

OCENA RYZYKA USZKODZENIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH

Artur DUCHACZEK*, Dariusz SKORUPKA*

* Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl
e-mail: d.skorupka@wso.wroc.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 09.03.2013 r. Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w czerwcu 2013 r.

W pracy przedstawiono koncepcję oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych w aspekcie ataków terrorystycznych, na przykładzie kilku wybranych mostów znajdujących się na terenie Wrocławia. Przyjmując założenie, że na danym terenie zniszczony zostanie tylko jeden most, do określenia wartości ryzyka uszkodzenia tych obiektów wykorzystano dwie wybrane metody optymalizacji wielokryterialnej (metodę Analitycznego Procesu Hierarchicznego i metodę Bellingera). Zaletą prowadzonych analiz jest fakt, że przyjętą hierarchię wariantów decyzyjnych można bezpośrednio wyjaśnić w sposób naukowy, a nie odwoływać się tylko do subiektywnej wiedzy i doświadczenia eksperta.

Słowa kluczowe: ocena ryzyka, mosty, infrastruktura transportowa, zarządzanie kryzysowe, optymalizacja, metoda Bellingera, metoda AHP (Analytic Hierarchy Process)

WSTĘP

Infrastruktura krytyczna obejmuje m.in. system transportowy [1], który jest odpowiedzialny za przemieszczanie ładunków pomiędzy stacjonarnymi elementami sieci i systemami logistycznymi, takimi jak m.in. zakłady produkcyjne, magazyny i punkty sprzedaży detalicznej [2]. Jednym z elementów systemu transportowego jest jego infrastruktura, którą tworzą drogi i obiekty mostowe [3]. Do obiektów mostowych zalicza się mosty, wiadukty, estakady, kładki i przepusty.

W ustawie [1] występuje pojęcie mapa ryzyka, definiowane jako mapa lub opis przedstawiający potencjalnie negatywne skutki oddziaływania zagrożenia na ludzi, środowisko, mienie i infrastrukturę techniczną. W związku z tym zakłada się, że opracowanie ilościowej metody oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych będzie miało użyteczny charakter. Wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu tej metody mogą być cenną informacją umieszczaną na mapach ryzyka. Wymiernym zaś wynikiem przeprowadzonych badań będzie opracowanie wytycznych służących do oceny ryzyka uszkodzeń obiektów mostowych na wybranym dowolnym obszarze kraju. Tak uzyskane dane pozwolą na opracowanie map ryzyka, zgodnie z założeniami ustawy [1].

R. Grocki w pracy [4] podaje, że ze względu na źródło powstania zagrożenia można podzielić na zagrożenia: *naturalne*, *techniczne* i *antropogeniczne*. Te ostatnie to zagrożenia militarne oraz terrorystyczne, które są przedmiotem rozważań w niniejszej pracy.

Z. Kamyk i J. Szelka [5] podają, że podatność danego obiektu mostowego na działania terrorystyczne można analizować z punktu widzenia wrażliwości danej konstrukcji na celowe działanie człowieka lub stopnia jego znaczenia dla prawidłowego funkcjonowania systemu transportowego na danym obszarze kraju. Pierwsze podejście, prezentowane m. in. przez amerykańskich mostowców (np. prace [6] i [7]), opiera się na znajomości technicznych właściwości elementów danej konstrukcji mostowej. Wiedza ta pozwala określić słabe punkty konstrukcji obiektu mostowego oraz sposoby jego ochrony przed ewentualnymi atakami terrorystycznymi. Drugie podejście polega na ocenie konsekwencji zniszczenia danego obiektu mostowego. To jednak podejście powinno być domeną przede wszystkim organów zarządzających systemem infrastruktury transportowej na danym obszarze [5].

Omawiany sposób działania wykorzystują niestety również w swej działalności grupy terrorystyczne. Zazwyczaj wyszukują one słabe punkty konstrukcyjne w obiektach mostowych, aby można było je łatwo i szybko zniszczyć. Z drugiej strony poszukują zawsze takich obiektów mostowych, których zniszczenie spowoduje największe zaburzenia w funkcjonowaniu istniejącej infrastruktury transportowej na danym obszarze kraju i będzie miało największy efekt medialny [5].

Niniejszy artykuł poświęcono ocenie ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych na wybranym terenie kraju na skutek zagrożenia potencjalnymi atakami terrorystycznymi.

1. ZASADA OKREŚLANIA RYZYKA USZKODZENIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH

Ryzyko R_i wystąpienia ataku terrorystycznego na i -ty obiekt mostowy na określonym obszarze kraju można określić, stosując wyrażenie (1) jako iloczyn prawdopodobieństwa p_i wystąpienia tego zdarzenia i konsekwencji c_i zniszczenia i -tego obiektu podzielony przez sumę tych iloczynów dla n analizowanych mostów:

$$R_i = \frac{p_i c_i}{r} \quad (1)$$

gdzie:

$$r = \sum_{i=1}^n (p_i c_i) \quad (2)$$

oraz przyjmując, że wartość prawdopodobieństwa p_i i konsekwencji zniszczenia c_i obiektu mostowego jest liczbą z przedziału $\langle 0; 1 \rangle$.

Jednocześnie zakładając, że suma prawdopodobieństwa p zniszczenia wszystkich rozważanych obiektów mostowych wynosi:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad (3)$$

a także suma konsekwencji ich zniszczenia c wynosi:

$$c = \sum_{i=1}^n c_i = 1, \quad (4)$$

to ryzyko R uszkodzenia n obiektów mostowych na analizowanym obszarze może być opisane w formie (5):

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = 1. \quad (5)$$

Oznacza to, że obiekt z największą wartością R_i jest obiektem potencjalnie najbardziej zagrożony atakiem terrorystycznym, gdyż jego znaczenie dla funkcjonowania danego systemu transportowego jest najważniejsze.

2. KRYTERIA UWZGLĘDNIANE PRZY OCENIE KONSEKWENCJI USZKODZENIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH

Obiektywność prowadzonych analiz uzależniona jest przede wszystkim od przyjętych kryteriów. Obiekty mostowe to specyficzne budowle inżynierskie, charakteryzujące się zróżnicowaną konstrukcją, stąd kryteria przyjmowane do obliczeń ryzyka ich uszkodzenia mogą być każdorazowo różne. Należy wziąć pod uwagę także fakt, że istotną sprawą jest przyjęcie optymalnej liczby kryteriów, ponieważ zbyt duża ich liczba znacznie komplikuje obliczenia, natomiast zbyt mała, podważa wiarygodność obliczeń.

W niniejszej pracy zaproponowano przyjęcie siedmiu kryteriów oceny konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych. Są to: długość przęsła, liczba pasów ruchu na obiekcie, liczba podpór pośrednich, wysokość położenia przęsła nad powierzchnią lustra wody, natężenie ruchu drogowego, możliwość wykonania alternatywnego przejazdu lub szybkiego usunięcia uszkodzonego przęsła.

Pierwszym kryterium (K1) jest długość przęsła wyrażana w metrach. Założono, że im dłuższe przęsło tym większe konsekwencje jego zniszczenia, gdyż odbudowa analizowanego obiektu związana jest z czasem i z wysokimi kosztami.

Liczba pasów ruchu na moście stanowi kryterium drugie (K2). Przyjęto, że liczba pasów ruchu na obiekcie wpływa bezpośrednio na konsekwencję jego zniszczenia. Związane jest to z faktem, że w przypadku mostów z jezdnią o jednym pasie ruchu, możliwość ich tymczasowej odbudowy jest znacznie łatwiejsza i szybsza niż w przypadku przęsła z kilkoma pasami ruchu drogowego.

Następnie analizowano liczbę występujących podpór pośrednich (K3). W tym przypadku istnieje także niebezpieczeństwo ich zniszczenia, co pociąga za sobą dodatkowe nakłady czasu pracy i kosztów związanych z ewentualną ich odbudową.

Wysokość położenia przęsła nad powierzchnią lustra wody lub terenu (wyrażana w metrach) stanowi kryterium czwarte (K4). Założono, że w przypadku mostów niskowodnych istnieje więcej środków technicznych umożliwiających odbudowę ich przęsła niż przy tzw. mostach wysokowodnych. Przyjęto zatem, że wysokość położenia przęsła nad powierzchnią lustra wody jest wielkością wprost proporcjonalną do konsekwencji jego zniszczenia.

Jednym z najważniejszych kryteriów funkcjonalnych oceny ryzyka jest natężenie ruchu drogowego (K5), wyrażane liczbą pojazdów pokonujących przęsło w czasie doby, przy czym założono, że wraz ze wzrostem natężenia ruchu na obiekcie, konsekwencje jego zniszczenia są bardziej uciążliwe.

Występowanie alternatywnego objazdu zniszczonego mostu, wyrażane w procentach, stanowiło szóste kryterium (K6). Zaproponowano, aby w przypadku braku alternatywnego przejazdu przyjąć 0%, zaś gdy występuje możliwość przejazdu spełniająca idealnie warunki techniczne jak dla obiektu pierwotnego przyjąć wówczas 100%. Uzasadniono to faktem, że możliwość wykonania alternatywnego objazdu zniszczonego mostu, zmniejsza zdecydowanie konsekwencje zniszczenia pierwotnego obiektu mostowego.

Równie istotnym kryterium wydaje się być możliwość szybkiego usunięcia uszkodzonego przęsła wyrażana w procentach (K7). Zaproponowano wartość bliską 100% w przypadku prostych (np. leżajowych) przęseł drewnianych, 50% dla przęseł mostów stalowych o nieskomplikowanej konstrukcji (np. mostów belkowych lub niewysokich kratownic) oraz 0% w przypadku masywnych obiektów betonowych lub żelbetonowych. Przyjmuje się, że materiał budowlany, z jakiego wykonano przęsło wpływa bezpośrednio na łatwość usunięcia przęsła z osi podłużnej mostu, a przez to na czas udrożnienia miejsca budowy nowego przęsła.

W niniejszej pracy zaproponowano przyjęcie następujących współczynników wagowych dla poszczególnych kryteriów:

- długość przęsła (K1) – 0,15;
- liczba pasów ruchu na moście (K2) – 0,15;
- liczba podpór pośrednich (K3) – 0,10;
- wysokość położenia przęsła nad powierzchnią lustra wody (K4) – 0,10;
- natężenie ruchu drogowego (K5) – 0,20;
- występowanie alternatywnego przejazdu (K6) – 0,20;
- możliwość szybkiego usunięcia uszkodzonego przęsła (K7) – 0,10.

3. PRZYKŁAD OCENY RYZYKA USZKODZENIA OBIEKTU MOSTOWEGO ZE WZGLĘDU NA MOŻLIWOŚĆ ATAKU TERRORYSTYCZNEGO

W niniejszej pracy do oceny konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych zastosowano metodę Bellingera. Metoda ta swoją nazwę wzięła od nazwiska jej twórcy Bernharda Bellingera [8].

M. Wolny w pracy [9] podaje, że metoda Bellingera polega na doprowadzeniu ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych względem wszystkich przyjętych kryteriów do porównywalności, a następnie ich agregacji. Z tego względu należy dla każdego rozważanego kryterium ustalić stan najbardziej i najmniej pożądany. Różnica między stanami wyraża tak zwaną *drogę*, którą należy przebyć od jednego stanu do drugiego. Dlatego dla każdego z wariantów określa się ocenę względem każdego z przyjętych kryteriów jako ułamek tej *drogi*. Wariantem suboptymalnym jest ten wariant decyzyjny, dla którego sumaryczna *droga* jest najdłuższa, tzn. otrzymał on najwyższą ocenę łączną [9], [10].

P. Górny w pracy [8] przedstawił dokładny algorytm obowiązujący w metodzie Bellingera, ujmując go w ośmiu krokach, co zostało wykorzystane w niniejszym artykule do oceny konsekwencji uszkodzenia wybranych obiektów mostowych. Przedstawiony proces oceny wariantów decyzyjnych przy zastosowaniu metody Bellingera można opisać również zależnościami zaproponowanymi przez autorów w pracy [10].

Głównym celem pracy było praktyczne zaprezentowanie proponowanej metody określania ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych. W niniejszym opracowaniu, podobnie jak w pracy [11], przeanalizowano sześć wybranych mostów położonych w okolicy Wrocławia (rys. 1), przy czym dane zawarte w tabeli 1 [12] dotyczące natężenia ruchu (K5) oraz wysokości położenia przęsła nad powierzchnią lustra wody (K4) zostały przyjęte tylko orientacyjnie.



Rys. 1. Widok na wybrane mosty: a) Bolesława Chrobrego (Swojczycki), b) Bolesława Krzywoustego, c) Władysława Sikorskiego, d) Polanowicki, e) Grunwaldzki, f) Milenijny

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1. Dane analizowanych mostów [12]

Wyszczególnienie kryterium		Maksymalna długość prześła	Liczba pasów ruchu na moście	Liczba podpór pośrednich	Wysokość położenia prześła nad powierzchnią lustra wody	Nateżenie ruchu drogowego	Możliwość występowania alternatywnego przejazdu	Możliwość szybkiego usunięcia uszkodzonego prześła
Nazwa mostu (Oznaczenie obiektu)								
		K1	K2	K3	K4*	K5*	K6	K7
Bolesława Chrobrego	W1	48	2	3	13	2000	60	25
Bolesława Krzywoustego	W2	21	4	2	3	30000	10	25
Władysława Sikorskiego	W3	46,5	2	1	11	10000	90	50
Polanowicki	W4	30	2	0	2	3000	30	50
Grunwaldzki	W5	112,5	4	0	9	30000	90	50
Milenijny	W6	153	4	2	16	40000	40	50

* Przyjęto wartości orientacyjne

Źródło: Opracowanie własne na podstawie pracy [12]

Analiza zagrożenia została przeprowadzona na podstawie przyjętych siedmiu kryteriów K1–K7 opisanych również w tabeli 1. Jednocześnie w tabeli 2 przedstawiono pożądane kierunki zmian liczbowych poszczególnych kryteriów (tzn. zwiększające wartość konsekwencji c_i).

Tabela 2. Kierunki zmian wartości liczbowych dla poszczególnych kryteriów

Wartość kryterium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Pożądana	112,5	4	3	16	40000	10	50
Niepożądana	21	2	0	2	2000	90	25

Źródło: Opracowanie własne

Przyjęte wagi dla poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 3, natomiast w tabeli 4 przedstawiono zestawienie wartości kryteriów dla porównywanych obiektów mostowych opisanych w tabeli 1.

Tabela 3. Współczynniki wagowe dla poszczególnych kryteriów

Wyszczególnienie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Wielkość wagi	0,15	0,15	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10

Źródło: Opracowanie własne

Następnie w tabeli 5 przedstawiono wartości liczbowe kryteriów dla poszczególnych obiektów (tabela 4) jako procent *drogi* od stanu najmniej do stanu najbardziej pożądanego. Aby uzyskać dane zaprezentowane w tabeli 5, należało w pierwszej kolejności ustalić rozmiar *calej drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego dla dane-

go kryterium. Następnie obliczono *rzeczywiście przebytą drogę* w ten sposób, że od rzeczywistej wartości kryterium dla danego obiektu odjęto jego wartość najmniej pożądaną. W końcowej fazie obliczeń określono jaki procent *całej drogi* stanowi obliczona wcześniej *rzeczywiście przebyta droga* [8].

W tabeli 6 przedstawiono z kolei wartości liczbowe kryteriów dla poszczególnych obiektów jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego (tabela 5) ale po uwzględnieniu wag podanych w tabeli 3. Natomiast w tabeli 7 zaprezentowano oceny łączne poszczególnych obiektów uzyskane w wyniku obliczeń dla przyjętych wartości kryteriów.

Tabela 4. Wartości kryteriów dla poszczególnych obiektów (na podstawie tabeli 1)

Kryterium / Obiekt	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
W1	48	2	3	13	2000	60	25
W2	21	4	2	3	30000	10	25
W3	46,5	2	1	11	10000	90	50
W4	30	2	0	2	3000	30	50
W5	112,5	4	0	9	30000	90	50
W6	153	4	2	16	40000	40	50

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5. Wartości kryteriów dla poszczególnych obiektów (tabela 4) jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego

Kryterium / Obiekt	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
W1	29,5	0,0	100,0	78,6	0,0	37,5	0,0
W2	0,0	100,0	66,7	7,1	73,7	100,0	0,0
W3	27,9	0,0	33,3	64,3	21,1	0,0	100,0
W4	9,8	0,0	0,0	0,0	2,6	75,0	100,0
W5	100,0	100,0	0,0	50,0	73,7	0,0	100,0
W6	144,3	100,0	66,7	100,0	100,0	62,5	100,0

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6. Wartości kryteriów dla poszczególnych obiektów (tabela 4) jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego z uwzględnieniem wag podanych w tabeli 3.

Kryterium / Obiekt	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
W1	4,4	0,0	10,0	7,9	0,0	7,5	0,0
W2	0,0	15,0	6,7	0,7	14,7	20,0	0,0
W3	4,2	0,0	3,3	6,4	4,2	0,0	10,0
W4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,5	15,0	10,0
W5	15,0	15,0	0,0	5,0	14,7	0,0	10,0
W6	21,6	15,0	6,7	10,0	20,0	12,5	10,0

Źródło: Opracowanie własne

Z przeprowadzonej analizy wynika, że z punktu widzenia preferencji decydenta, o czym rozstrzygają wartości wag (tabela 3) oraz przyjętych kryteriów, najwyższą łączną ocenę otrzymał obiekt W6, tj. most Milenijny (tabela 7), co zgadza się z odczuciami własnymi autorów pracy.

Biorąc pod uwagę założenie, że konsekwencja uszkodzenia c_i poszczególnych mostów jest wielkością z przedziału $\langle 0; 1 \rangle$, należało zatem otrzymane wartości oceny łącznej o_i (przedstawione w drugiej kolumnie tabeli 7) w odpowiedni sposób zmodyfikować. Określenia wielkości konsekwencji c_i dla poszczególnych mostów dokonano, stosując wyrażenie w formie (10):

$$c_i = \frac{o_i}{O_w}, \quad (10)$$

gdzie:

O_w jest sumą wszystkich ocen łącznych o_i , obliczaną jako:

$$O_w = \sum_{i=1}^n o_i. \quad (11)$$

Analizując dane zaprezentowane w tabeli 7, stwierdzono, że po przeprowadzonych obliczeniach most Milenijny (W6) nadal utrzymał największą wartość konsekwencji, a mianowicie $C_6 = 0,322$. Oznacza to, że przy założonych warunkach brzegowych uszkodzenie tego mostu powodowałoby największe konsekwencje dla mieszkańców analizowanego obszaru kraju.

Tabela 7. Oceny łączne uzyskane z obliczeń

Obiekt	Ocena łączna	
	oryginalna – o_i	zmodyfikowana, równa konsekwencji – c_i
1	2	3
W1	29,78	0,100
W2	57,12	0,192
W3	28,15	0,095
W4	27,00	0,091
W5	59,74	0,201
W6	95,81	0,322

Źródło: Opracowanie własne

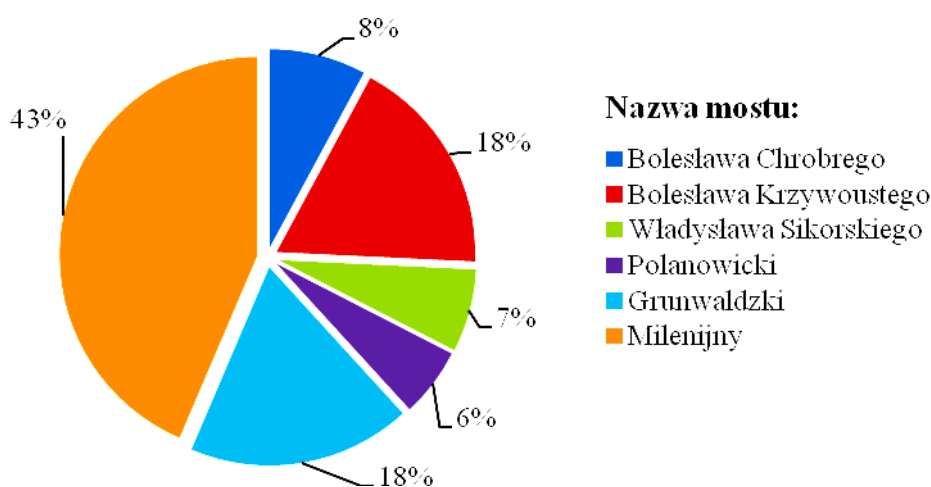
Tabela 8. Wyniki obliczeń oceny ryzyka uszkodzenia wybranych obiektów mostowych

Obiekt (Most)	Konsekwencja c_i	Prawdopodobieństwo p_i	Iloczyn $c_i \times p_i$	Ryzyko uszkodzenia obiektu mostowego R_i
1	2	3	4	5
W1	0,1001	0,1476	0,0148	0,0786
W2	0,1919	0,1751	0,0336	0,1789
W3	0,0947	0,1349	0,0128	0,0679
W4	0,0907	0,1177	0,0107	0,0568
W5	0,2007	0,1704	0,0342	0,1820
W6	0,3219	0,2543	0,0819	0,4357
Suma	1,0000	1,0000	0,18789	1,0000

Źródło: Opracowanie własne oraz [11]

Aby dokonać obliczenia ryzyka zagrożenia atakiem wybranych obiektów mostowych, wykorzystano również dane zaprezentowane w pracy własnej autorów [11], dotyczące oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia tych obiektów. W kolumnie 3 w tabeli 8 przedstawiono wyniki uzyskane w czasie obliczeń przeprowadzonych w pracy [11] przy wykorzystaniu metody AHP. W tabeli tej przedstawiono również wyniki obliczeń ryzyka uszkodzenia wybranych obiektów mostowych (kolumna 5) realizowanych według przedstawionych zależności (1) i (2).

Analizując wyniki zaprezentowane w tabeli 8 stwierdzono, że największym ryzykiem uszkodzenia obciążony jest obiekt szósty (W6), tj. most Milenijny. Przeprowadzone analizy wykazały, że obiekt ten jest ponad dwuipółkrotnie bardziej narażony na ataki terrorystyczne niż obiekty W2 i W5, natomiast ryzyko uszkodzenia pozostałych obiektów (W1, W3 i W4) jest już nawet kilkukrotnie niższe (rys. 2).



Rys. 2. Ryzyko uszkodzenia wybranych obiektów mostowych

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody AHP do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia ataku terrorystycznego oraz metody Bellingera do oceny konsekwencji uszkodzenia obiektów mostowych dość znacznie ułatwia wstępną ocenę ryzyka zniszczenia obiektów infrastruktury transportowej oraz opracowanie mapy ryzyka. Zaprezentowana w pracy metodyka oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych może również zostać wykorzystana do budowy systemów wspomaganie decyzji dotyczących opisanych zagrożeń.

Przedstawiony w pracy przykład pokazuje możliwość zastosowania metod optymalizacji wielokryterialnej do rozwiązania przedstawionego problemu. Dokładność, a zatem obiektywność, prowadzonych analiz uzależniona jest od liczby i jakości przyjętych kryteriów, co w dużym stopniu zależy od wiedzy osoby prowadzącej takie analizy. Obiekty mostowe mają bardzo zróżnicowane konstrukcje (praktycznie niepowtarzalne) przez co przyjęcie wszystkich kryteriów uwzględniających ten fakt jest praktycznie niewykonalne. Nie ulega jednak wątpliwości, jak to podano wcześniej, że zbyt duża liczba kryteriów może zdecydowanie utrudniać prowadzenie przedmiotowych ana-

liz i ograniczyć możliwość ich prowadzenia do tylko wąskiej grupy ekspertów, do których dostęp, szczególnie w sytuacjach kryzysowych, może być poważnie ograniczony.

Autorzy zdają sobie sprawę, że przedstawione przez nich w pracy zagadnienie nie wyczerpuje w całości problematyki oceny ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych w aspekcie potencjalnych ataków terrorystycznych, ale niewątpliwie jest kontynuacją i interesującym rozszerzeniem tematyki poruszanej w ośrodkach naukowych zarówno w kraju [5], jak i za granicą [6].

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 we Wrocławiu.

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]. [dostęp: 20.03.2012r.]. Dostępny w Internecie: www.it.pw.edu.pl/prace-naukowe/z76/pyza.pdf.
3. Kogut A., *Infrastruktura transportowa*, [online]. [dostęp: 20.03.2012r.]. Dostępny w Internecie: http://mfiles.pl/pl/index.php/Infrastruktura_transportowa
4. Grocki R., *Zarządzanie kryzysowe. Dobre praktyki*, Wydawnictwo DIFIN S.A., Warszawa 2012.
5. Kamyk Z., Szelka J., *Wrażliwość obiektów mostowych na ataki terrorystyczne*, [w:] „Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej”, nr 4/2008, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008, s. 83–93.
6. Ray J.C., *Risk-Based Prioritization of Terrorist Threat Mitigation Measures on Bridges*, [in:] „Journal of Bridge Engineering”, Vol. 12, Issue 2, March/April 2007, p. 140–146.
7. *Recommendations for Bridge and Tunnel Security*, Federal Highway Administration (FHWA). FHWA-IF-03-036, Sept. 2003.
8. Górny P., *Elementy analizy decyzyjnej*. Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2004.
9. Wolny M., *Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Wieloatrybutowe wspomaganie organizacji przestrzennej komórek produkcyjnych z zastosowaniem teorii gier*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
10. Skorupka D., Duchaczek A., Szleszyński A., *Optymalizacja doboru środków transportowych w logistyce magazynowej materiałów budowlanych*, [w:] „Zeszyty Naukowe WSOWL”, nr 4/2012, Wrocław 2012, s. 137-145.
11. Duchaczek A., Skorupka D.: *Evaluation of Probability of Bridge Damage as a Result of Terrorist Attack*, [in:] „Archives of Civil Engineering”, Vol. LIX, Issue 2, p. 215–227, ISSN (Print) 1230-2945, DOI: 10.2478/ace-2013-0011, July 2013.

12. Wikipedia: *Mosty we Wrocławiu*, [online]. [dostęp: 06.08.2013 r]. Dostępny w Internecie: http://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Mosty_we_Wroc%C5%82awiu.

BRIDGE DAMAGE RISK ASSESSMENT

Summary

The paper presents an approach for assessing the damage risk of transport infrastructure in the context of terrorist attacks, as presented on the example of several bridges located in Wrocław. Assuming that only one bridge will be destroyed in a given area, two methods of multicriteria optimization, i.e. the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Bellinger method, have been selected. Both of them have been used to determine the damage risk to those facilities. The advantage of the selected analyses lies in that the assumed hierarchy of decision-making variants can be explained in a scientific manner rather than through relying on the knowledge, experience and intuition of an expert only.

Keywords: risk assessment, bridges, transport infrastructure, crisis management, optimisation, Bellinger method, AHP method (Analytic Hierarchy Process)

NOTY BIOGRAFICZNE

mjr dr inż. Artur DUCHACZEK – jest pracownikiem dydaktyczno-naukowym Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu. Interesuje się problematyką związaną z szeroko rozumianą inżynierią wojskową, optymalizacją przedsięwzięć logistycznych, a także wytrzymałością zmęczeniową konstrukcji stalowych, w tym propagacją pęknięć zmęczeniowych w mostach wojskowych.

plk dr hab. inż. Dariusz SKORUPKA, prof. WSOWL – jest profesorem uczelnianym WSOWL i należy do Sekcji Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych Polskiej Akademii Nauk. Opublikował kilkadziesiąt artykułów oraz kilka monografii dotyczących problematyki identyfikacji i oceny ryzyka w projektach inżynierskich. Koncentrował się w nich przede wszystkim na kwestiach związanych z kwantyfikacją i alokacją czynników ryzyka w modelach sieciowych. Do ostatnich należy monografia z 2012 roku „Method of Construction Projects Risk Assessment”, w której, na zlecenie niemieckiego wydawnictwa Lambert Academic Publishing, opisał własną metodę identyfikacji i kwantyfikacji ryzyka. Monografia ukazała się drukiem w Niemczech, Wielkiej Brytanii, USA i jest dystrybuowana w dwudziestu różnych krajach na świecie. Inne prace profesora Dariusza Skorupki są publikowane i cytowane w kraju (WSOWL, Politechnika Wrocławska, Politechnika Poznańska, Politechnika Krakowska, Politechnika Gdańska i inne) i na świecie (Stany Zjednoczone, Afryka Południowa, Australia, Hong-Kong oraz kraje europejskie). Wielokrotnie nagradzany za działalność naukową, w tym przez Ministra Infrastruktury i Transportu Rzeczypospolitej Polskiej. Wyniki prowadzonych badań przedstawiał m.in. na konferencjach naukowych w Orlando i Waszyngtonie.