metodyka postępowania i przykłady obliczeniowe

Jednym z pierwszych problemów, rozstrzyganych na etapie planowania inwestycji jest wybór lokalizacji. W niektórych przypadkach dotyczy on wyboru pomiędzy dostępnymi działkami. W przypadku inwestycji liniowych ciągnących się dziesiątki kilometrów, jak przykładowo inwestycje drogowe, wybór trasy jaką będzie przebiegać analizowany odcinek.

Analiza lokalizacji inwestycji stanowi zawsze przypadek skomplikowany i wymaga oceny większej liczby kryteriów. Dla zilustrowania problematyki przedstawiono dwa przykłady.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: elasz@uwm.edu.pl

## 2.1. Ocena lokalizacji inwestycji mieszkalnej

Problem wyboru terenu pod inwestycje mieszkaniowe jest związany z przeprowadzeniem analizy wielu czynników. Część z nich wynika z ogólnie znanych i stosowanych kryteriów lokalizacyjnych (Budner, 2007). Inne natomiast związane są ze specyfiką konkretnej lokalizacji oraz samej inwestycji (Szafranko i Pawłowicz, 2014). Analiza wielu podobnych przykładów wykazuje za każdym razem dużą liczbę wymagań, które należy uwzględnić. W analizowanym przypadku najważniejsze jest spełnienie warunków takich jak:

- A. Komunikacja:  
 A1 – połączenie z siecią komunikacji lokalnej,  
 A2 – rozwiązania dotyczące dojazdu,  
 A3 – możliwość korzystania z transportu publicznego,  
 A4 – odległość od centrum miasta;
- B. Infrastruktura techniczna:  
 B1 – dostęp do sieci energetycznej,  
 B2 – dostęp do sieci wodociągowej,  
 B3 – dostęp do kanalizacji;
- C. Warunki terenowe i gruntowo-wodne:  
 C1 – nośność gruntu,  
 C2 – rodzaj gruntu,  
 C3 – głębokość zalegania warstwy nośnej,  
 C4 – poziom wód gruntowych,  
 C5 – ukształtowanie terenu,
- D. Kryteria urbanistyczno-planistyczne:  
 D1 – odległość od organów administracji architektoniczno – budowlanej,  
 D2 – stan opracowań w zakresie planów miejscowych,  
 D3 – stan opracowań strategii i programów rozwoju gminy,  
 D4 – konieczność dodatkowych ustaleń (ochrona środowiska),  
 D5 – konieczność wykonania ekspertyz;

Ze względu na dużą liczbę wymagań (17) wskazane jest zastosowanie metody hierarchicznej, pozwalającej połączyć je w grupy kryteriów głównych i podkryteriów. W tym przypadku proponuje się zastosowanie metody AHP (Szafranko, 2012). Metoda ta ponadto pozwala ocenić ważność poszczególnych kryteriów poprzez porównanie ich parami i zadecydowanie, które z nich są ważniejsze (The Analytic Hierarchy Process, 2004).

Obliczenia wykonano zgodnie z procedurą przedstawioną w literaturze (Saaty, 2008). W pierwszym kroku przeprowadzono ocenę porównywanych parami

kryteriów głównych. Macierz porównań (tab. 1) zbudowana jest w taki sposób, że po przekątnej znajdują się wartości równe jeden, co wynika z porównania każdego kryterium ze sobą, na przykład: A z A, B z B i tak dalej. Wartości większe od jedności świadczą o przewadze rozpatrywanego w danym wierszu kryterium z kolejnymi kryteriami umieszczonymi w układzie kolumnowym. Po drugiej stronie przekątnej są wartości odwrotne. W tabeli 2 przedstawiono obliczenia wartości znormalizowanej macierzy prowadzące do otrzymania wektora priorytetów. Poniżej (zgodnie z procedurami zawartymi w materiałach źródłowych) sprawdzono współczynnik niespójności potwierdzający prawidłowość obliczeń:

- wyznaczamy maksymalną wartość własną macierzy:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{w_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = 12,00 \cdot 0,0812 + 4,83 \cdot 0,2221 + 1,67 \cdot 0,5817 + 9,50 \cdot 0,1150 = 4,11528 \quad (2)$$

- wartość współczynnika niespójności:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,11528 - 4}{4 - 1} = 0,0384 \quad (3)$$

- wskaźnik niespójności:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (4)$$

gdzie  $C.R.$  powinno osiągnąć wartość  $< 10\%$ , zaś  $R.I. = 0,9$  (Saaty 2008).

$$C.R. = \frac{0,0384}{0,9} = 0,0427 \cdot 100\% = 4,27\% \quad (5)$$

Tab. 1. Macierz porównań dla kryteriów nadrzędnych

Kryteria nadrzędne	A	B	C	D
A	1,00	0,5	0,14	0,50
B	2,00	1,00	0,33	3,00
C	7,00	3,00	1,00	5,00
D	2,00	0,33	0,20	1,00
suma $a_{ij}$	12,00	4,83	1,67	9,50

Tab. 2. Wartości macierzy znormalizowanej i wektora priorytetu dla kryteriów nadrzędnych

Kryteria nadrzędne	A	B	C	D	suma $w_{ij}$	Wektor priorytetów $W_j$
A	0,0833	0,1034	0,0852	0,0526	0,3246	0,0812
B	0,1667	0,2069	0,1989	0,3158	0,8882	0,2221
C	0,5833	0,6207	0,5966	0,5263	2,3269	0,5817
D	0,1667	0,0690	0,1193	0,1053	0,4602	0,1151

W wielu przypadkach konieczne jest również przeanalizowanie kryteriów cząstkowych opisanych w podgrupach odpowiednio do kryteriów głównych. Analiza podkryteriów jest dyktowana z jednej strony ograniczeniem liczby kryteriów porównywanych bezpośrednio, a drugiej strony faktem, że niektóre z nich trudno by było porównać bezpośrednio.

W analizowanym przypadku mamy do wyboru 3 warianty lokalizacji. Każdy z wariantów w różnym stopniu spełnia wyróżnione wcześniej kryteria. Analizę można poprowadzić uwzględniając tylko część kryteriów – tych uznanych za najważniejsze. W tym przypadku ankiety wykazały najwyższą wagę kryteriów z grupy A i C. W tabeli 3 i 4 przedstawiono obliczenia przeprowadzone analogicznie jak dla kryteriów głównych, obejmujące analizowane warianty w aspekcie kryterium A, a w tabelach 5 i 6 dla kryterium C.

Otrzymane wartości wektora priorytetu dla analizowanych wariantów pokazują, że wariant 3 spełnia w największym stopniu oczekiwania pod względem komunikacji. Z analizy wariantów w aspekcie kryteriów terenowych i gruntowych (grupa C) wynika że wariant 1 spełnia je w największym stopniu.

Ciekawym będzie rozstrzygnięcie, który aspekt jest decydujący. W tym celu przeprowadza się obliczenia pokazujące, w jakim stopniu poszczególne kryteria są spełniane przez kolejne warianty. Wartości wektora priorytetów, dla każdego z kryteriów nadrzędnych i poszczególnych wariantów w kontekście analizowanych kryteriów są badane jako sumy ich iloczynów. Analizę ogranicza się do wybranych kryteriów.

Dla wariantu pierwszego:

$$W_1 = 0,5817 \cdot 0,6479 + 0,0812 \cdot 0,1638 = 0,3769 + 0,0133 = 0,3902$$

Dla wariantu drugiego:

$$W_2 = 0,5817 \cdot 0,2299 + 0,0812 \cdot 0,2973 = 0,1337 + 0,0241 = 0,1578$$

Dla wariantu trzeciego:

$$W_3 = 0,5817 \cdot 0,1222 + 0,0812 \cdot 0,5390 = 0,0711 + 0,0438 = 0,1149$$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wariant pierwszy lokalizacji spełnia wybrane wcześniej kryteria w największym stopniu. Decydujący wpływ na wynik analizy ma wysoka wartość wektora priorytetu w aspekcie kryterium C dla tego wariantu.

Tab. 3. Macierz porównań dla wariantów w aspekcie kryterium A

wariant	w1	w2	w3
w1	1,00	0,5	0,33
w2	2,00	1,0	0,50
w3	3,00	2,0	1,00
suma	6,00	3,5	1,83

Tab.4. Wartości macierzy znormalizowanej i wektora priorytetu – kryterium A

$w_{ij}$	w1	w2	w3	suma $w_{ij}$	Wektor priorytetu $W_i^w$
w1	0,166667	0,142857	0,181818	0,491342	0,1638
w2	0,333333	0,285714	0,272727	0,891775	0,2973
w3	0,500000	0,571429	0,545455	1,616883	0,5390

$$\lambda_{\max} = 3,01118, C.I. = 0,00559, C.R. = 0,00964 \cdot 100\% = 0,96\% < 10\%, R.I. = 0,58 \text{ (Saaty, 2008)}$$

Tab. 5. Macierz porównań dla wariantów w aspekcie kryterium C

wariant	w1	w2	w3
w1	1,00	3,0	5,00
w2	0,33	1,0	2,00
w3	0,20	0,5	1,00
suma	1,53	4,5	8,00

Tab. 6. Wartości macierzy znormalizowanej i wektora priorytetu – kryterium C

$w_{ij}$	w1	w2	w3	suma $w_{ij}$	Wektor priorytetu $W_i^w$
w1	0,652174	0,666667	0,6250	1,943841	0,6479
w2	0,217391	0,222222	0,25	0,689614	0,2299
w3	0,130435	0,111111	0,125	0,366546	0,1222

$$\lambda_{\max} = 3,005395, C.I. = 0,0027, C.R. = 0,00465 \cdot 100\% = 0,465\% < 10\%, R.I. = 0,58 \text{ (Saaty, 2008)}$$

## 2.2. Ocena wariantów inwestycji drogowej

Zadania inwestycyjne obejmujące budowę odcinków dróg są szczególnie trudne (Zavadskas i in., 2007). W większości przypadków, zwłaszcza dróg planowanych na terenach o wysokiej wartości przyrodniczej, wymagane jest opracowanie kilku wariantów przebiegu trasy oraz różnych rozwiązań technicznych i komunikacyjnych. Pozwala to na znalezienie rozwiązania spełniającego w najwyższym stopniu założenia projektu. Na podstawie analiz projektów realizowanych w regionie o wysokich walorach przyrodniczych (Szafranko, 2010) oraz opinii ekspertów określono, że najczęściej brane pod uwagę przy opracowaniu projektów są cztery grupy kryteriów (Szafranko, 2012, 2013).

W każdej grupie wyszczególniono najczęściej powtarzające się podkryteria:

## A – Transportowe:

- A1 – praca przewozowa (liczba pojazdów × kilometr na dobę),
- A2 – koszty wynikające z czasu przewozów uwzględniające koszty czasu traconego w wyniku stania w korkach lub wydłużenia trasy,
- A3 – długość drogi w km,
- A4 – koszty wynikające z eksploatacji pojazdów (koszty napraw, spalanie);

## B – Ekonomiczne:

- B1 – koszt budowy drogi,
- B2 – koszt wykupu terenu,
- B3 – koszty odszkodowań;

## C – Środowiskowe:

- C1 – naruszenie obszarów chronionych,
- C2 – długość przebiegu tras przez obszary leśne,
- C3 – ilość drzew do wycięcia,
- C4 – przecięcie szlaków wędrówek zwierząt,
- C5 – przecięcie cieków wodnych;

## D – Społeczne i przestrzenne:

- D1 – liczba budynków do wyburzenia,
- D2 – liczba budynków w odległości 0-50 m,
- D3 – liczba budynków w odległości 50-100 m,
- D4 – powierzchnia gruntów do wywłaszczenia,
- D5 – kolizje z planowanym zagospodarowaniem przestrzennym.

Można zauważyć, że przy analizie przebiegu inwestycji drogowych uwzględnione zostały inne kryteria oceny niż przy inwestycji mieszkaniowej. Jest to oczywiste i wynika z różnych funkcji i oddziaływań na środowisko społeczne i przyrodnicze tych obiektów. To właśnie te kryteria są często najważniejsze i do ich oceny zaproponowano zastosowanie metody wskaźnikowej (Szafranko, 2014). Jest to metoda, która w odróżnieniu od innych pozwala uwzględnić ujemne skutki inwestycji zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej. Kryteria środowiskowe (C) są z reguły najtrudniejsze do oceny i oszacowania ze względu na ich niemierzalny charakter. Naruszenie obszarów chronionych zostało ocenione poprzez długość tras przebiegających przez obszary chronione (C1). Podobnie oszacowano przebieg tras przez obszary leśne (C2). Otrzymano mniejsze wartości, gdyż było trudno planując inwestycję ominąć całkowicie lasy, ale można było ominąć obszary chronione. Z przebiegiem terenów przez obszary leśne związane jest (C3) wycięcie pewnej liczby drzew. Kolejnym problemem (C4) jest przecięcie szlaków wędrówek zwierząt. Bez odpowiedniej infrastruktury może być to przyczyną zwiększenia liczby kolizji. Przecięcia cieków wodnych (C5) są koniecznością w praktyce inżynierskiej. Wiązą się z koniecznością zaprojektowania odpowiednich elementów infrastruktury tak, aby uniknąć problemów związanych z przepływem wody w gruncie oraz w korycie cieków wodnych. Kryteria społeczno-planistyczne dotyczą wpływu planowanej inwestycji na infrastrukturę społeczną. Uwzględniają minimum konieczność wyburzenia budynków (D1) z uwzględnieniem odległości od planowanej trasy drogi (D2, D3), konieczne wywłaszczenia oraz kolizje z planowanymi inwestycjami o innym niż drogowy charakterze. Wartości wag zostały również opracowane w oparciu o opinie ekspertów. Określili oni, które kryteria są najważniejsze oraz wskazali w każdej grupie podkryteria najważniejsze, z punktu widzenia różnych grup zainteresowanych. I tak, dla kryteriów środowiskowych uznano, że ochrona terenów przed naruszeniem obszarów chronionych jest najważniejsza, a wśród kryteriów społecznych i przestrzennych najistotniejszym problemem jest konieczność wyburzenia budynków. Obliczenia przeprowadzono w formie macierzy (tab. 7 i 8).

Tab. 7. Matryca obliczeń Metodą Wskaźnikową – kryterium C

Lp	Badane kryterium	Wariant numer 1 inwestycji			Wariant numer 2 inwestycji			Wariant numer 3 inwestycji			Waga kryterium
1	C1	-1	0	1	-1	-10	-1	-1	-10	-1	5
2	C2	-1	6	3	-1	3	2	-1	-3	0	3
3	C3	-2	-4	1	-1	-8	-1	2	4	-1	4
4	C4	-1	3	2	-1	-6	-1	-1	3	2	3
5	C5	1	4	1	1	4	1	-1	0	1	2
	suma		9			-17			-6		

Tab. 8. Matryca obliczeń Metodą Wskaźnikową – kryterium D

Lp	Badane kryterium	Wariant numer 1 inwestycji			Wariant numer 2 inwestycji			Wariant numer 3 inwestycji			Waga kryterium
1	D1	0	10	2	-1	-5	0	-2	-5	1	5
2	D2	-1	0	1	0	4	1	-1	-4	0	4
3	D3	-2	3	3	1	0	-1	0	3	1	3
4	D4	-2	-2	1	-1	-2	0	-1	4	3	2
5	D5	1	4	1	0	2	1	1	4	1	2
	suma		15			4			2		

W tabelach 7 i 8 można zauważyć oceny ujemne pokazujące negatywne skutki inwestycji w zakresie niektórych kryteriów. Najniższe oceny można stwierdzić w kryterium C3 opisującym liczbę drzew do wycięcia, a w grupie kryteriów środowiskowych D1 opisując konieczność wyburzeń. Najwyższą ocenę zarówno w aspekcie kryterium środowiskowego, jak i społeczno-przestrzennego uzyskał wariant 1.

### 2.3. Wybór rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych

Projektując obiekt budowlany należy rozpatrzyć szereg alternatywnych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych. Dla zobrazowania problemu przedstawiono przykładową analizę możliwości zastosowania w obiekcie budowlanym dźwigara o konstrukcji strunobetonowej i dźwigara stalowego. W celu wyboru optymalnego rozwiązania uwzględniono zarówno aspekty natury technicznej, jak i warunki w jakich konstrukcja będzie eksploatowana. Elementy strunobetonowe mają wiele zalet i wad. Zalety to przede wszystkim wysoka ognioodporność, możliwość pracy w środowisku o podwyższonej wilgotności i agresywnym chemicznie, przenoszenie dużych obciążeń, odporność na obciążenia dynamiczne, ograniczenie korozji stali, duża smukłość elementów, modularność i typowość, małe ugięcia i możliwość recyklingu. Główne wady natomiast to wysokie koszty materiałowe, mniejsza powszechność ze względu na zaawansowane technologie realizacji, zwiększenie wymaganej jakości pod względem szczególnego nadzoru na każdym etapie realizacji, konieczność użycia ciężkiego sprzętu do montażu, kosztowny transport i ciężar konstrukcji.

Drugim rozpatrywanym rozwiązaniem jest dźwigar stalowy. Konstrukcje stalowe w porównaniu z konstrukcjami wykonanymi z innych materiałów wykazują znaczną jednorodność właściwości mechanicznych i fizycznych. Warsztatowa produkcja elementów stalowych umożliwia osiągnięcie wysokiego stopnia dokładności. Podstawowe zalety tych konstrukcji to lekkość konstrukcji wynikająca z korzystnego stosunku masy do nośności elementów, łatwy transport, szybkość montażu i demontażu, odzysk materiałów (recykling), jednorodne właściwości mechaniczne i fizyczne, łatwość scalania, montażu na placu budowy, możliwość wzmocnienia konstrukcji,

szybkość wznoszenia konstrukcji oraz łatwość obróbki i łączenia. Dodatkowo lekkość konstrukcji znacznie wpływa na obniżenie kosztów transportu, a montaż nie wymaga użycia dźwigów o dużych nośnościach. Podstawowe wady tego rozwiązania to niekorzystny wpływ wysokiej temperatury na właściwości wytrzymałościowe, podatność na korozję, ograniczona możliwość stosowania zależna od czynników środowiska, wrażliwość na obciążenia dynamiczne oraz duża liczba połączeń wymagających precyzji wykonania.

W oparciu o wymienione cechy rozwiązań oraz wymogi wynikające ze specyfiki obiektu, w którym dźwigar miał być zastosowany (Szafranko, 2015), zdefiniowano następujące kryteria oceny analizowanych wariantów:

- 1) łatwość montażu,
- 2) lekkość konstrukcji,
- 3) odporność konstrukcji na działanie czynników zewnętrznych,
- 4) ognioodporność,
- 5) możliwości jej recyklingu.

Ze względu na zdecydowanie mniejszą liczbę kryteriów, można zastosować prostsze metody oceny, jak na przykład Metoda Oceny Punktowej czy Multicriterial Evaluation Method (MCE). Nie wymagają one stosowania skomplikowanych obliczeń czy postępowania etapowego. Wyniki analizy przeprowadzonej metodą MCE przedstawiono w tabeli 9.

Z tabeli 9 można odczytać informacje o spełnieniu kryteriów cząstkowych, a w podsumowaniu wynik decydujący o tym, który wariant spełnia analizowane kryteria w najwyższym stopniu.

### 3. Dyskusja i podsumowanie

Przeanalizowane przykłady ilustrują różne, skomplikowane przypadki inwestycyjne. Można zauważyć, że w zależności od charakteru inwestycji kryteria mogą być różne i trudno by było opracować klucz usprawniający postępowanie. W przypadku wyboru lokalizacji inwestycji mieszkaniowej decydujące są czynniki związane z obsługą techniczną i eksploatacyjną inwestycji. Natomiast w przypadku inwestycji drogowych, pod uwagę brane są na przykład

Tab. 9. Analiza wielokryterialna dla analizowanych wariantów

Badane kryteria	Waga kryterium (w)	Wartość param. (x) – konstrukcja strunobetonowa	Spełnienie kryterium – wariant 1	Wartość param. (x) – konstrukcja stalowa	Spełnienie kryterium – wariant 2
1	0,10	4	0,40	5	0,50
2	0,25	3	0,75	4	1,00
3	0,35	5	1,75	2	0,70
4	0,20	4	0,80	2	0,40
5	0,10	2	0,20	6	0,60
suma	1,00		3,90		3,20

kryteria środowiskowe i społeczne, o których nie wspomina się w przypadku poprzedniej inwestycji. W analizowanym przykładzie dotyczącym rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, analiza rozwiązania dźwigara generuje 5 istotnych czynników. W przypadku analizy rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych daje się zauważyć dużo mniejszą liczbę rozpatrywanych czynników niż w przypadku analizy lokalizacji.

W związku z powyższym, postępowanie w pierwszych przykładach powinno obejmować grupy kryteriów głównych i podkryteria, natomiast w ostatnim przykładzie, ze względu na zdecydowanie mniejszą liczbę kryteriów – nie ma takiej potrzeby. Analiza kryteriów w grupach i podgrupach ułatwia postępowanie i pozwala wybrać kryteria decydujące przy dużej ich liczbie. Gdyby nie zastosowano tego podziału, analiza kilkunastu kryteriów na tym samym poziomie mogłaby doprowadzić do zbyt dużego rozproszenia wag, a to dałoby bardzo spłaszczony i mało zróżnicowany wynik. Analiza tak dużej liczby kryteriów utrudnia wskazanie czynników decydujących.

Przedstawione przykłady pokazują jak można rozwiązać różnorodne sytuacje decyzyjne, które spotyka się w praktyce inżynierskiej.

### Literatura

- The Analytic Hierarchy Process. Application in Solving Multiple Criteria Decision Problems (2004). W. Adamus (red.) *J U Publications*, Krakow, 6-32.
- Budner W. (2007). Czynniki lokalizacji inwestycji a możliwości rozwoju ekonomicznego gmin w Polsce. *Acta Scientiarum Polonorum, Administratio Locorum*, 6/2006, 43-58.
- Dytczak M. (2010). Wybrane Metody Rozwiązywania Wielokryterialnych Problemów Decyzyjnych w Budownictwie. *Politechnika Opolska*, Opole.
- Dziadosz A., Kończak A. (2016). Review of selected methods of supporting decision-making process in the construction industry. *Archives of Civil Engineering*, Vol. 62, Is. 1, 111-126.
- Marques G., Gourc D., Lauras M. (2011). Multi-criteria performance analysis for decision making in project management. *International Journal of Project Management*, Vol. 29, Is. 8, 1057-1069.
- Saaty T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, Is. 1, 83-98.
- Szafranko E. (2014). Applicability of the indicator method to evaluation of the impact of road building projects on the natural environment. W: *Proceedings in EIIC-The 3<sup>rd</sup> Electronic International Interdisciplinary Conference* (Vol. 1).
- Szafranko E. (2010). Evaluation of a possible development of the transportation network in Poland supported by the EU Funds. *Olsztyn Economic Journal*, Vol. 5, Is. 2, 355-379.
- Szafranko E. (2015). Możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej przy doborze rozwiązań materiałowo-technologicznych w konstrukcjach budowlanych. *Materiały Budowlane*, 5/2015, 49-50.
- Szafranko E. (2013). Ocena ekspertów w analizach prowadzonych metodą AHP przy wyborze wariantów inwestycji. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5/2013, 400-404.
- Szafranko E. (2012). Zastosowanie analizy hierarchicznej w ocenie wariantów planowanej inwestycji. *Archives of Institute of Civil Engineering*, 13/2012, 319-333.
- Szafranko E., Pawłowicz J. A. (2014). Metody Analizy Wielokryterialnej jako Narzędzie Oceny Możliwości Inwestycyjnego Wykorzystania Obszarów Wiejskich. *Instrumenty Kształtowania Przestrzeni Obszarów Wiejskich. Wydawca UWM w Olsztynie i TROW*, Olsztyn.
- Zavadskas E.K., Kaklauskas A., Peldschus F., Turskis Z. (2007). Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vol. 2, Is. 4, 195-203.
- Zavadskas E. K., Vainiūnas P., Turskis Z., Tamošaitienė J. (2012). Multiple criteria decision support system for assessment of projects managers in construction. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 11, Is. 2, 501-520.

### POSSIBILITY OF USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN THE INVESTMENT PROCESS

**Abstract:** The process of investment is extremely complex and activities related to its implementation can be divided into several stages. The preparation stage is the most important of them. At the planning stage a number of decisions concerning, among others choice of location, choice of materials and technological solutions should be taken into account. The choice of the final solution may depend on many factors and making a decision in a direct way is extremely difficult. In complicated cases, it is necessary to support the use of mathematical methods. Due to the multiplicity of the considered factors methods of multi-criteria analysis are particularly useful. The article presents the possibility

of supporting different decision problems using multi-criteria analysis. The procedure is exemplified by the analysis of the choice of location of the residential project, variants of road investment and choice of materials and construction solutions in the building object. The analysis of different methods shows their usefulness in cases of investment analysis of various features and functions.