

**Dariusz SKORUPKA\***  
**Artur DUCHACZEK**

## **ZASTOSOWANIE METODY AHP W OPTYMALIZACJI PROCESÓW DECYZYJNYCH ZWIĄZANYCH Z REALIZACJĄ PRZEDSIĘWZIĘĆ LOGISTYCZNYCH**

*W artykule zaprezentowano możliwość zastosowania metody AHP do optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych. Przykładowe analizy dotyczą przedsięwzięć związanych z odbudową doraźną uszkodzonego mostu.*

***Słowa kluczowe:** optymalizacja, metoda AHP, przedsięwzięcia logistyczne, procesy decyzyjne*

### **WPROWADZENIE**

W przypadku awarii lub remontu mostu stałego ruch kieruje się na drogi objazdowe, najczęściej o dużo gorszych nawierzchniach, wydłużając często trasę zasadniczą. Ponadto, przy dużym natężeniu ruchu w miastach, wytyczanie dodatkowych dróg objazdowych jest bardzo kłopotliwe. Dlatego w takich sytuacjach, jeżeli nie jest możliwa odbudowa doraźna obiektów w osi uszkodzonego (zniszczonego) mostu, należy budować mosty objazdowe, wykorzystując do tego wojskowe konstrukcje składane [12, 13].

Ciekawe rozwiązania zastosowania konstrukcji mostów towarzyszących, pływających i składanych znajdujących się na wyposażeniu państw NATO do budowy mostów doraźnych (tymczasowych) w warunkach kryzysowych zostały przedstawione przez zespół badawczy J. Szelki w ramach „grantu” [11].

Decyzje dotyczące odbudowy mostu w warunkach kryzysowych charakteryzują się dużą złożonością, brakiem doprecyzowania i potrzebą elastycznego podejścia. Wobec wielości wariantów i kryteriów trudno decydentom znaleźć właściwy balans pomiędzy intuicją, zdrowym rozsądkiem i doświadczeniem. Często intuicyjne podejście ma wiele słabości, gdyż takie decyzje z trudem poddają się logicznemu uzasadnieniu.

---

\* płk dr hab. inż. Dariusz SKORUPKA, prof. nadzw. WSOWL, kpt. dr inż. Artur DUCHACZEK – Wydział Zarządzania Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

Artykuł jest próbą zainspirowania decydentów (dowódców i inżynierów wojskowych) do nowego podejścia do problemów decyzyjnych, opartego na metodzie Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP).

## 1. PODSTAWY ANALITYCZNEGO PROCESU HIERARCHICZNEGO (AHP)

Analityczny proces hierarchiczny jest jedną z metod heurystycznych opracowaną przez amerykańskiego matematyka T. L. Saaty'ego łączącą w sobie elementy matematyki i psychologii, która została opisana m.in. w pracach [6, 7, 8, 9, 10]. Ułatwia ona dokonywanie optymalnych wyborów w przypadku wielokryterialnych problemów decyzyjnych poprzez ich redukcję do serii porównań parami, których dokonują eksperci, co w efekcie pozwala na dokonanie liczbowej miary ważności analizowanych elementów [1].

Podstawowe zalety, które zadecydowały o zastosowaniu metody AHP dla rozwiązania problemu postawionego w artykule są następujące [3]:

- metoda dostarcza prosty, łatwy do zrozumienia i elastyczny model dla szerokiej gamy problemów wielokryterialnych;
- umożliwia ulepszenie sposobu ujęcia problemu oraz poprawienie ocen poprzez powtórzenie procesu;
- nie upiera się przy konsensusie, ale syntetyzuje reprezentatywne wyniki różnych ocen;
- odzwierciedla naturalną tendencję umysłu do sortowania elementów systemu i umieszczaniu ich na różnych poziomach;
- integruje dedukcyjne myślenie i systemowe podejście w rozwiązywaniu problemów złożonych;
- wprowadza skalę ocen dla elementów niemierzalnych i metodę ustalania priorytetów;
- bierze pod uwagę względne priorytety czynników w systemie i umożliwia ekspertom wybranie najlepszej alternatywy, której podstawą jest założony cel.

Spośród wielu zalet metody AHP, przede wszystkim dwie są najistotniejsze dla rozwiązania złożonego i wielowątkowego problemu decyzyjnego. Pierwsza to przedstawienie problemu w postaci modelu hierarchicznego, a druga to możliwość jednoczesnego użycia czynników mierzalnych i niemierzalnych. Zbiory rozmyte, na których opiera się metoda, pozwalają na opisanie zjawisk i pojęć mających charakter wieloznaczny i nieprecyzyjny [5].

Poszczególne elementy składowe sprecyzowanego problemu tworzą strukturę hierarchiczną. Składa się ona z następujących poziomów: cel nadrzędny, kryteria główne, kryteria cząstkowe (atrybuty) oraz analizowane warianty (obiekty, alternatywy decyzyjne). Dzięki takiej konstrukcji struktury hierarchicznej istnieje możliwość skupienia się na stosunkowo niewielkiej liczbie elementów na każdym poziomie, przy czym ilość elementów na danym poziomie  $n$  nie powinna przekraczać  $7 \pm 2$ , gdyż spowodować to może dużą niekonsekwencję porównań [3].

Elementy (kryteria główne i cząstkowe, warianty) znajdujące się na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej oceniane są przez porównanie ich parami (każdy z każdym). Każdy z dwóch elementów danego poziomu modelu porównywany jest pod kątem względnej ważności w odniesieniu do kryterium znajdującego się na poziomie bezpośrednio wyższym. Porównań kryteriów głównych i cząstkowych oraz analizowanych wariantów poprzez określanie stopnia dominacji jednego nad drugim dokonuje grupa wybranych ekspertów na podstawie ich indywidualnych osądów [3].

W przypadku, gdy porównywane elementy nie mają charakteru mierzalnego, stosuje się podejście lingwistyczne oparte na teorii zbiorów rozmytych. Zmienna lingwistyczna przyjmuje wówczas jako swoje wartości określenia werbalne. Przyjęta przez T. L. Saaty'ego postać zbiorów rozmytych odpowiadająca zmiennym lingwistycznym zawiera się w 9 stopniowej skali preferencji [8].

W celu dokonania ocen elementów znajdujących się na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej tworzona jest macierz porównań (ocen), której stopień równy jest liczbie porównywanych elementów. Natomiast przez wektor priorytetów w wyrażane są oceny analizowanych kryteriów i wariantów ze względu na cel nadrzędny. Składowe wektora w określają więc stopień, w jakim elementy niższego poziomu posiadają cechę zdefiniowaną na poziomie wyższym. Analizowane elementy modelu hierarchicznego porządkowane są następnie według wielkości obliczonych wektorów priorytetów w kolejności według ich ważności. Im wyższa wartość wektora priorytetów, tym istotniejszy jest dany element [3].

Mimo że porównań parami dokonują eksperci mający wiedzę z danego zakresu, to i oni mogą popełnić błędy w przyznawaniu ocen. Sprawdzenie wiarygodności wyników odbywa się poprzez obliczenie wskaźnika i współczynnika konsekwencji. W celu wyeliminowania niezgodności obliczany jest współczynnik konsekwencji  $CR$  według zależności [3]:

$$CR = \frac{CI}{RI} 100\% , \quad (1)$$

gdzie  $RI$  to indeks losowy, zależy od stopnia macierzy  $n$ , przybierający wartości od 0÷1,45, natomiast  $CI$  to wskaźnik konsekwencji określany z zależności [3]:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} , \quad (2)$$

gdzie:  $\lambda_{\max}$  to maksymalna wartość własna macierzy, której sposoby obliczania przedstawiła m.in. A. Ostrenga w pracy [3].

Jeśli wartość wskaźnika  $CI$  nie przekracza 0,1, to znaczy, że oceny ekspertów są zgodne. Zasada logicznej konsekwencji ma dwa istotne znaczenia. Pierwsze związane jest z grupowaniem podobnych elementów zgodnie z ich jednorodnością. Drugie znaczenie dotyczy zasady przechodniości ocen, czyli siły związku pomiędzy porównywanymi elementami. Wartość współczynnika konsekwencji nie powinna przekraczać 10%, jeżeli jest wyższa należy, dokonać sprawdzenia sposobu formułowania pytań podczas dokonywania porównań parami elementów [3].

## 2. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY AHP W OPTIMALIZACJI PROCESÓW DECYZYJNYCH ZWIĄZANYCH Z REALIZACJĄ PRZEDSIĘWZIĘĆ LOGISTYCZNYCH

Dla ułatwienia przetwarzania danych uzyskanych od grupy ekspertów możliwe jest zastosowanie programów komputerowych takich, jak np. *Expert Choice* lub *Super Decision*. Obliczenia na potrzeby niniejszego artykułu wykonane zostały przy użyciu programu *Niezbędnik Menedżera Podejmującego Ważne Decyzje* dostępnego na stronie <http://www.ahpproject.com>.

Problem wyboru sposobu odbudowy mostu schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Zasadniczym celem prowadzonych analiz był wybór najbardziej optymalnego rozwiązania, uwzględniającego założone kryteria. W analizowanym przykładzie przyjęto cztery kryteria. Był to czas budowy mostu, głębokość i szerokość przeszkody wodnej oraz dostępność materiałów miejscowych do budowy mostu. Do analiz przyjęto również cztery warianty rozwiązań niniejszego problemu, była to konstrukcja mostu składanego DMS-65, przęsło mostu towarzyszącego BLG-67, most pontonowy PP-64 oraz most niskowodny.

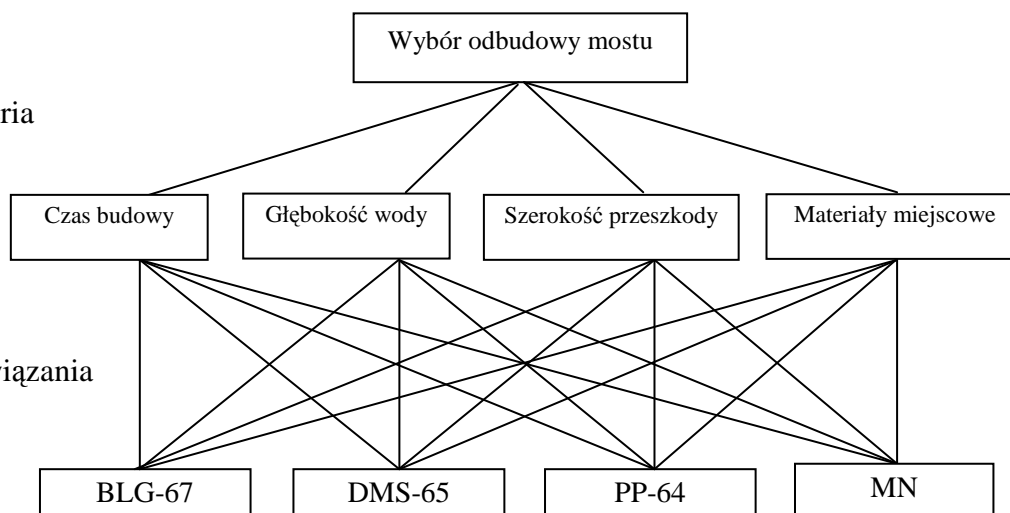
W tabeli 1 przedstawiono porównanie parami kryteriów mających wpływ na wybór rozwiązania zadania, które prowadzi do powstania macierzy M1, obrazującej które z kryteriów jest ważniejsze ze względu na osiągnięcie celu, jakim jest odbudowa mostu.

Natomiast na rysunku 2 przedstawiono okna dialogowe omawianej aplikacji komputerowej umożliwiające porównanie parami wariantów rozwiązań pod względem konkretnego kryterium. Powstają dzięki temu macierze M2-M6, obrazujące który wariant odbudowy jest korzystniejszy ze względu na konkretne kryterium.

### 1. Cel

### 2. Kryteria

### 3. Rozwiązania



Rys. 1. Struktura hierarchiczna wyboru konstrukcji do odbudowy mostu

Źródło: Opracowanie własne

Tablica 1. Porównanie parami kryteriów mających wpływ na wybór rozwiązania zadania

Wyszczególnienie	Czas budowy	Głębokość wody	Szerokość przeszkody	Materiały miejscowe
Czas budowy	1	0,2	0,16(6)	0,5
Głębokość wody	-	1	0,5	3,0
Szerokość przeszkody	-	-	1	5
Materiały miejscowe	-	-	-	1

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Fragmety okien dialogowych aplikacji komputerowej umożliwiające porównanie parami wariantów rozwiązań pod względem kryterium: a) czasu budowy, b) głębokości przeszkody wodnej, c) szerokości przeszkody wodnej i d) dostępności materiałów miejscowych

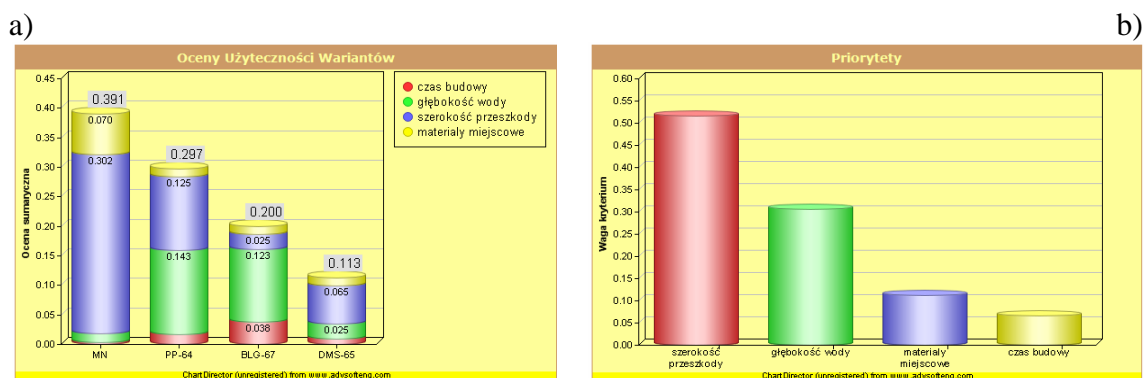
Źródło: Opracowanie własne

W wyniku przeprowadzonych ustaleń otrzymano ocenę użyteczności wariantów (rys. 3a) oraz priorytety kryteriów (rys 3b). W wyniku przeprowadzonych analiz okazało się, że wariantem optymalnym w analizowanym przykładzie jest budowa mostu niskowodnego, a kryterium, które o tym zadecydowało, była szerokość przeszkody wodnej oraz dostępność materiałów miejscowych (rys. 3a).

Prezentowana aplikacja umożliwia dokonanie oceny użyteczności (oceny częściowej) każdego z wariantów rozwiązań według kryterium czasu budowy, głębokości przeszkody wodnej, szerokości przeszkody wodnej i oczywiście dostępności materiałów miejscowych (rys. 4).

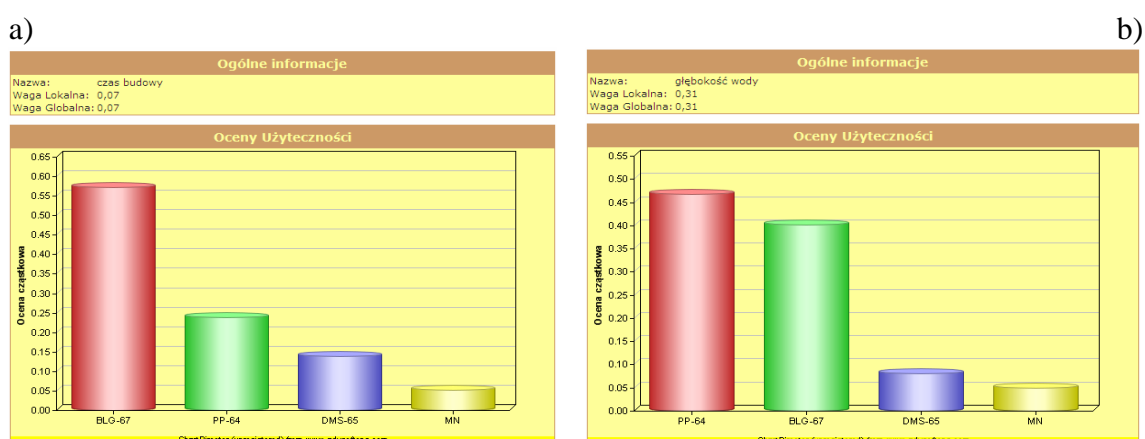
Bardzo bogaty interfejs graficzny programu umożliwia również różnorodną prezentację wyników, takich jak:

- wykres kołowy z wagami poszczególnych kryteriów (rys. 5a);
- analizę czułości różnych kryteriów (rys. 5b);
- wykresy radarowe dla porównania w parach wariantów rozwiązań, uwzględniające analizowane kryteria.



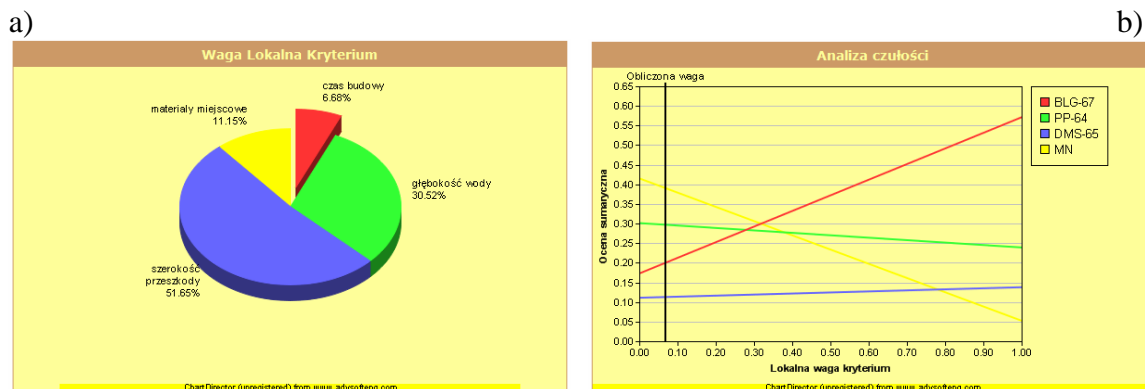
Rys. 3. Ocena użyteczności wariantów (a) oraz priorytety kryteriów (b)

Źródło: Opracowanie własne



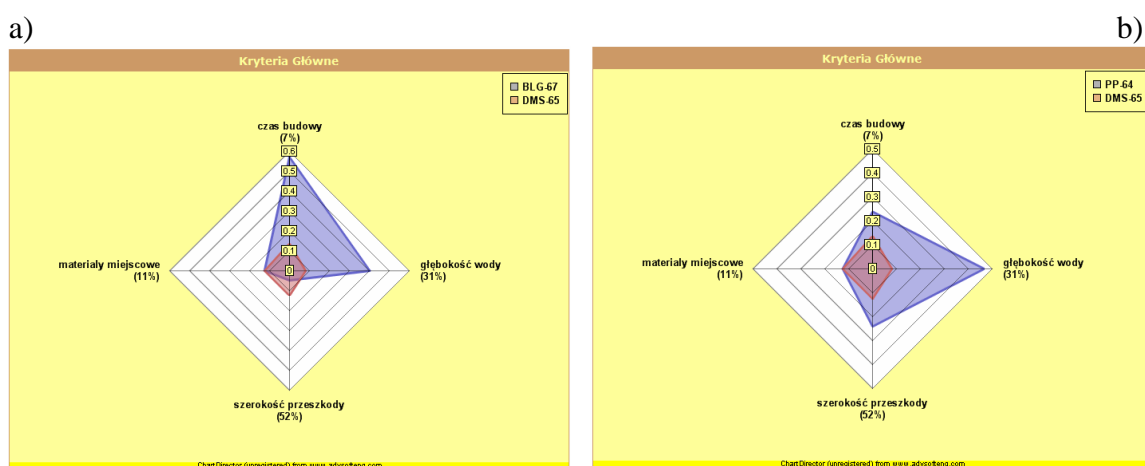
Rys. 4. Przykładowe oceny użyteczności (oceny częściowe) każdego z wariantów rozwiązań według kryterium: a) czasu budowy i b) głębokości przeszkody wodnej

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Przykładowe wykresy: a) kołowy z wagami poszczególnych kryteriów oraz b) analiza czułości dla kryterium czas budowy

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Przykłady wykres radarowy porównania wariantów w parach z uwzględnieniem analizowanych kryteriów: a) most towarzyszący BLG-67 i most składany DMS, b) park pontonowy PP-64 i most składany DMS-65

Źródło: Opracowanie własne

## PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda AHP jest używana już ponad 30 lat i opanowała całkowicie kraje wysoko rozwinięte. Należy się tylko dziwić, dlaczego u nas nie jest powszechnie stosowana. Na przedstawionym przykładzie widać wyraźnie, że można ją stosować wszędzie tam, gdzie tylko potrzebny jest wybór (szczególnie w sytuacjach konfliktowych) [4].

W Polsce budownictwo jest dziedziną, w której AHP zaczyna się dopiero wprowadzać. Przytoczony przykład pomoże spojrzeć na problemy budownictwa w ujęciu systemowym. W dotychczasowej praktyce panowało podejście dedukcyjne, w którym kładziono nacisk na segment problemu, ignorując powiązania zachodzące pomiędzy składowymi problemami. AHP łączy podejście dedukcyjne i systemowe, tworząc z nich zintegrowany i logiczny kompleks [4].

Pomimo licznych zalet metody AHP, ma ona również pewne ograniczenia, do których można zaliczyć między innymi [2]:

- ograniczona z praktycznych względów do kilku liczba porównywalnych elementów na tym samym poziomie hierarchii;
- założenie pełnej porównywalności elementów (czynników i wariantów) występujących w modelu hierarchicznym;
- wymaganie spójności macierzy ocen;
- utrudnione uwzględnienie zależności pomiędzy cząstkowymi funkcjami celu;
- duże uproszczenia w modelowaniu rzeczywistej sytuacji, dające jednak korzyści praktyczne w postaci uproszczonego postępowania podczas wspomaganie decyzji;
- zalecenie (nie bezwzględna konieczność) współpracy zewnętrznego analityka-konsultanta, który powinien być także „organizatorem” procesu decyzyjnego;
- potrzeba przeszkolenia osób mających stosować metodę AHP w zakresie podstaw i praktycznych aspektów wykorzystania.

Wydaje się jednak, że zastosowanie omawianej metody do rozwiązywania procesów decyzyjnych, z którymi w codziennym życiu spotykają się zarówno dowódcy, jak i inżynierowie wojskowi, jest na pewno lepsze od zastosowania rozwiązań stricte intuicyjnych.

## LITERATURA

- [1] Adamus W., Szara K., *Zastosowanie Analitycznego Procesu Hierarchicznego AHP do racjonalizacji zarządzania i organizacji gospodarstw (przedsiębiorstw)*, [w:] „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej”, nr 4-5, 2000, s. 20-41.
- [2] Krzysztofowicz J., *Opracowanie systemu informatycznego stanu zdrowia populacji ludzi na podstawie obiektowej bazy danych*. Praca magisterska, promotor prof. dr hab. inż. Paweł Sewastianow, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2003.
- [3] Ostrenga A., *Sposoby zagospodarowania wyrobisk i terenów po eksploatacji złóż surowców węglanowych na przykładzie Krzemionek Podgórskich w Krakowie*, Rozprawa doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Ryszard Uberman, Kraków 2004.
- [4] Przybyło W., Krężolek S., *Zastosowania ahp w budownictwie*. [online] [dostęp: 10.02.2010]. Dostępny w Internecie: [www.fema.pl/~mit/PUBLIKACJE\\_WLASNE/doc/ahpwbsk-olsztyn.doc](http://www.fema.pl/~mit/PUBLIKACJE_WLASNE/doc/ahpwbsk-olsztyn.doc).
- [5] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Łódź 1997.
- [6] Saaty T., *Rank from Comparisons and from Ratings in the Analytic Hierarchy, Network Processes*, University of Pittsburgh, Pittsburgh 2000.
- [7] Saaty T. L., *Creative Thinking, Problem Solving & Decision Making*, RWS Publication, Pittsburgh 2001.
- [8] Saaty T. L., *Deriving the AHP 1-9 Scale from First Principles ISAHP 2001*, Berne – Switzerland 2001.



- [9] Saaty T. L., *Decision-Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex world*, vol. II, RWS Publications, Pittsburgh 2001.
- [10] Saaty T. L., Rank, *Normalization and Idealization in the Analytic Hierarchy Process*, ISAHP Bali - Indonesia 2003.
- [11] Szelka J. i inni, Projekt badawczy „grant” nr OTOOA 00519 na temat: *Akwizycja wiedzy w systemach eksperckich wspomagających odbudowę tymczasową dróg i mostów zniszczonych przez falę powodziową*, KBN, Warszawa 2000.
- [12] Szelka J., Duchaczek A., *Wykorzystywanie wojskowych konstrukcji składanych do budowy mostów tymczasowych*, [w:] „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych” Zdane do redakcji ZN we sierpniu 2010 r.
- [13] Zamiar Z., Surowiecki A., *Specjalne konstrukcje inżynieryjne. Teoria i technologia*, wyd. Bellona, Warszawa 2001.

## **EMPLOYMENT OF AHP METHOD TO OPTIMISE DECISION PROCESSES RELATED TO COMPLETION OF LOGISTIC PROJECTS**

### **Summary**

*In the article the authors describe the possibilities of employing the analytic hierarchy process (AHP) method to optimise decision processes related to the completion of logistic projects. Sample analyses concern the projects of the emergency reconstruction of a damaged bridge.*

**Key words:** *optimisation, AHP method, logistical projects, decision processes*

*Artykuł recenzował: dr hab. inż. Zenon ZAMIAR, prof. nadzw. WSOWL*