

Artur DUCHACZEK<sup>1</sup>  
Dariusz SKORUPKA<sup>2</sup>

## UWZGLĘDNIENIE PREFERENCJI DECYDENTA W PROCESIE OCENY RYZYKA EKSPLOATACJI MOSTÓW WOJSKOWYCH

Bardzo często ocena ryzyka realizacji i eksploatacji obiektów budowlanych z powodów finansowych lub też braku odpowiednich narzędzi badawczych w praktyce jest realizowana tylko przez nieliczne grono inżynierów. Identyfikacja ryzyka eksploatacji obiektów mostowych polega przede wszystkim na specyfikacji i hierarchizacji potencjalnych zagrożeń, które mogą utrudnić lub nawet uniemożliwić przemieszczanie środków transportowych. Pozwala ona zatem na uniknięcie lub zmniejszenie liczby problemów w czasie realizacji przedsięwzięć budowlanych. W pracy przedstawiono jedną ze znanych metod analizy ryzyka eksploatacyjnego obiektów mostowych. W nawiązaniu do niej zaprezentowano prostą autorską metodę doboru wartości liczbowych współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka. Współczynniki te umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decydenta. Zastosowanie przedstawionej w pracy metody powoduje ilościowe uwzględnienie rzeczywistych preferencji decydenta w oparciu o prostą metodę naukową, a nie tylko samą intuicję decydenta.

**Słowa kluczowe:** eksploatacja obiektów, analiza ryzyka, preferencjedecydenta, mosty wojskowe

### 1. Wstęp

Analiza ryzyka dotyczy całego procesu inwestycyjnego, w tym także etapu eksploatacji (użytkowania i obsługi) obiektów budowlanych. Zakres analizy ryzyka eksploatacji obiektów mostowych jest proporcjonalny do stopnia ich złożoności. Duża część inżynierów uznaje konieczność takiej analizy, jednak ze względów finansowych lub brak odpowiednich metod i narzędzi badawczych jest ona realizowana tylko przez niewielką część z nich [6].

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Artur Duchaczek, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, ul. Czajkowskiego 109, 51-109 Wrocław, 261-658-525, aduchaczek@poczta.wp.pl

<sup>2</sup> Dariusz Skorupka, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, ul. Czajkowskiego 109, 51-109 Wrocław, 261-658-222, d.skorupka@wso.wroc.pl

Mosty wojskowe nazywane często mostami tymczasowymi, z założenia są konstrukcjami przystosowanymi do wielokrotnego i szybkiego montażu oraz demontażu. Używa się ich także podczas remontów mostów stałych jako tzw. mosty objazdowe. Identyfikacja ryzyka eksploatacji wojskowych obiektów komunikacyjnych polega na specyfikacji i hierarchizacji potencjalnych zagrożeń, które mogą uniemożliwić przemieszczanie wojsk własnych. Z całą pewnością prawidłowy opis ilościowy czynników ryzyka wpływa w znacznym stopniu na efektywność tej oceny [6].

## 2. Ryzyko eksploatacji mostów tymczasowych (wojskowych)

Podczas eksploatacji mostów wojskowych występują dwie zasadnicze grupy zagrożeń. Do pierwszej z nich zaliczamy zagrożenia, na które może mieć w znacznym stopniu wpływ projektant. Uwzględnić należy tutaj m. in. przeciążenie głównych elementów konstrukcyjnych mostu, zniszczenie lub uszkodzenie zmęczeniowe poszczególnych elementów konstrukcji, wystąpienie nagłego hamowania ciężkich pojazdów oraz występowanie zatorów lodowych zagrażających podporom. Do grupy drugiej zaliczamy czynniki ryzyka, których praktycznie nie można uwzględnić w fazie projektowania. Ta grupa zagrożeń jest oczywiście zdecydowanie trudniejsza do jednoznacznej identyfikacji. Można tu wyszczególnić np. atak terrorystyczny w postaci eksplozji materiału wybuchowego [6].

W pracy [7] założono, że ryzyko  $R$  eksploatacji obiektu mostowego obliczamy na podstawie zależności:

$$R = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i R_i, \quad (1)$$

gdzie  $R_i$  to ryzyko składowej wpływającej na całkowitą wartość ryzyka  $R$  eksploatacji analizowanego obiektu mostowego, określane jako wartość wybranego czynnika ryzyka, a obliczane jako iloczyn prawdopodobieństwa  $p_i$  wystąpienia tego czynnika i jego konsekwencji  $c_i$ ,  $n$  jest liczbą rozpatrywanych czynników, natomiast  $\gamma_i$  to współczynnik ważności (waga) z jaką dany czynnik ryzyka  $R_i$  wpływa na całkowitą wartość ryzyka  $R$ .

Współczynniki  $\gamma_i$  umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decydenta w procesie wyboru optymalnego wariantu decyzyjnego. Poszczególne czynniki ryzyka  $R_i$  uwzględniane podczas obliczania wartości liczbowych ryzyka  $R$  eksploatacji wybranych przedsięwzięć budowlanych, nie muszą być równorzędne (równoważne). Ich hierarchia nie może być również z góry ustalona w danym algorytmie, ponieważ uwzględnia indywidualne oczekiwania (preferencje) danego decydenta [1]. Zatem wartości współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka  $R_i$  stanowią newralgiczny element w procesie określania wartości liczbowych ryzyka  $R$  eksploatacji poszczególnych przedsięwzięć budowlanych. Z tego względu sposób ich określania powinien być w sposób przejrzysty określony i uwzględniony w procedurze obliczeniowej.

Wartość wagi  $\gamma_i$  z jaką dany czynnik ryzyka  $R_i$  wpływa na całkowitą jego wartość  $R$  można przyjmować intuicyjnie, biorąc pod uwagę doświadczenia danego zespołu. W pracy [7] autorzy zaprezentowali możliwość wykorzystania do tego celu metody AHP (The Analytic Hierarchy Process) [5]. Wykorzystanie jednak tej metody jest dość skomplikowane i pracochłonne. W pracy [3] zaprezentowano również autorski sposób określania wartości współczynników ważności przy wykorzystaniu jednej ze znanych metod optymalizacji wielokryterialnej, a mianowicie metody DEMATEL [2]. Ten sposób okazał się również dość nieprzyjazny dla ewentualnego decydenta, gdyż wymagał każdorazowo obliczania macierzy odwrotnych, co bez użycia komputera jest mimo wszystko dość pracochłonne.

Uwzględniając powyższy fakt, autorzy w niniejszej pracy zaprezentowali własną prostą metodę doboru wartości liczbowych współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka w odniesieniu do ryzyka eksploatacji wojskowych obiektów mostowych.

### **3. Założenia proponowanej metody wykorzystanej do ustalania współczynników ważności poszczególnych czynników ryzyka**

Istotę znacznej grupy wielokryterialnych metod porównawczych stanowi teoria grafów, a w szczególności grafy o ukierunkowanej postaci umożliwiające określenie wzajemnych zależności między porównywanymi obiektami [4]. Teoria ta została wykorzystana również w zaproponowanej przez autorów metodzie określania wartości współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka.

Analizę rozpoczynamy od utworzenia macierzy kwadratowej  $A$  zwanej macierzą bezpośredniego wpływu czynników ryzyka. Poszczególne wiersze tej macierzy są dedykowane czynnikom ryzyka występującym w porównaniach jako pierwsze, natomiast kolumny dedykowane są czynnikom występującym w porównaniach jako drugie.

Wpływ poszczególnych czynników ryzyka na sąsiednie czynniki realizowany jest poprzez przydział odpowiednich ocen liczbowych, przy czym przyjęta skala ocen zależy każdorazowo od rozpatrywanego przypadku obliczeniowego. Przyjęto, że ocena 0 oznacza równowagę czynników ryzyka. Zatem dla tożsamy relacji poszczególnych czynników ryzyka dany wyraz macierzy  $A$  przyjmuje wartość zero. Przewyższenie jednego czynnika ryzyka nad drugim wyrażane jest liczbami dodatnimi, przy czym im wyższa ocena tym większe przewyższenie.

Jeżeli w analizowanym przykładzie mamy  $n$  poziomów hierarchii czynników ryzyka to maksymalna wartość przewyższenia wynosi  $(n-1)$ . Dla przykładu zaprezentowanego na rys. 1a istnieją 4 poziomy hierarchii czynników ryzyka, stąd maksymalna wartość przewyższenia czynnika  $R_2$  na  $R_4$  powinna wynosić 3. Istnieje również możliwość wprowadzania poziomów w omawianej hierarchii nie zawierających żadnego czynnika ryzyka. Takie „puste” poziomy w hierarchii ważności czynników ryzyka umożliwiają nawet kilkukrotne zwiększenie przewyższenia jednego czynnika nad drugim.

Obniżone znaczenia danego czynnika ryzyka w stosunku do innego czynnika wyrażane jest natomiast poprzez liczby ujemne. Z tego też względu macierz bezpośredniego wpływu jest macierzą w której obowiązują następująca zależność dla poszczególnych jej wyrazów:

$$a_{ij} = -a_{ji}. \quad (2)$$

Bardzo istotnym elementem omawianego algorytmu jest kontrola wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu, która realizowana jest trzy etapowo.

Obliczenia rozpoczynamy od uzupełnienia macierzy bezpośredniego wpływu ocenami określającymi przewyższenie poszczególnych czynników (zawsze oceny dodatnie). Następnie należy obliczyć sumy poszczególnych wierszy  $w_i$  macierzy bezpośredniego wpływu oraz sumy poszczególnych kolumn  $k_i$  tejże macierzy.

Etap I oceny prawidłowości wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu rozpoczynamy od sprawdzenia czy uzyskana hierarchia sum poszczególnych wierszy  $w_i$  macierzy bezpośredniego wpływu jest zgodna z przyjętą hierarchią czynników ryzyka. Następnie należy sprawdzić czy hierarchia sum poszczególnych wierszy  $w_i$  macierzy bezpośredniego wpływu jest odwrotna do hierarchii sum poszczególnych kolumn  $k_i$  tejże macierzy. Jeżeli tak jest, to etap I kontroli uznajemy za zaliczony pozytywnie.

Następnie macierz bezpośredniego wpływu uzupełniamy ocenami ujemnymi odpowiadającymi obniżeniu znaczenia poszczególnych czynników ryzyka, obliczając ponownie sumy wierszy  $w_i$  i kolumn  $k_i$  macierzy bezpośredniego wpływu.

Etap II pozytywnej oceny prawidłowości wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu sprowadza się do spełnienia zależności:

$$w_i = -k_i. \quad (3)$$

Wartość sum poszczególnych wierszy macierzy bezpośredniego wpływu  $w_i$  określa ogólny charakter czynnika ryzyka, tzn. jeżeli jej wartość jest większa od zera wówczas możemy przyjąć, że dany czynnik dominuje nad pozostałymi czynnikami ryzyka, jeżeli suma ta jest ujemna wówczas został on zdominowany przez te czynniki [4].

W takiej formie wartości sumy wierszy  $w_i$  nie mogą być bezpośrednio wykorzystane jako współczynniki ważności  $\gamma_i$  (tzw. wagi) poszczególnych czynników ryzyka. Przyjęto, że powinny one być liczbami z przedziału od 0 do 1, a jednocześnie ich suma powinna być równa jedności. Z tego względu zaproponowano przeliczenie tych wielkości według zależności [3]:

$$\gamma_i = \frac{w_i - 2w_{\min}}{\sum_{i=1}^n (w_i - 2w_{\min})}, \quad (4)$$

gdzie  $w_{\min}$  jest najmniejszą wartością wszystkich wyliczonych sum wierszy  $w_i$  z macierzy  $A$ .

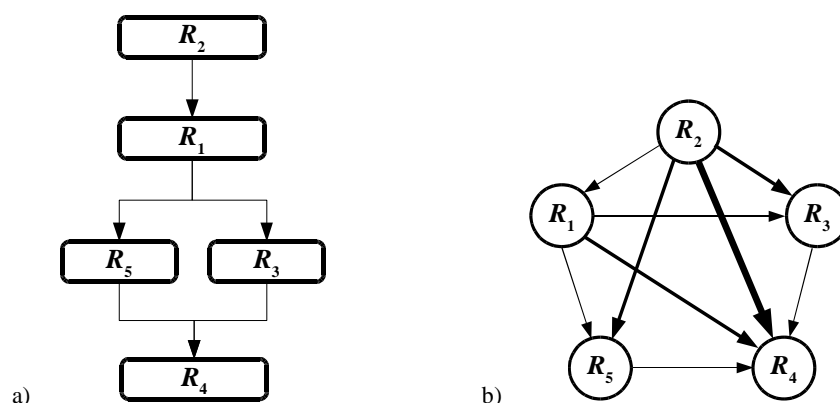
Etap III pozytywnej oceny prawidłowości wprowadzonych danych do macierzy bezpośredniego wpływu (a jednocześnie przeprowadzonych obliczeń) obejmuje sprawdzenie czy różnica pomiędzy wartościami współczynników ważności  $\gamma_i$  na poszczególnych poziomach hierarchii jest taka sama.

#### 4. Przykład zastosowania prezentowanej metody określania liczbowych wartości współczynników ważności

Sposób obliczania współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka  $R_i$  zaprezentowano w odniesieniu do ryzyka  $R$  eksploatacji wojskowych obiektów mostowych. W analizach uwzględniono pięć czynników ryzyka, takich jak wystąpienie zatorów lodowych narażających obiekt mostowy na uszkodzenie podpór ( $R_1$ ), przeciążenie głównych elementów konstrukcyjnych ( $R_2$ ), wystąpienie ataków terrorystycznych w obrębie obiektu mostowego ( $R_3$ ), zmęczenie materiału w odniesieniu do głównych elementów konstrukcyjnych ( $R_4$ ) oraz katastrofę środka transportowego na analizowanym obiekcie mostowym ( $R_5$ ).

Na rys. 1a zaprezentowano przyjętą hierarchię rozpatrywanych czynników ryzyka ( $R_1$ - $R_5$ ) przedstawiającą aktualne preferencje decydena. Relacjom między poszczególnymi czynnikami ryzyka zostały przypisane oceny zaprezentowane w macierzy bezpośredniego wpływu  $A$  (tabela 1 – etap I) oraz w formie graficznej na rys. 1b, gdzie grubość łuku oznacza wartość przewyższenia jednego czynnika nad drugim.

W macierz  $A$  w pierwszej kolejności uzupełniono tylko relacje przewyższenia zaprezentowane na rys. 1a, obliczając jednocześnie sumy poszczególnych wierszy macierzy bezpośredniego wpływu  $w_i$  oraz sumy kolumn  $k_i$  tejże macierzy (tabela 1 – etap I).



Rys. 1. Graficzne przedstawienie: a) przyjętej hierarchii czynników ryzyka, b) relacji między nimi  
Fig. 1. Graphical representation of: a) the accepted hierarchy of risk factors, b) relationships between them

Tabela 1. Wartości wyrazów macierzy bezpośredniego wpływu – etap I i II

Table 1. The values of elements "direct influence" matrix - Stage I and II

Czynnik ryzyka	Etap I						Etap II					
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$w_i$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$w_i$
$R_1$	0		1	2	1	4	0	-1	1	2	1	3
$R_2$	1	0	2	3	2	8	1	0	2	3	2	8
$R_3$			0	1	0	1	-1	-2	0	1	0	-2
$R_4$				0		0	-2	-3	-1	0	-1	-7
$R_5$			0	1	0	1	-1	-2	0	1	0	-2
$k_i$	1	0	3	7	3	---	-3	-8	2	7	2	---

Następnie dokonano pierwszej oceny prawidłowości wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu, tj. sprawdzono czy uzyskana hierarchia sum poszczególnych wierszy  $w_i$  macierzy bezpośredniego wpływu jest zgodna z przyjętą hierarchia czynników ryzyka  $R_i$ . Dalej sprawdzamy czy hierarchia sum poszczególnych wierszy  $w_i$  macierzy bezpośredniego wpływu jest odwrotna do hierarchii sum poszczególnych kolumn  $k_i$  tejże macierzy. Zaprezentowane wyniki potwierdzały prawidłowość prowadzonych obliczeń (tabela 2 - etap I).

Następnie macierz bezpośredniego wpływu  $A$  uzupełniana zostaje o wartości ujemne, odpowiadające obniżeniu znaczenia danego czynnika ryzyka względem innych. Aby dokonać oceny prawidłowości wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu  $A$  ponownie obliczono sumy poszczególnych wierszy macierzy bezpośredniego wpływu  $w_i$  oraz sumy poszczególnych kolumn tejże macierzy  $k_i$  (tabela 1 – etap II). Następnie sprawdzono warunek konieczny oceny prawidłowości wprowadzonych ocen do macierzy bezpośredniego wpływu zgodnie z równaniem (3). Przeprowadzone analizy potwierdziły prawidłowość wprowadzonych danych do macierzy bezpośredniego wpływu.

Na zakończenie analiz za pomocą równania (3) obliczono współczynniki ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka (tabela 2 – etap III). Uzyskana hierarchia wyników dla poszczególnych czynników ryzyka oraz różnice między nimi w pełni pokrywa się z hierarchią czynników zaprezentowanych na rys. 1a. Zatem III etap kontroli obliczeń zakończony został wynikiem pozytywnym.

Tabela 2. Uzyskana hierarchia czynników ryzyka  $R_i$ Table 2. The calculated hierarchy of risk factors  $R_i$ 

Czynnik ryzyka	Etap I		Etap III	
	Wartość $w_i$	Wartość $k_i$	Wartość $\gamma_i$	Różnica między $\gamma_i$ na sąsiednich poziomach hierarchii
$R_2$	8	0	0,31429	-----
$R_1$	4	1	0,24286	0,07143
$R_3 / R_5$	1	3	0,17143	0,07143
$R_4$	0	7	0,10000	0,07143

## 5. Podsumowanie

Zastosowanie przedstawionej metody do określenia współczynników ważności  $\gamma_i$  poszczególnych czynników ryzyka  $R_i$  powoduje, że uwzględnienie rzeczywistych preferencji decydenta odbywa się na podstawie dość prostej metody naukowej, a nie tylko samej intuicji decydenta. Metoda ta oparta jest na prostym algorytmie obliczeniowym, przez co wydaje się być godna polecenia osobom, które potrzebują „przyjaznego” narzędzia wspomagającego proces decyzyjny. W zaprezentowanym algorytmie uwzględniono aż trzy etapy umożliwiające kontrolę prawidłowości wprowadzania danych do macierzy bezpośredniego wpływu, co wydaje się istotną zaletą omawianej metody.

Dotychczasowe doświadczenia autorów z zastosowaniem niniejszej metody wskazały na pewne jej ograniczenia. Jednym z takich ograniczeń jest fakt, że zastosowanie w jej algorytmie wzoru (3) powoduje, że najmniejsze obliczone wartości współczynnika ważności  $\gamma_i$  (wagi) wynoszą 0,10. Oznacza to, że najmniej istotny czynnik ryzyka  $R_i$  ma zawsze 10% udział w wartości całkowitego ryzyka  $R$  eksploatacji obiektu mostowego. Z tego też względu autorzy prowadzą aktualnie badania nad wyeliminowaniem tego ograniczenia.

## Literatura

- [1] Aouni B., Abdelaziz F. B., Martel J. M.: Decision-maker's preferences modeling in the stochastic goal programming, *European Journal of Operational Research*, 162(3), 2005, pp. 610-618.
- [2] Chang B, Chang C. W., Wu C. H.: Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria, *Expert Systems with Applications*, vol. 38(3), 2011, pp. 1850-1858.
- [3] Duchaczek A.: Ocena preferencji decydenta przy wyborze środków transportowych, *Budownictwo i Architektura*, nr 14(1), 2015, s. 25-31.
- [4] Dytczak M., Przybyło W., Wielokryterialna ocena systemów transportu Krakowa z użyciem metody DEMATEL. *Budownictwo i inżynieria środowiska*, nr 2, 2011, s. 241-246.
- [5] Saaty T. L., Vargas L.: *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Kluwer Academic Publishing, Boston 2001.
- [6] Skorupka D., Duchaczek A.: Zarządzanie ryzykiem eksploatacji wojskowych obiektów mostowych, W: *Problemy naukowo-badawcze budownictwa: LV Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB KRYNICA 2009*, Kielce - Krynica 20-25 września 2009, Politechnika Świętokrzyska, 2009, s. 563-570.
- [7] Skorupka D., Duchaczek A.: Eksploatacja mostów wojskowych w warunkach ryzyka, W: *Problemy naukowo-badawcze budownictwa: LVI Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB*, Kielce - Krynica 19-24.09.2010 r., Politechnika Świętokrzyska, 2010, s. 451-458.

## CONSIDERATION OF THE DECISION MAKER PREFERENCES IN THE PROCESS OF ASSESSING THE RISKS OF MILITARY BRIDGES EXPLOITATION

### Summary

The risk assessment of implementation and exploitation of building structures, for financial reasons and lack of appropriate methods and tools, in practice is carried out only by very few engineers. The identification of the risk of bridges exploitation is based on specifying and hierarchizing potential risk factors that may impede or prevent the movement of means of transport. Therefore, it enables avoiding or reducing problems during the implementation of construction projects. The paper presents one of the methods of operational risk analysis of bridges. With reference to it, the author presents a simple method for selecting the values of significance coefficients of individual risk factors. These coefficients make it possible to take into account individual preferences of the decision maker. The application of the presented quantitative method results in taking into account the real preferences of the decision maker, basing on the scientific method, and not only the intuition of the decision maker.

**Keywords:** exploitation of building structures, risk analysis, decision-maker preferences, military bridge

*Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.*

DOI: 10.7862/rb.2016.20