

## **Zastosowanie metod optymalizacji wielokryterialnej przy ocenie ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych**

**Artur Duchaczek<sup>1</sup>, Dariusz Skorupka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Katedra Inżynierii Systemów, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, e-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl*

<sup>2</sup> *Katedra Zarządzania, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, e-mail: dareks100@interia.eu*

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano procedurę oceny ryzyka uszkodzenia obiektów inżynierskich w aspekcie ataków terrorystycznych. Przedmiotem analiz były wybrane obiekty mostowe znajdujące się w okolicy Wrocławia. W pracy zaprezentowano nietypowe zastosowanie dwóch wybranych metod optymalizacyjnych, tj. metod AHP i metody Bellingera. Zaletą prezentowanych analiz jest możliwość kwantyfikacji hierarchii wariantów decyzyjnych oraz ilościowa ocena ryzyka.

**Słowa kluczowe:** infrastruktura transportowa, zarządzanie kryzysowe, ocena ryzyka.

### **1. Wprowadzenie**

Zgodnie z ustawą z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym [1] infrastruktura krytyczna to systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty. Infrastruktura krytyczna obejmuje m. in. system transportowy, który odgrywa zasadniczą rolę w procesach logistycznych [2]. Zasadniczym elementem systemu transportowego jest infrastruktura drogowo-mostowa, a w tym drogi kołowe, mosty, wiadukty, estakady i przepusty [3].

W przedmiotowej ustawie [1] występuje pojęcie mapa ryzyka, która jest określana jako mapa lub opis przedstawiający potencjalnie negatywne skutki oddziaływania zagrożenia na ludzi, środowisko, mienie i infrastrukturę. W skład planów zarządzania kryzysowego wchodzi plan główny zawierający m. in. charakterystykę zagrożeń oraz ocenę ryzyka ich wystąpienia, w tym dotyczących infrastruktury krytycznej oraz mapy ryzyka i mapy zagrożeń [1].

Aktualnie w Polsce istnieje kilka ośrodków naukowych zajmujących się problematyką związaną z projektowaniem obiektów mostowych, w tym również mostów wojskowych. Jednak tylko niektóre z nich prowadzą badania uwzględniające różnorodne zagrożenia, które mogą spowodować uszkodzenie tych obiektów.

W literaturze [4] podano, że taksonomia zagrożeń w zarządzaniu kryzysowym oznacza przyporządkowanie zagrożeń do poszczególnych grup, które charakteryzują dane zagrożenie. Oceniając zagrożenia w pierwszej kolejności analizujemy zagrożenia ze względu na źródło powstania, następnie poziom destrukcji oraz zasięg przestrzenny. Ze względu na źródło powstania, do poszczególnych grup możemy przypisać określone zagrożenia naturalne, techniczne i antropogeniczne [4].

Do tych ostatnich zaliczamy m. in. terroryzm i zagrożenia militarne, które będą przedmiotem analiz w przedstawionym materiale. Wydaje się, że podjęcie tematyki jest uzasadnione, ponieważ literatura przedmiotu nie rozstrzyga tej problematyki.

### **2. Metoda określania ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych**

W pracy [5] przedstawiono genezę semantyczną i podstawowe pojęcia dotyczące analizy ryzyka. Ryzyko jest rozumiane i definiowane bardzo różnorodnie. Wydaje się jednak, że najbardziej znanym wyrażeniem umożliwiającym określenie ryzyka uszkodzenia *i*-tego obiektu mostowego może być wzór (1) [5]:

$$R_i = p_i c_i, \quad (1)$$

gdzie  $p_i$  to prawdopodobieństwo ataku terrorystycznego na  $i$ -ty obiekt mostowy, natomiast  $c_i$  to konsekwencja jego uszkodzenia (zniszczenia).

Co oznacza, że pojęcie ryzyka, można zdefiniować jako prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niekorzystnego (czynnika ryzyka) w trakcie realizacji określonego przedsięwzięcia w iloczynie z konsekwencją jego oddziaływania na realizację tego przedsięwzięcia [5].

Autorzy opracowania proponują jednak aby ryzyko  $R_i$  uszkodzenia  $i$ -tego obiektu mostowego na określonym obszarze kraju określać stosując wyrażenie (2), tj. jako iloczyn prawdopodobieństwa  $p_i$  wystąpienia tego zdarzenia i konsekwencji  $c_i$  wynikających z jego zniszczenia podzielony przez sumę tych iloczynów dla wszystkich  $n$  analizowanych mostów:

$$R_i = \frac{p_i c_i}{s}, \quad (2)$$

gdzie:

$$s = \sum_{i=1}^n (p_i c_i). \quad (3)$$

Przyjmując jednocześnie, że wartość prawdopodobieństwa  $p_i$  i konsekwencji  $c_i$  jest liczbą z przedziału  $[0, 1]$ . Zakładając przy tym, że zarówno suma prawdopodobieństwa  $p$  zniszczenia wszystkich obiektów mostowych, jaki i suma konsekwencji  $c$  ich zniszczenia, a także ryzyko  $R$  uszkodzenia wszystkich  $n$  wybranych obiektów mostowych na analizowanym obszarze kraju są równe jedności.

### 3. Przykład oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych

W pracy przedstawiono zastosowanie metod optymalizacji wielokryterialnej do oceny ryzyka uszkodzenia wybranych obiektów mostowych. Dla łatwiejszego zobrazowania omawianej metody w analizach uwzględniono tylko sześć mostów znajdujących się w okolicy Wrocławia, oznaczonych od W1 do W6 (tab. 1). Wybrane przez autorów obiekty charakteryzowały się zarówno różnorodną konstrukcją, jak i lokalizacją.

#### 3.1. Ocena prawdopodobieństwa uszkodzenia obiektów mostowych

Do oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia obiektów mostowych zastosowano metodę Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP), która została opracowana i opisana przez T. L. Saaty'ego [6]. Przejrzysty opis tej metody można znaleźć w pracy A. Ostregi [7], gdzie przedstawiono podstawy teoretyczne stosowania tej metody w praktycznych zagadnieniach inżynierskich.

Spośród wielu zalet tej metody dwie wydają się najważniejsze. Pierwsza z nich to możliwość przedstawienia analizowanego problemu decyzyjnego w postaci modelu hierarchicznego, a druga to możliwość jednoczesnego stosowania zarówno czynników mierzalnych, jak i niemierzalnych [7].

W metodzie AHP standardowo używane skale ocen okazują się nieprzydatne, ponieważ jej podstawą jest porównywanie parami każdego elementu z każdym. W związku z tym wprowadzono nową 9-cio punktową skalę ocen. Wówczas porównując ze sobą każdorazowo tylko dwa elementy ustala się, który z tych elementów jest ważniejszy i w jakim stopniu. Wartość 1 nadajemy jeśli oba elementy są jednakowo ważne, a 9 jeżeli jeden element jest zdecydowanie ważniejszy od drugiego [7].

W przypadku, gdy porównywane elementy nie mają charakteru mierzalnego, tzn. nie można do ich opisu użyć zmiennych liczbowych stosuje się tzw. podejście lingwistyczne, w którym zmienna lingwistyczna przyjmuje określenia opisowe, zawierające się oczywiście również w skali 9-cio stopniowej [7].

Analizując dane zawarte w tabeli 1 należy stwierdzić, że ta cecha charakteryzująca metodę AHP jest w tym przypadku najbardziej przydatna.

W celu dokonania ocen elementów znajdujących się na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej tworzona jest macierz porównań [7] (patrz tabela 2).

Tabela 1. Dane mostów wybranych do analizy [8]

Wariant	Nazwa mostu	Kryterium oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia obiektu mostowego					
		Ochrona obiektu	Natężenie ruchu	Długość analizowanego przęsła [m]	Materiał konstrukcyjny	Konstrukcja przęsła	Dostęp do spodu przęsła
		K1	K2	K3	K4	K5	K6
W1	Bolesława Chrobrego	Słaba	Małe	3 x 25 + 48	Żelbetowy	Łukowa	B. Dobra
W2	Bolesława Krzywoustego	Dobra	B. Duże	3 x 21	Żelbetowy	Belkowa	B. Dobra
W3	Władysława Sikorskiego	Dobra	Duże	2 x 46,5	Stalowy	Kratownicowa	Słaby
W4	Polanowicki	Słaba	B. Małe	ok. 30	Stalowy	Belkowa	Dobry
W5	Grunwaldzki	B. Dobra	B. Duże	112,5	Stalowy	Wisząca	Słaby
W6	Milenijny	B. Dobra	B. Duże	68 + 153 + 68	Żelbetowy + Struny stalowe	Wantowa	Dobry

Aby ocenić wiarygodności wyników każdorazowo obliczano wskaźnik konsekwencji  $CI$  i współczynnik konsekwencji  $CR$ . Wartość współczynnika konsekwencji  $CR$  nie powinna przekraczać 10%. W przypadku gdy osiąga wartość wyższą należy sprawdzić sposób formułowania pytań podczas dokonywania porównania analizowanych wariantów [7].

Określając prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu mostowego przyjęto, że jest to wielkość określająca nasze oczekiwania co do możliwości wystąpienia danego zdarzenia, w tym przypadku ataku terrorystycznego. Wielkość ta jest wykorzystywana zatem do określenia możliwości zajścia pewnego „zdarzenia losowego” i przyjmuje wartości z przedziału  $[0, 1]$ , przy czym suma tych liczb (tzn. całkowita wartość dla wszystkich analizowanych obiektów mostowych) równa jest zawsze jedności.

Obiektywność prowadzonych analiz uzależniona jest zawsze od przyjętych kryteriów. Ponieważ jednak obiekty mostowe to specyficzne budowle, charakteryzujące się zróżnicowaną konstrukcją, to kryteria przyjmowane do obliczeń ryzyka ich uszkodzenia mogą być tak naprawdę każdorazowo różne. Należy być jednak świadomym, że zbyt duża liczba kryteriów w zdecydowanie utrudnia prowadzenie przedmiotowych analiz, a jednocześnie tylko w nieznacznym stopniu zwiększa „obiektywizm” otrzymanych wyników.

Analizując możliwości dokonania ataku terrorystycznego na obiekty mostowe stwierdzono, że kryteriami oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia takich obiektów są przede wszystkim lokalizacja obiektu oraz możliwość zniszczenia (uszkodzenia) konstrukcji nośnej obiektu. Do obliczeń przyjęto zatem sześć kryteriów K1–K6 wyszczególnionych w tabeli 1.

Tabela 2. Wagi kryteriów przyjętych do analiz [9]

Wyszczególnienie kryteriów	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Priorytet	
Ochrona obiektu	K1	1,00	0,60	0,80	5,00	0,80	6,0	0,201
Natężenie ruchu	K2	1,67	1,00	1,00	6,00	0,80	5,00	0,246
Długość przęsła	K3	1,25	1,00	1,00	3,00	0,90	5,00	0,212
Materiał konstrukcyjny	K4	0,20	0,17	0,33	1,00	0,25	2,00	0,058
Konstrukcja przęsła	K5	1,25	1,25	1,11	4,00	1,00	6,00	0,245
Dostęp do spodu przęsła	K6	0,17	0,20	0,20	0,50	0,17	1,00	0,038
Współczynnik $CI = 0,03$		Współczynnik $CR = 2,20\%$						

W tabeli 2 przedstawiono wagi kryteriów przyjętych do analiz, otrzymane również z zastosowaniem metody AHP. Subiektywna ocena wyrażona wartością priorytetu

wykazała, że największy wpływ na prawdopodobieństwo ataku na konkretny obiekt mostowy będą miały natężenie ruchu (K2) i konstrukcja przęsła (K5).

Szczegółowy tok obliczeń dla analizowanego przypadku autorzy przedstawili w pracy [9]. W tabeli 4 (kolumna 2) zaprezentowano tylko uzyskane końcowe wyniki obliczeń w postaci wartości współczynników wagowych, które należy traktować w tym przypadku jako wielkości prawdopodobieństwa  $p_i$  uszkodzenia danego obiektu mostowego. Obliczenia w jednoznaczny sposób wykazały, że obiektem o największym prawdopodobieństwie ataku terrorystycznego jest most Milenijny (W6), a następnie most Bolesława Krzywoustego (W2) i most Grunwaldzki (W5).

### 3.2. Ocena konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych

W przedstawionym materiale do oceny konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych zastosowano metodę Bellingera, która podobnie jak metoda AHP, jest jedną z metod analizy wielokryterialnej.

Szczegółowy algorytm obowiązujący w omawianej metodzie przedstawił P. Górny w pracy [10], ujmując go w ośmiu etapach. Obliczenia rozpoczyna się od określenia wymagań i ograniczeń dla przyszłych hipotetycznych wariantów rozwiązań analizowanego problemu. Następnie definiuje się dostępne w danej sytuacji warianty decyzyjne oraz szczegółowo określa przyjęte kryteria oceny, używane jednostki pomiarowe i pożądany kierunek zmian w obrębie danego kryterium (tzw. stymulanty i destymulanty), a także dolną i górną granicę zmian dla analizowanych kryteriów cząstkowych. Po tym etapie ustala się hierarchię poszczególnych kryteriów, poprzez ustalenie wag jakie nadaje się przyjętym kryteriom oceny. Następnie tworzy się macierz zawierającą rzeczywiste wartości analizowanych kryteriów pod kątem poszczególnych wariantów. W kolejnym kroku przedstawia się liczby z tablicy z wcześniejszego etapu jako procentu *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego, następnie mnoży się otrzymane liczby przez wcześniej przyjęte wagi. Kończąc obliczenia, na podstawie zsumowanych ocen przyznanych poszczególnym wariantom, ustala się wariant najlepszy z uwzględnieniem wszystkich analizowanych kryteriów [10].

Na tym etapie badań autorzy zaproponowali przyjęcie siedmiu kryteriów oceny konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych, opisanych w tabeli 3, tj.: długość przęsła (K1), liczba pasów ruchu na moście (K2), liczba podpór pośrednich (K3), wysokość przęsła nad powierzchnią lustra wody (K4), natężenie ruchu (K5), występowanie alternatywnego przejazdu (K6) oraz możliwość szybkiego usunięcia uszkodzonego przęsła (K7). W tabeli tej podano także wartości wag dla poszczególnych kryteriów.

Tabela 3. Dane mostów wybranych do analizy (opracowane na podstawie [8]) oraz przyjęte wartości wagi dla poszczególnych kryteriów

Nazwa mostu	Wartość wyszczególnionych kryteriów						
	K1 [m]	K2 [szt.]	K3 [szt.]	K4* [m]	K5* [pojazdów/dobę]	K6 [%]	K7 [%]
Bolesława Chrobrego	48	2	3	13	2000	60	50
Bolesława Krzywoustego	21	4	2	3	30000	10	50
Władysława Sikorskiego	46,5	2	1	11	10000	90	50
Polanowicki	30	2	0	2	3000	30	50
Grunwaldzki	112,5	4	0	9	30000	90	50
Milenijny	153	4	2	16	40000	40	50
Wartość wagi dla kryteriów	0,15	0,15	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10

\* Przyjęto do obliczeń tylko jako wartości orientacyjne

W analizowanym przykładzie dolna i górna granica zmian dla poszczególnych kryteriów były równe wartościom ekstremalnym poszczególnych kryteriów. Szczegółowy tok przeprowadzonych obliczeń autorzy zaprezentowali w pracy [11]. W kolumnie trzeciej tabeli 4 przedstawiono jedynie wyniki końcowe przeprowadzonych obliczeń, tj. oceny łączne  $o_i$  poszczególnych wariantów.

Ponieważ na wstępie założono, że konsekwencja  $c_i$  uszkodzenia poszczególnych mostów jest wielkością z przedziału  $[0, 1]$ , należało zatem otrzymane wartości oceny łącznej  $o_i$ , które przedstawiono w trzeciej kolumnie tabeli 4, w odpowiedni sposób przeliczyć. Obliczenia wartości konsekwencji  $c_i$  dla poszczególnych mostów dokonano dzieląc poszczególne wartości oceny łącznej  $o_i$  przez ich sumę. Wyniki obliczeń zaprezentowane w tabeli 4, wskazują jednoznacznie, że uszkodzenie Mostu Milenijnego (W6) wywoła największe konsekwencje dla mieszkańców analizowanego obszaru kraju ( $C_6 = 0,322$ ).

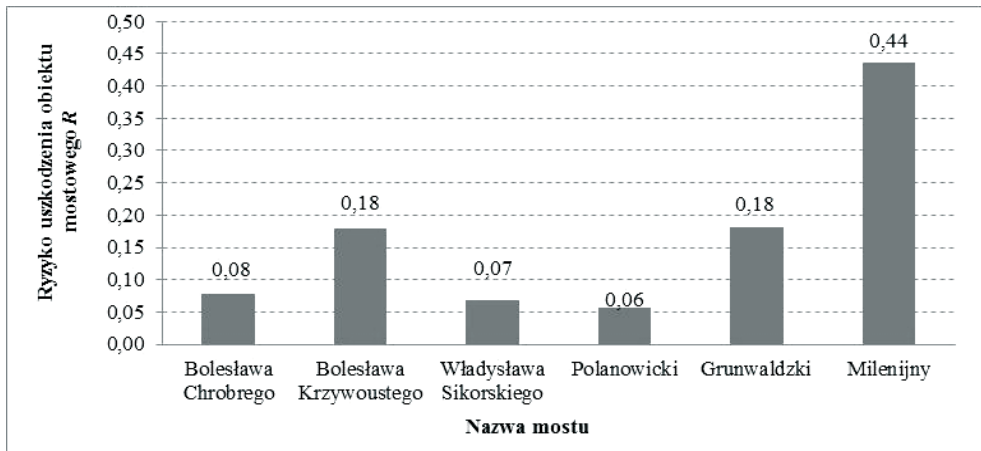
### 3.3. Ocena ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych

W kolumnie piątej tabeli 4 przedstawiono również wyniki obliczeń ryzyka uszkodzenia wybranych obiektów mostowych realizowanych według zależności (2–3).

Tabela 4. Wyniki obliczeń oceny ryzyka uszkodzenia wybranych obiektów mostowych [9], [11]

Wariant	Prawdopodobieństwo $p_i$	Ocena łączna $o_i$	Konsekwencja $c_i$	Ryzyko uszkodzenia obiektu mostowego R
W1	0,1476	29,7834	0,1001	0,0786
W2	0,1751	57,1178	0,1919	0,1789
W3	0,1349	28,1528	0,0947	0,0679
W4	0,1177	27,0017	0,0907	0,0568
W5	0,1704	59,7368	0,2007	0,1820
W6	0,2543	95,8060	0,3219	0,4357
Suma	1,00	297,5985	1,00	1,00

Analiza przedstawionych wyników wykazała, że największym ryzykiem uszkodzenia obarczony jest Most Milenijny (W6). Ryzyko uszkodzenia tego obiektu w aspekcie ataków terrorystycznych jest ponad dwukrotnie większe niż Mostu Grunwaldzkiego i Mostu Bolesława Krzywoustego. Natomiast ryzyko uszkodzenia pozostałych trzech obiektów jest znacznie mniejsze i obiekty te mogą zostać pominięte w dalszych analizach (rys. 1).

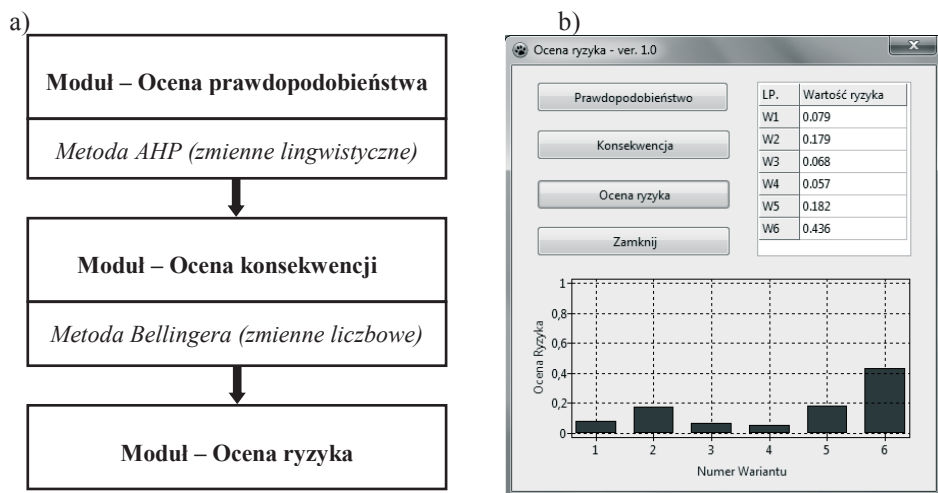


Rys. 1. Ryzyko uszkodzenia wybranych obiektów mostowych

## 4. Komputerowe wspomaganie oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych

Prowadzenie obliczeń przy użyciu metod optymalizacji wielokryterialnej jest pracochłonne, dlatego autorzy opracowali aplikację komputerową, która ułatwia ten proces.

Program komputerowy „Ocena ryzyka – ver. 1.0” opracowany został przy zastosowaniu oprogramowania Lazarus (Free Pascal) (rys. 2).



Rys. 2. Aplikacji do oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych: a) schemat blokowy, b) okno dialogowe aplikacji komputerowej

W skład aplikacji wchodzi również dwa niezależne programy takie jak „*Metoda Bellingera – ver. 1.0*” utworzony również w środowisku Lazarus oraz „*Metoda AHP – ver. 1.0*” opracowana w środowisku Borland Delphi. Na rys. 2a przedstawiono schemat blokowy opisywanej aplikacji komputerowej.

Pracę z programem rozpoczyna się od okna dialogowego zaprezentowanego na rys. 2b. Następnie dokonuje się obliczeń oceny prawdopodobieństwa  $p_i$  uszkodzenia obiektów mostowych używając opcji *Prawdopodobieństwo*. Uruchamia ona moduł „*Metoda AHP – ver. 1.0*”, w którego oknie dialogowym określa się preferencję poszczególnych kryteriów. Następnie tyle razy ile mamy wariantów rozwiązań (tzn. obiektów mostowych) pojawia się kolejne okno dialogowe umożliwiające ocenę danych obiektów mostowych w odniesieniu do konkretnego kryterium. Przy czym zgodnie z założeniami metody AHP porównań dokonujemy tylko parami.

Po zakończeniu obliczeń wraca się do pierwszego okna dialogowego (rys. 2b), gdzie używając opcji *Konsekwencja* uruchamia się moduł „*Metoda Bellingera – ver. 1.0*”, który umożliwia ocenę konsekwencji  $c_i$  uszkodzenia wybranych obiektów mostowych. Aby zakończyć proces obliczeń uruchamiamy moduł „*Ocena ryzyka – ver. 1.0*” przy użyciu opcji *Ocena ryzyka*. Otrzymane wyniki obliczeń zastają zaprezentowane wówczas w formie tabelarycznej i graficznej (rys. 2b).

## 5. Podsumowanie

Zaprezentowana procedura umożliwia ilościowe rozwiązanie problemu oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych. Do kwantyfikacji oceny ryzyka zastosowano metody AHP i Bellingera. Specyfika opisanej metody oceny ryzyka polega na uwzględnieniu różnorodności konstrukcji analizowanych obiektów komunikacyjnych.

Obiekty mostowe mają bardzo zróżnicowane konstrukcje, co determinuje potrzebę wyboru określonych kryteriów do ich oceny, a obiektywność prowadzonych analiz uzależniona jest od tych właśnie kryteriów.

Zaprezentowana problematyka oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych w aspekcie ataków terrorystycznych oparta na metodach optymalizacji wielokryterialnej, może zostać użyta w obszarze szeroko rozumianej inżynierii przedsięwzięcia budowlanych, szczególnie w aspekcie eksploatacji obiektów inżynierskich, a zwłaszcza ich bezpieczeństwa w systemie transportowym danego regionu lub państwa [12], [13], [14].

Zdaniem autorów ocena ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych powinna być brana pod uwagę już na etapie projektowania przedsięwzięcia inżynierskiego [15].



*Prezentowane wyniki badań, zrealizowane w ramach tematu „Metoda oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych w aspekcie potencjalnych ataków terrorystycznych”, zostały sfinansowane ze środków własnych Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki.*

## Literatura

1. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz.U. 2007 nr 89 poz. 590).
2. Pyza D., System transportowy i jego ukształtowanie w systemie logistycznym Polski. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 76, Transport, 2010, [online: 20.03.2012r.] [www.it.pw.edu.pl/prace-naukowe/z76/pyza.pdf](http://www.it.pw.edu.pl/prace-naukowe/z76/pyza.pdf).
3. Kogut A., [http://mfiles.pl/pl/index.php/Infrastruktura\\_transportowa](http://mfiles.pl/pl/index.php/Infrastruktura_transportowa), [online: 20.03.2012r.].
4. Grodzki R., Zarządzanie kryzysowe. Dobre praktyki. Wydawnictwo DIFIN S.A., Warszawa, 2012.
5. Skorupka D., Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa, 2007.
6. Saaty L.T., Vargas L., Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process. Boston, Kluwer Academic Publishing, 2001.
7. Ostręga A., Sposoby zagospodarowania wyrobisk i terenów po eksploatacji złóż surowców węglanowych na przykładzie Krzemionek Podgórskich w Krakowie. Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków, 2004.
8. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Mosty\\_Wroc%C5%82awia](http://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Mosty_Wroc%C5%82awia), [online: 06.04.2012r.].
9. Duchaczek A., Skorupka D., Evaluation of bridge damage probability in the result of terrorist attacks, Zdane do redakcji czasopisma Archives of Civil Engineering.
10. Górny P., Elementy analizy decyzyjnej. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa 2004.
11. Duchaczek A., Skorupka D., Ocena ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych. Zdane do redakcji Zeszytów Naukowych Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych we Wrocławiu.
12. O. Kapliński i inni, Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Wydawnictwo PAN KILiW IPPT. Warszawa, 2007.
13. Kasprowicz T., Inżynieria przedsięwzięć budowlanych. ITE Radom. Warszawa-Radom, 2002.
14. Sobotka A., Logistyka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2010.
15. Połoński M, Pruszyński K., Ryzyko projektowania przedsięwzięć inżynierskich. Wiadomości Projektanta Budownictwa, 2008, nr 1, s. 23-27.

## **Employing multi criteria optimisation methods for risk assessment of damage to bridge objects**

**Artur Duchaczek<sup>1</sup>, Dariusz Skorupka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Department of Systems Engineering, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, e-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl*

<sup>2</sup> *Department of Management, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, e-mail: dareks100@interia.eu*

**Abstract:** The article presents the possible employment of multiple criteria optimisation methods in the process of evaluating the risk of damage to engineering facilities as a result of terrorist attacks. The subject of the analyses covered selected bridge facilities in the area of Wrocław. The article presents the atypical application of two selected optimisation methods, i.e. the AHP method and the Bellinger's method. The benefit of the analyses presented is a possible scientific justification for the adopted hierarchy of decision variants.

Keywords: transport infrastructure, crisis management, risk assessment