

Dariusz SKORUPKA*
Artur DUCHACZEK

REALIZACJA PRZEDSIĘWZIĘĆ LOGISTYCZNYCH W WARUNKACH RYZYKA

W artykule przedstawiono analizę możliwości realizacji przedsięwzięć logistycznych w warunkach ryzyka na przykładzie eksploatacji wojskowych obiektów mostowych. Analizie poddano trzy rodzaje wojskowych mostów stalowych, tj. mosty składane, towarzyszące i niskowodne. W materiale przedstawiono autorską metodę analizy czynnika ryzyka zmęczeniowego. Zaprezentowano również możliwości zastosowania metody AHP do ustalania wag dla analizowanych czynników ryzyka. Założono, że analiza ryzyka drożności infrastruktury transportu ma zasadniczy wpływ na ciągłość procesów logistycznych.

Słowa kluczowe: logistyka transportu, optymalizacja, metoda AHP, przedsięwzięcia logistyczne

WPROWADZENIE

Rodzaj konstrukcji jest determinantą podziału mostów wojskowych na mosty zmechanizowane (tzw. towarzyszące), pływające, składane, prowizoryczne i kombinowane [12].

W pracy [5] podaje się, że rozpiętość przęseł obiektów mostowych położonych w ciągach dróg publicznych w przeważającej większości (ok. 75%) nie przekracza 21 m, można zatem stwierdzić, iż konstrukcje wojskowe w pełni mogą zabezpieczyć przekraczanie cieków lub małych i średnich rzek.

Identyfikacja ryzyka eksploatacji wojskowych obiektów komunikacyjnych polega na specyfikacji i hierarchizacji potencjalnych zagrożeń, które mogą utrudnić lub uniemożliwić transport. Poprawna specyfikacja i trafny opis ilościowy czynników ryzyka wpływa na efektywność oceny ryzyka eksploatacji obiektu budowlanego. Pozwala to na uniknięcie lub zmniejszenie problemów w czasie realizacji przedsięwzięć logistycznych związanych z przeprawą wojsk przez przeszkody wodne [12].

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

Zagrożenia występujące podczas eksploatacji mostów wojskowych można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Grupa I to zagrożenia, na które może mieć wpływ projektant (przeciążenie, zmęczenie materiału, nagłe hamowanie, zatory lodowe). Grupa II to zagrożenia czynnikami ryzyka, których uwzględnienie w fazie projektowania jest trudne do jednoznacznej identyfikacji. Można do niej zaliczyć np. eksplozję materiałów wybuchowych, katastrofę środka transportu, pożary, ataki terrorystyczne. Analiza ilościowo-jakościowa sprzętu będącego na wyposażeniu sił zbrojnych umożliwia zmniejszenie ryzyka wystąpienia wybranych grup uszkodzeń w obiektach mostowych [14].

Decyzje dotyczące odbudowy mostu w warunkach kryzysowych charakteryzują się dużą złożonością, brakiem doprecyzowania i potrzebą elastycznego podejścia. Wobec wielości wariantów i kryteriów trudno decydom często znaleźć właściwy balans pomiędzy intuicją, zdrowym rozsądkiem i doświadczeniem. Często intuicyjne podejście ma wiele słabości, gdyż takie decyzje z trudem poddają się logicznemu uzasadnieniu [7].

Artykuł jest próbą zainspirowania decydom (dowódców i inżynierów wojskowych) do nowego podejścia do problemów decyzyjnych opartego, na metodzie Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP) [7].

1. PODSTAWY ANALITYCZNEGO PROCESU HIERARCHICZNEGO (AHP)

Metoda Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP) to jedną z metod heurystycznych opracowaną przez amerykańskiego matematyka T. L. Saaty'ego łączącą w sobie elementy matematyki i psychologii [6], która to została opisana m.in. w pracach [9, 10, 11]. A. Ostrega w pracy [6] przedstawiła w sposób przejrzysty podstawy teoretyczne stosowania tej metody w praktycznych zagadnieniach inżynierskich. Metoda ta ułatwia 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 [6].

Spśród 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 [6].

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 decyzji). 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 ± 2 , gdyż spowodować to może dużą niekonsekwencję porównań [6].

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 [6].

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 [11] postać zbiorów rozmytych odpowiadająca zmiennym lingwistycznym zawiera się w 9 stopniowej skali preferencji [6].

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 [6].

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 konsekwencji i obliczenie współczynnika konsekwencji. W celu wyeliminowania niezgodności obliczany jest współczynnik konsekwencji CR według zależności [6]:

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

gdzie:

RI to indeks losowy, zależy od stopnia macierzy n , przybierający wartości od $0 \div 1,45$, natomiast CI to wskaźnik konsekwencji określany z zależności [6]:

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

gdzie:

λ_{\max} to maksymalna wartość własna macierzy, której sposoby obliczania przedstawiła m.in. A. Ostrenga w pracy [6].

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. Jeśli jest inaczej, to znaczy, że ocena jest niespójna. Wartość współczynnika konsekwencji nie powinna przekraczać 10% , jeżeli jest wyższa, należy dokonać sprawdzenia sposobu formułowania pytań podczas dokonywania porównań parami elementów [6].

2. RYZYKO EKSPLOATACJI WOJSKOWEGO OBIEKTU MOSTOWEGO

Założono, że ryzyko eksploatacji obiektu mostowego obliczamy na podstawie zależności (3):

$$R = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i W_i K_i , \quad (3)$$

gdzie:

- χ to waga z jaką dany czynnik wpływa na całkowitą wartość ryzyka R ,
- W_i to czynniki ryzyka, np. czynnik zmęczeniowy W_z ,
- K_i to konsekwencja wystąpienia danego czynnika,
- m jest liczbą czynników.

Wartość χ z jaką dany czynnik ryzyka wpływa na całkowitą jego wartość R , można przyjmować intuicyjnie, biorąc pod uwagę doświadczenia danego zespołu. W niniejszej pracy autorzy zaprezentowali jednak możliwości wykorzystania do tego celu metody AHP (*The Analytic Hierarchy Process*) [9, 10].

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>.

Zasadniczym celem prowadzonych analiz był optymalny dobór wartości wag χ stosowanych w równaniu (3), uwzględniający założone kryteria. W analizowanym przykładzie przyjęto tylko dwa kryteria, nazwane „wojna” i „pokój”, które odpowiadały warunkom pracy konstrukcji, także w warunkach zagrożenia przeciwnika. W analizach uwzględniono trzy czynniki ryzyka, było to zmęczenie materiału, przeciążenie konstrukcji oraz działalność przeciwnika.

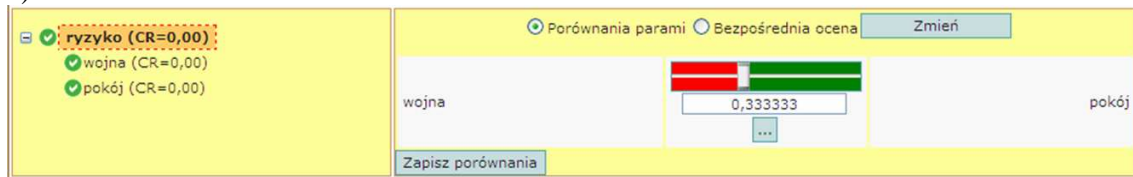
Na rysunku 1a przedstawiono okno dialogowe omawianej aplikacji komputerowej umożliwiającej porównanie parami kryteriów mających wpływ na wybór rozwiązania zadania (czynniki ryzyka), które prowadzi do powstania macierzy $M1$, obrazującej, które z kryteriów jest ważniejsze ze względu na osiągnięcie celu. Na rys. 1b i c przedstawiono natomiast porównanie parami czynników ryzyka pod względem konkretnego kryterium. Powstają dzięki temu macierze $M2$ - $M3$, obrazujące, który czynnik ryzyka jest ważniejszy ze względu na konkretne kryterium.

W wyniku przeprowadzonych ustaleń otrzymano ocenę użyteczności czynników ryzyka (rys. 2a) oraz priorytety kryteriów (2b). W wyniku przeprowadzonych analiz okazało się, że w analizowanym przykładzie czynnikiem najbardziej narażającym konstrukcję mostu na zniszczenie jest zmęczenie materiału, a kryterium, które o tym zdecydowało, był „pokój” (rys. 2a).

Bardzo bogaty interfejs graficzny omawianego programu (dostępnego na stronie <http://www.ahpproject.com>) umożliwia dokonanie oceny użyteczności (oceny częściowej) każdego z czynników ryzyka według konkretnego kryterium (rys. 3a,b) oraz analizę czułości tych kryteriów (rys. 3,c,d).

REALIZACJA PRZEDSIĘWZIĘĆ LOGISTYCZNYCH W WARUNKACH RYZYKA

a)



b)



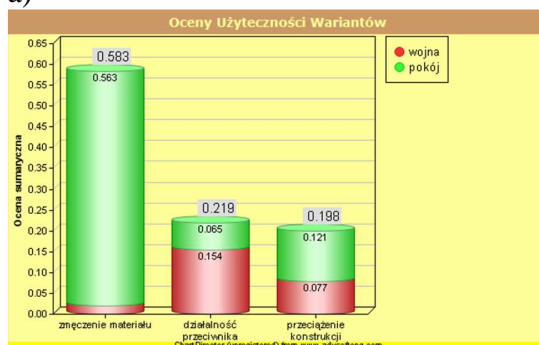
c)



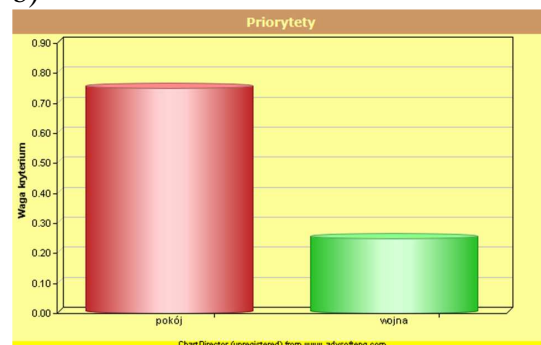
Rys. 1. Ustalenie hierarchii kryteriów (a) oraz porównanie parami wariantów rozwiązań pod względem kryterium: a) wojna, b) pokój

Źródło: Opracowanie własne (z zastosowaniem aplikacji dostępnej na stronie <http://www.ahpproject.com>)

a)

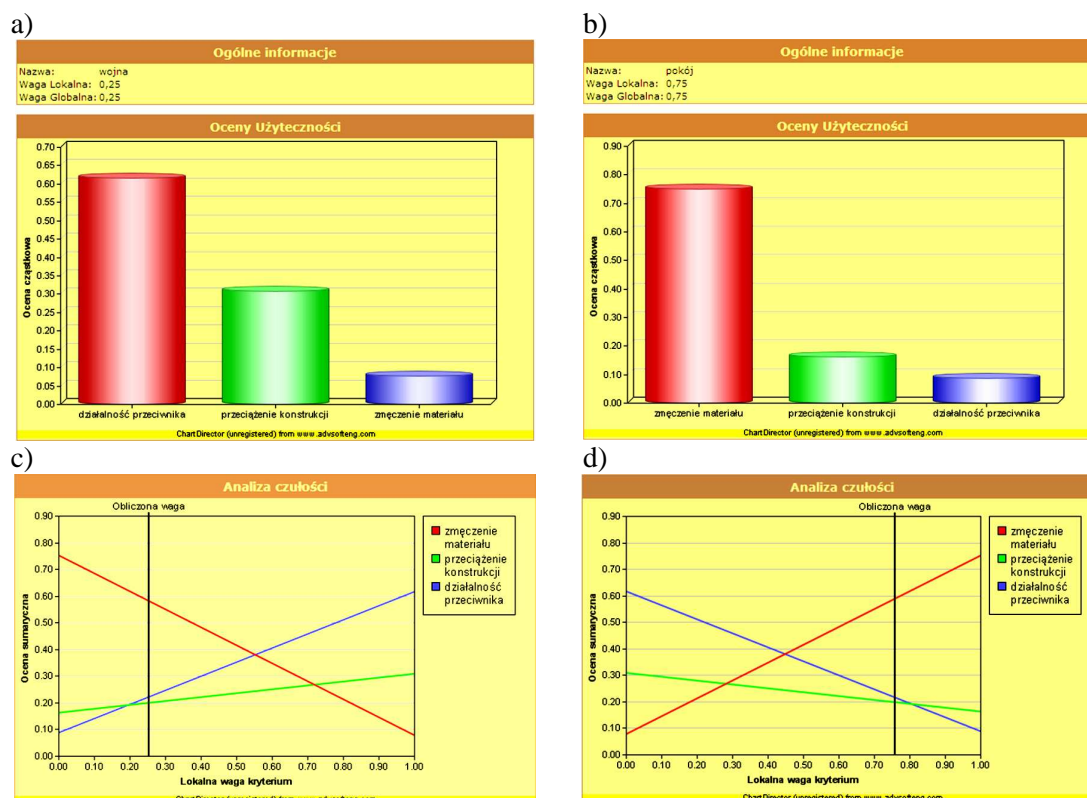


b)



Rys. 2. Ocena użyteczności wariantów (a) oraz priorytety kryteriów (b)

Źródło: Opracowanie własne (z zastosowaniem aplikacji dostępnej na stronie <http://www.ahpproject.com>)



Rys. 3. Przykładowe oceny użyteczności (oceny cząstkowe) każdego z wariantów rozwiązań według kryterium: a) wojny i b) pokoju, a także analiza czułości dla każdego z tych kryteriów (c, d)

Źródło: Opracowanie własne (z zastosowaniem aplikacji dostępnej na stronie <http://www.ahpproject.com>)

3. IDEA UWZGLĘDNIENIA CZYNNIKA ZMĘCZENIOWEGO W OCENIE RYZYKA EKSPLOATACJI MOSTÓW WOJSKOWYCH

Obiekty komunikacyjne, a zwłaszcza mostowe, ze względu na swoją specyfikę eksploatacyjną, narażone są w wysokim stopniu na procesy starzenia, a w szczególności na wpływ obciążeń zmęczeniowych [1].

W literaturze przedmiotu często wytrzymałość zmęczeniową definiowana jest jako zakres naprężeń normalnych $\Delta\sigma_R$, które występując cyklicznie w przewidzianym okresie eksploatacji obiektu, nie spowodują, zakładając odpowiednio wysoki poziom prawdopodobieństwa, uszkodzenia ich elementów konstrukcyjnych [3]. Zaś trwałość mostów wojskowych jest wyrażana określoną liczbą przejazdów n maksymalnej klasy obciążenia MLC przy najdłuższej rozpiętości teoretycznej mostu oraz określoną liczbą rozłożeń [19].

Można zatem przyjąć, że czynnik zmęczenia w mostach wojskowych zależy jednocześnie od wartości naprężeń występujących w elemencie (a właściwie zakresu tych naprężeń) i od częstotliwości występowania tego obciążenia. Na tej podstawie można wyciągnąć wniosek, że prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia zmęczeniowego należy uzależnić bezpośrednio od klasy MLC przyjętej na etapie projektowania wytrzymałościowego.

Autorzy materiału proponują wprowadzenie czynnika ryzyka zmęczeniowego W_z , przyjmującego wartości od 0 do 1, świadczącego o możliwości wystąpienia pęknięć zmęczeniowych eliminujących obiekt mostowy z dalszej eksploatacji [12].

Wielkości czynnika ryzyka zmęczeniowego W_z można określić ze wzoru (4):

$$W_z = \sum_{i=1}^{i=n} (W_{z_MLC_i} W_{z_N_i}) \quad (4)$$

gdzie:

- W_{z_MLC} jest współczynnikiem bezpośrednio zależnym od klasy obciążenia (masy pojazdu),
- W_{z_N} jest współczynnikiem uwzględniającym liczbę pojazdów z przyjętej klasy MLC w ogólnym widmie obciążenia,
- n oznacza liczbę rodzajów pojazdów w widmie obciążenia.

Autorzy proponują, aby współczynnik W_{z_MLC} przyjmować z zależności (5) [14]:

$$W_{z_MLC} = \frac{M_P}{M_M}, \quad (5)$$

gdzie:

- M_M i M_P to maksymalne wartości momentu zginającego w przęśle od obciążenia odpowiadającego odpowiednio klasie MLC mostu i aktualnie rozważanego pojazdu (dla konkretnej długości analizowanego przęsła).

Wynika to z faktu, że w przypadku, gdy po przęśle przemieszczają się tylko pojazdy o klasie MLC równej klasie MLC analizowanego przęsła, wówczas w jego elementach konstrukcyjnych występują znaczne wartości naprężeń, natomiast pojazdy o niższych klasach wywołują naprężenia, które mają proporcjonalnie mniejszy wpływ na jego trwałość zmęczeniową.

Ze względu na konieczność wielokrotnego przeprowadzenia obliczeń wartości momentu zginającego w przęśle analizowanego mostu, autorzy artykułu proponują korzystanie z istniejącej aplikacji komputerowej stworzonej w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, a szeroko opisaną m. in. w pracy [2]. Aplikacja ta umożliwia analizę zarówno pojazdów gąsienicowych, jak i kołowych, dla przęsła pojedynczego (o schemacie statycznym belki wolnopodpartej) w zakresie długości od 0 do 35 m. Zgodnie z zapisami STANAGU 2021 [17] wojskowa klasa obiektu mostowego powinna być przeprowadzona przy obciążeniu hipotetycznymi pojazdami poruszającymi się w kolumnie, a punkty styku z podłożem sąsiednich pojazdów powinny być oddalone od siebie o 30,5 m (100 stóp) [8], zatem przyjęcie pojedynczego przęsła o długości 35 m jest w pełni wystarczające.

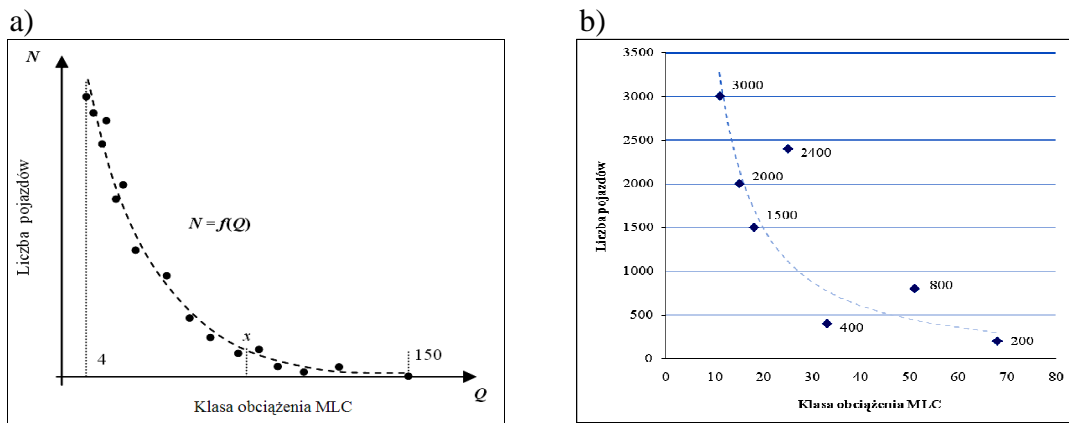
Na rysunku 4a zaprezentowano uogólniony rozkład pojazdów wojskowych, występujących w strukturach organizacyjnych wojska.

Współczynnik W_{z_N} można obliczyć przy wykorzystaniu wykresu zaprezentowanego na rysunku 4a i z zależności (6) [14]:

$$W_{z_N} = \frac{f(Q_x)}{\sum_{i=1}^{i=n} f(Q_i)}, \tag{6}$$

gdzie:

x jest analizowaną klasą MLC pojazdu.



Rys. 4. Rozkład pojazdów wojskowych występujących w strukturach organizacyjnych:
a) schemat ogólny, b) schemat przyjęty do obliczeń

Źródło: Opracowanie własne

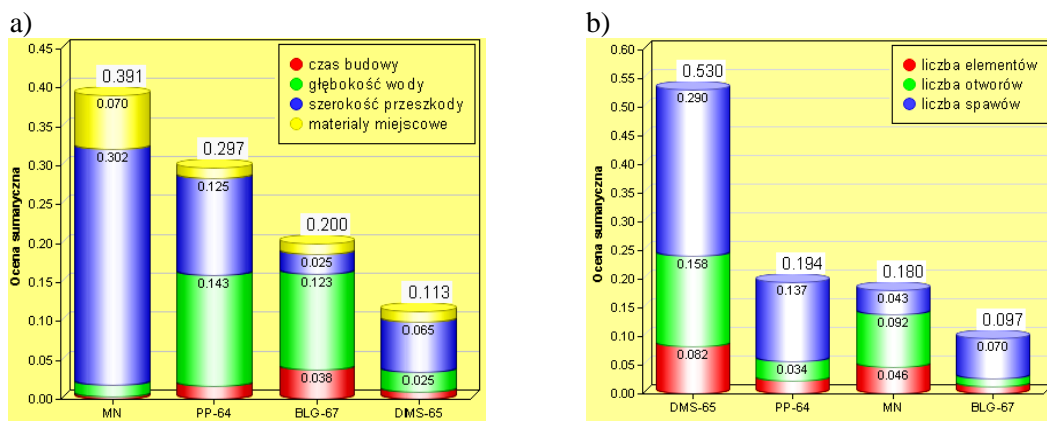
Przyjęcie takiego sposobu określania współczynnika W_{z_N} powoduje uwzględnienie procentowego udziału pojazdów analizowanej klasy obciążenia w całościowym widmie obciążenia konstrukcji.

Autorzy proponują, aby współczynnik konsekwencji K_i określać z wyrażenia (15) [16]:

$$K_i = ZK_i \times MB_i, \tag{7}$$

gdzie:

- ZK – współczynniki określający złożoność konstrukcji,
- MB – współczynnik określający możliwości szybkiej odbudowy konstrukcji mostowej.



Rys. 5. Wyniki oceny użyteczności analizowanych wariantów dokonane przy użyciu aplikacji komputerowej: a) użyteczność konstrukcji do szybkiej odbudowy oraz c) złożoność konstrukcji

Źródło: Opracowanie własne (z zastosowaniem aplikacji dostępnej na stronie <http://www.ahpproject.com>)

Współczynnik konsekwencji K_i określa stopień utrudnień związanych z szybką odbudową uszkodzonego przęsła. Przy określaniu współczynników ZK i MB również korzystano z metody AHP, uwzględniając tak jak wcześniej cztery dopuszczalne rozwiązania, tj. park pontonowy PP-64, most składany DMS-65, most niskowodny MN i most towarzyszący BLG-67.

Metodyka obliczania współczynników ZK i MB była identyczna jak wag γ_i , z którymi dany czynnik wpływa na całkowitą wartość ryzyka R , co zostało przedstawione m. in. w pracy [15].

Wartość współczynnika MB jest odwrotnie proporcjonalna do oceny użyteczności analizowanych wariantów możliwej odbudowy uszkodzonego przęsła zaprezentowanej na rys. 5a. Zatem, aby określić jej wartość, należało obliczyć różnicę między oceną użyteczności analizowanych wariantów uzyskaną z obliczeń (rys. 5a) a wartością 0,500. W tym przypadku w analizach uwzględniono cztery kryteria, takie jak czas odbudowy przęsła, głębokość wody, szerokość przeszkody wodnej i dostęp do materiałów miejscowych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujące wartości współczynnika MB dla mostu składanego 0,387, towarzyszącego 0,300, pontonowego 0,203 i niskowodnego 0,109.

Wartość współczynnika ZK uwzględniającego złożoność konstrukcji uszkodzonego przęsła określono również przy użyciu metody AHP (rys. 5b). W tym przypadku w analizach uwzględniono trzy kryteria, takie jak liczba elementów konstrukcyjnych oraz liczba otworów i połączeń spawanych. Uwzględniając tak jak wcześniej cztery możliwe rozwiązania konstrukcyjne, tj. park pontonowy PP-64, most składany DMS-65, most niskowodny MN i most towarzyszący BLG-67. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujące wartości współczynnika ZK dla mostu składanego 0,530, pontonowego 0,194, niskowodnego 0,180 i towarzyszącego 0,097.

Uwzględniając wyniki obliczeń współczynników ZK i MB , otrzymano następujące wartości współczynnika konsekwencji K : dla mostu składanego 0,917, pontonowego 0,397, niskowodnego 0,289 i towarzyszącego 0,397.

4. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE OMAWIANEJ METODY

W niniejszym artykule oceny ryzyka eksploatacji wojskowych obiektów mostowych dokonano dla trzech wybranych konstrukcji. W obliczeniach uwzględniono przęsło mostu składanego DMS-65 o długości 33,0 m i klasie obciążenia MLC 70, przęsło mostu towarzyszącego BLG-67M o długości 19,0 m i klasie obciążenia MLC 55 oraz przęsło mostu niskowodnego wykonanego z kształtowników stalowych o długości teoretycznej 11,00 m i klasie obciążenia MLC70 (rys. 6).

W tabeli 1 zaprezentowano charakterystykę hipotetycznych pojazdów, zarówno kołowych, jak i gąsienicowych, wchodzących w skład analizowanej struktury organizacyjnej wojska, którą zaprezentowano na rysunku 4b.

W tabelach 2, 3 i 4 przedstawiono wyniki obliczeń wartości współczynnika zmęczenia W_z dla mostu składanego DMS-65, towarzyszącego BLG-67M i niskowodnego.



Rys. 6. Przykłady mostów wojskowych: a) składanego, b) towarzyszącego i c) niskowodnego.

Źródło: [18]

Tabela 1. Charakterystyka pojazdów wchodzących w skład analizowanej struktury organizacyjnej

Oznaczenie	Star	Jelcz	TRI	PTS-M	BAT-M	PT-91	Leopard
Klasa MLC	11	18	15	25	33	51	68
Liczba pojazdów	3000	2000	1500	2400	400	800	200

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika zmęczeniowego W_z dla mostu składanego DMS-65

Pojazd	Liczba pojazdów	$W_{z,N}$	M_P [kNm]	M_M [kNm]	$W_{z,MLC}$	$\frac{W_{z,N} \times W_{z,MLC}}{W_{z,MLC}}$	W_z
Star	3000	0,29	695,50	4974,94	0,14	0,04	0,29
Jelcz	1500	0,15	1117,50	4974,94	0,22	0,03	
TRI	2000	0,19	1039,50	4876,01	0,21	0,04	
PTS-M	2400	0,23	1730,88	4876,01	0,35	0,08	
BAT-M	400	0,04	2165,63	4876,01	0,44	0,02	
PT-91	800	0,08	3565,00	4876,01	0,73	0,06	
Leopard	200	0,02	4727,50	4876,01	0,97	0,02	

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki obliczeń współczynnika zmęczeniowego W_z dla mostu towarzyszącego BLG-67M

Pojazd	Liczba pojazdów	$W_{z,N}$	M_P [kNm]	M_M [kNm]	$W_{z,MLC}$	$\frac{W_{z,N} \times W_{z,MLC}}{W_{z,MLC}}$	W_z
Star	3000	0,30	382,50	1945,03	0,20	0,06	0,36
Jelcz	1500	0,15	592,50	1945,03	0,30	0,05	
TRI	2000	0,20	577,50	2112,48	0,27	0,05	
PTS-M	2400	0,24	936,38	2112,48	0,44	0,11	
BAT-M	400	0,04	1203,13	2112,48	0,57	0,02	
PT-91	800	0,08	1955,00	2112,48	0,93	0,07	

Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych zaprezentowanych w tabelach 2, 3 i 4 wykazała, że w przypadku mostu towarzyszącego BLG-67, zakwalifikowanego do klasy obciążenia MLC 55, wartość współczynnika zmęczeniowego była największa. Mimo że w widmie obciążeń nie uwzględniano pojazdu gąsienicowego LEOPARD, to pozostałe pojazdy wchodzące

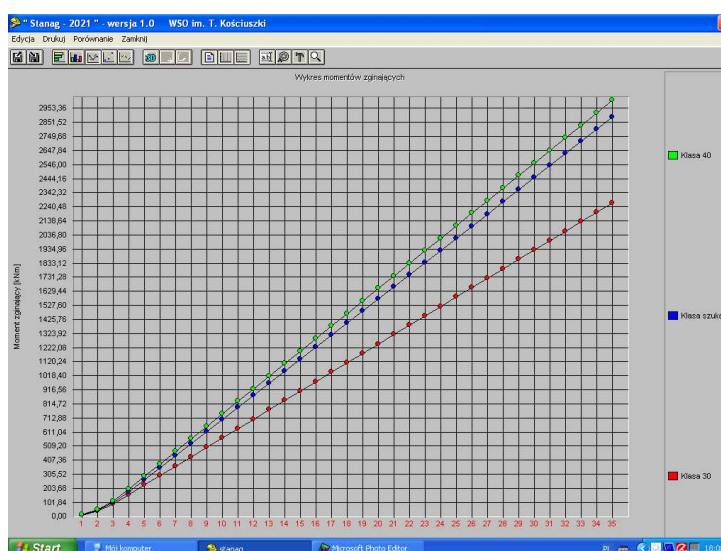
w skład widma obciążeń wywoływały większe wartości naprężeń w analizowanych elementach konstrukcyjnych.

Tabela 4. Wyniki obliczeń współczynnika zmęczeniowego W_z dla mostu niskowodnego MLC70

Pojazd	Liczba pojazdów	$W_{z,N}$	M_P [kNm]	M_M [kNm]	$W_{z,MLC}$	$\frac{W_{z,N} \times W_{z,MLC}}$	W_z
Star	3000	0,29	202,50	990,55	0,20	0,06	0,33
Jelcz	1500	0,15	292,50	990,55	0,30	0,05	
TRI	2000	0,19	313,50	1383,51	0,23	0,04	
PTS-M	2400	0,23	482,38	1383,51	0,35	0,08	
BAT-M	400	0,04	653,13	1383,51	0,47	0,02	
PT-91	800	0,08	1035,00	1383,51	0,75	0,06	
Leopard	200	0,02	1317,50	1383,51	0,95	0,02	

Źródło: Opracowanie własne

Porównując wartość współczynnika zmęczeniowego W_z dla pozostałych dwóch mostów, zakwalifikowanych dla klasy MLC70, stwierdzono, że współczynnik ten jest bardziej korzystny dla mostu składanego DMS-65. Aby to wyjaśnić, należy przeanalizować wykres zaprezentowany na rysunku 7, z którego wynika, że konstrukcja o długości 19,00 m ma znacznie większy zapas bezpieczeństwa, niż konstrukcja o długości 11,00 m.



Rys. 7. Okno dialogowe programu do określania klasy obciążenia MLC dla pojazdu STAR (MLC 11)

Źródło: Opracowanie własne

W następnej kolejności określono wartość ryzyka eksploatacji obiektu mostowego obliczoną z zależności (3), a uwzględniającą w tym przypadku tylko współczynnik zmęczeniowy:

- $R_{DMS-65} = 0,583 \times 0,290 \times 0,917 = 0,155,$
- $R_{BLG-67} = 0,583 \times 0,360 \times 0,397 = 0,083,$
- $R_{MN} = 0,583 \times 0,330 \times 0,289 = 0,056.$

Otrzymane wartości ryzyka eksploatacji obiektu mostowego, uwzględniające tylko czynnik zmęczeniowy, mają wartości zgodne z rozwiązaniami intuicyjnymi, a ich podstawową zaletą jest możliwość ujęcia tej oceny w sposób ilościowy. Aby w lepszy sposób zobrazować, zalety proponowanej metody oceny ryzyka wystąpienia pęknięć zmęczeniowych w konstrukcjach mostów wojskowych, autorzy zamierzają przeprowadzić analizy dla szerokiej gamy pododdziałów wojskowych, analizując konkretne struktury wojskowe. Opracowane w ten sposób diagramy umożliwiające ocenę ryzyka wystąpienia pęknięć zmęczeniowych w tego typu konstrukcjach, będą miały zastosowanie w pododdziałach inżynierskich bezpośrednio odpowiedzialnych za ich eksploatację.

PODSUMOWANIE

W przedstawionym materiale zaprezentowano analizę ryzyka drożności infrastruktury transportu, która ma zasadniczy wpływ na ciągłość procesów logistycznych. Analizie poddano trzy rodzaje wojskowych mostów stalowych, tj. mosty składane, towarzyszące i niskowodne. Przy zastosowaniu autorskiej metody dokonano analizy czynnika ryzyka zmęczeniowego, który ma znaczący wpływ na trwałość wojskowych obiektów mostowych, a więc i na strategię zarządzania ich eksploatacją. Zaprezentowano również możliwości zastosowania metody AHP do ustalania wag dla analizowanych czynników ryzyka. Pełny obraz problematyki dotyczącej analizy ryzyka zostanie przedstawiony po identyfikacji i kwantyfikacji pełnej listy czynników ryzyka, które mogą zagrozić prawidłowej eksploatacji obiektu mostowego. Autorzy zakładają zatem specyfikację i kwantyfikację innych czynników ryzyka w dalszym etapie prowadzonych badań. Ponadto dalsze badania umożliwią hierarchizację czynników ryzyka i odpowiedź na pytanie, które z nich stanowią zasadnicze zagrożenie w eksploatacji wojskowych obiektów komunikacyjnych [12, 13, 14, 15, 16].

LITERATURA

- [1] Duchaczek A., Kamyk Z., Mańko Z., *Procesy zmęczeniowe w stalowych mostach wojskowych*, [w:] XIX Seminarium nt. „Współczesne Metody Budowy, Wzmacniania i Przebudowy Mostów”, Poznań – Rosnówko, 9–10 czerwca 2009, s. 24–25.
- [2] Duchaczek A., Kamyk Z., *Określanie klasy pojazdów niestandardowych według STANAG-u 2021*, [w:] IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Uzbrojenie i sprzęt inżynierski sił zbrojnych RP z uwzględnieniem interoperacyjności i kompatybilności ze standardami NATO w działalności naukowo-badawczej”, Polanica Zdrój, 27–29 kwietnia 1999, s. 279–288.
- [3] *EUROCODE 3. Design of Steel Structures*, ENV 1993–1–9, European Committee for Standardisation, Brussels 2005.
- [4] 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.
- [5] Marszałek J. i inni, *Mosty składane. Projektowanie, budowa i eksploatacja*, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2005.
- [6] Ostreża A., *Sposoby zagospodarowania wyrobisk i terenów po eksploatacji złóż surowców węglanowych na przykładzie Krzemionek Podgórskich w Krakowie*, Roz-

- prawa doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Ryszard Uberman, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwo i Geoinżynierii, Kraków, listopad 2004 r.
- [7] Szymaczek M., *Ahp pomoże podjąć decyzje. Narzędzie dla menadżerów*, [online]. [dostęp: 10.02.2009]. Dostępny w Internecie: www.bcc.com.pl/pad_files/aw_files/394_AW_AHPwspomaganiedecyzji_20080324%20_2_.pdf
- [8] Rymsza J., *Analiza naukowo-techniczna wojskowej klasyfikacji obiektów mostowych, promów i tratw oraz pojazdów według umowy standaryzacyjnej NATO STANAG 2021*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2007.
- [9] Saaty T. L., *The Analytical Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA, 1990.
- [10] Saaty T.L., Vargas L., *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Boston, Kluwer Academic Publishing. 2001.
- [11] Saaty T.L., *Deriving the AHP 1-9 Scale from First Principles ISAHP 2001*, Berne - Switzerland, 2001.
- [12] Skorupka D., Duchaczek A., *Zarządzanie ryzykiem eksploatacji wojskowych obiektów mostowych*, [w:] Materiały z 55 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kielce-Krynica, 20-25 września 2009, s. 563-570.
- [13] Skorupka D., Duchaczek A., *Zarządzanie ryzykiem utrzymania infrastruktury transportu drogowego w świetle eksploatacji wojskowych obiektów mostowych*, [w:] „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych”, Nr 4/2009, Wrocław 2009, s. 82-93.
- [14] Skorupka D., Duchaczek A., *Zarządzanie eksploatacją wojskowych obiektów komunikacyjnych w warunkach ryzyka*, [w:] „Czasopismo Techniczne. Budownictwo”, 2010 r., R. 107 z. 2 (1-B), s. 379-390.
- [15] Skorupka D., Duchaczek A., *Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych*, [w:] „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych”, Nr 3/2010, Wrocław 2010, s. 54.
- [16] Skorupka D., Duchaczek A., *Eksploatacja mostów wojskowych w warunkach ryzyka*, [w:] Materiały z 56 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kielce-Krynica, 19-24 września 2010, przyjęte do druku.
- [17] *STANAG 2021. Obliczanie wojskowej klasy obiektów mostowych, promów, tratw i pojazdów.*
- [18] 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.
- [19] *Trilateral Design and Test Code for Military Bridging and Gap-crossing Equipment* Agreed to by: Federal Republic of Germany, United Kingdom and United States of America published in the United States in January 2005.

REALIZATION OF LOGISTICAL VENTURE IN CONDITIONS OF RISKS

Summary

The material presents an analysis of a potential risk assessment of operating military bridge facilities. Three types of steel military bridges were analysed: assembled bridges, vehicle-launched bridges and low-level bridges. The material presents an original method of a fatigue risk factor analysis. Furthermore, the author presents potential applications of the AHP method to determine weights for risk factors under analysis. It is assumed that at the further stage of research a thorough identification and quantification of other risk factors will be conducted.

Key words: *optimization, method AHP, logistical ventures*

Artykuł recenzował: płk dr hab. Zdzisław POLCIKIEWICZ, prof. nadzw. WSOWL