

Zbigniew **KAMYK**  
Wacław **MALEJ**  
Cezary **ŚLIWIŃSKI**  
Marcin **DUSZAK**  
Janusz **ŚLIWIŃSKI**

## BADANIE STATECZNOŚCI MOSTÓW NOŻYCOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podział funkcjonalny mostów wojskowych ze względu na ich wykorzystanie w różnych fazach działań bojowych. Przeanalizowano fazy procesu ustawiania przęsła na przeszkodzie pod kątem zachowania stateczności wzdłużnej i poprzecznej. Opisano sposób wyznaczenia zapasu stateczności wzdłużnej oraz wartości dodatkowego momentu wywracającego przęsła mostu MG-20 wynikającego z bezwładności układów podczas awaryjnego zatrzymania przęsła w trakcie jego rozkładania. Opisano również sposób sprawdzenia stateczności poprzecznej i wzdłużnej mostu MS-20 przy oddziaływaniu wiatru na przęsło w położeniu pionowym. Analizy wykazały właściwą stateczność przęseł MS-20 i MG-20.

**Słowa kluczowe:** most nożycowy, stateczność podłużna, stateczność poprzeczna, zapas stateczności.

### 1. WSTĘP

Mobilność wojsk jest jednym z najważniejszych czynników zapewniających powodzenie współczesnych operacji wojskowych na każdym szczeblu. Jednym z zasadniczych zadań wojsk inżynieryjnych, w ramach wsparcia inżynieryjnego, jest zapewnienie swobody ruchu wojsk (mobilności), w możliwie krótkim czasie oraz w każdych warunkach terenowych i klimatycznych. Sprowadza się to między innymi do zapewnienia wojskom możliwości pokonywania przeszkód terenowych (kanałów, rzek i rowów przeciwczołgowych) za pomocą sprzętu mostowego. W ostatnich latach wiele państw rozpoczęło prace rozwojowe, przygotowujące wymianę sprzętu mostowego. Poszukiwania dotyczą nowych rozwiązań technologicznych i materiałowych [1], [2], zapewniających spełnienie wymagań współczesnego pola walki [3].

W kraju brak było mostu spełniającego współczesne wymagania, dlatego podjęte zostały prace rozwojowe nad nowymi mostami taktycznymi MG-20 [4] i wsparcia MS-20 [5] i MS-40. Nowe systemy mostowe powinny uwzględniać zalety starych konstrukcji [6] oraz wykorzystywać doświadczenia uzyskane w trakcie ich badań i eksploatacji, zapewniając jednak postęp w zakresie nośności, funkcjonalności i żywotności nowych rozwiązań.

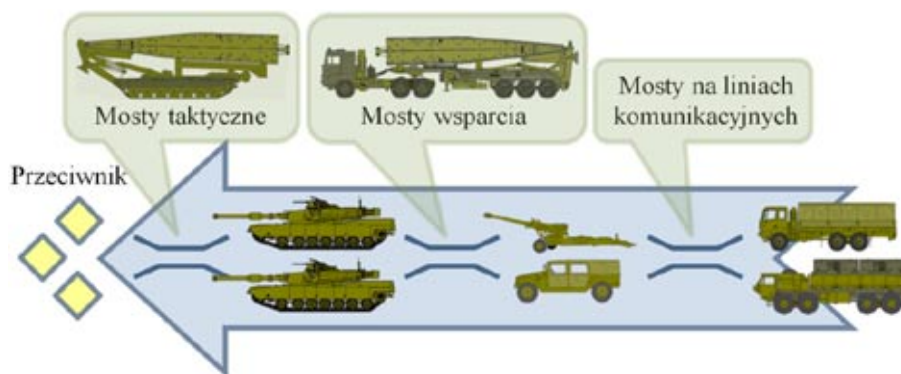
### 2. PODZIAŁ MOSTÓW WOJSKOWYCH

Mosty wojskowe (rys. 1), w zależności od przeznaczenia oraz miejsca w ugrupowaniu bojowym, zgodnie z Normą Obronną NO-01-A001:2011 [7], można podzielić na:

- a) mosty taktyczne – szturmowe na podwoziach gąsienicowych (Assault Bridges);
- b) mosty wsparcia – towarzyszące na podwoziach kołowych (Support Bridges);
- c) mosty na liniach komunikacyjnych – składane (Line of Communication Bridges).

Szczególnie ważną rolę na współczesnym polu walki odgrywają mosty taktyczne – szturmowe (tzw. mosty pola walki) [3]. Służą one do bezpośredniego wsparcia walczących

pododdziałów pierwszorzutowych w strefie bezpośredniej styczności ogniowej z przeciwnikiem.



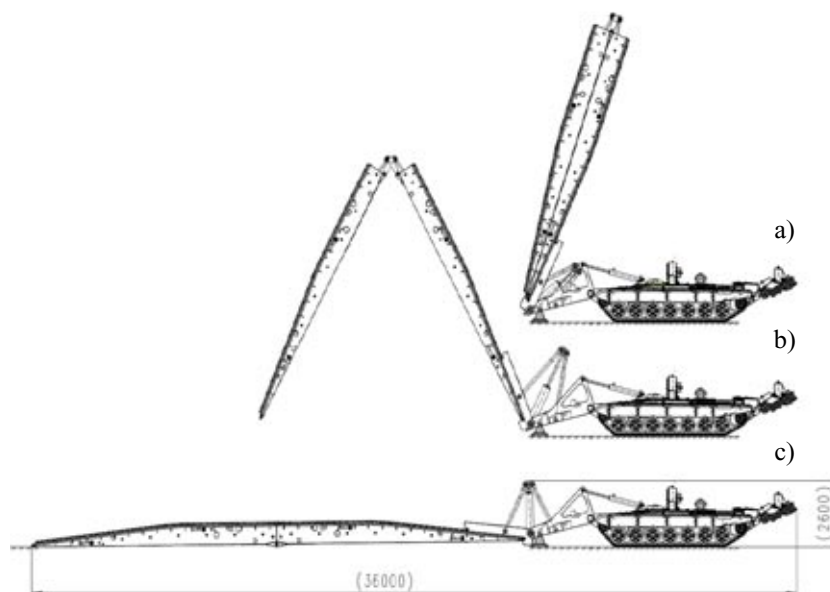
**Rys. 1. Rodzaje mostów wykorzystywanych w różnych fazach działań bojowych**

Ze względu na oddziaływanie ognia przeciwnika (bezpośredni i pośredni ostrzał) czas ustawiania przęsła tych mostów na przeszkodzie powinien być możliwie jak najkrótszy. Bezpośredni wpływ na czas i bezpieczeństwo ustawiania przęsła na przeszkodzie, po zatrzymaniu się pojazdu bazowego, ma szybkość jego rozkładania. Wiąże się to z występowaniem dużych obciążeń dynamicznych w czasie rozkładania i podejmowania przęsła – wynikających z jego masy oraz innych obciążeń zewnętrznych, wynikających np. z uwarunkowań atmosferycznych (podmuchów wiatru, dodatkowego obciążenia błotem itp.). Dlatego na etapie projektowania, obok analiz wytrzymałościowych, kładzie się duży nacisk na prowadzenie kompleksowych analiz zagadnień związanych z zapasem stateczności poprzecznej i podłużnej mostów taktycznych i wsparcia. Dotyczy to wszystkich faz pracy mostu. Na potrzeby realizacji tego zagadnienia konieczna jest wiedza z zakresu zasad działania mechanizmów mostów i znajomość zjawisk towarzyszących układaniu przęsła mostowych. Szczególnie ważne jest posiadanie informacji dotyczących wpływu bezwładności układów hydraulicznych lub ich awarii na stateczność mostu, możliwości wzrostu momentu wywracającego na skutek błędnej obsługi mostu przez operatora itp. Na etapie projektowania konieczne jest uwzględnienie wszystkich czynników mających niekorzystny wpływ na stateczność mostu, a następnie na etapie badań zweryfikowanie poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Pozwala to na uzyskanie krótkiego czasu budowy mostu (wymogi taktyczne) oraz bezpiecznych warunków pracy obsługi mostu (wymogi eksploatacyjne). Właściwe poznanie możliwości sprzętu pozwala na zastosowanie zautomatyzowanych systemów sterujących procesami układania i podejmowania przęsła, w celu uzyskania maksymalnej wydajności sprzętu, przy zachowaniu odpowiednich warunków bezpieczeństwa obsługi. Systemy te na poszczególnych etapach budowy mostu mogą w sposób automatyczny dokonywać regulacji wydajności układu hydraulicznego, co przekładać się będzie na prędkość układania i podejmowania przęsła, oraz mogą sygnalizować obsłudze ewentualne odchylenie podwozia bazowego od pionu lub dokonać automatycznego zatrzymania procesu układania.

### 3. STATECZNOŚĆ MOSTÓW NOŻYCOWYCH

Mosty układane na przeszkodzie w sposób nożycowy są konstrukcjami wymagającymi większego zapasu stateczności, w stosunku do mostów wysuwanych wzdłużnie. Wynika to ze zmiany wysokości położenia środka ciężkości przęsła w trakcie układania, co powoduje zwiększenie wpływu zjawisk atmosferycznych na stabilność procesu układania. Podczas procesu układania i podejmowania mostów nożycowych, konieczne jest

przechodzenie przęsła przez różne fazy położenia, jak przedstawiono to na rysunku 2. W trakcie gdy przęsło jest usytuowane pionowo względem podwozia, istnieje największe zagrożenie utraty stateczności mostu na skutek oddziaływania naporu wiatru na dużą powierzchnię czołową i boczną przęsła. Dodatkowo w ostatnim etapie układania przęsła na przeszkodzie, występuje konieczność spowolnienia jego ruchu, w celu uniknięcia uderzenia przęsłem o ziemię. Występuje wówczas dodatkowy moment wywracający spowodowany bezwładnością przęsła. W artykule przedstawiono wyniki badań i analiz prowadzonych podczas prac rozwojowych nad opracowaniem mostów - gąsienicowego MG-20 [4], [8] oraz samochodowego MS-20 [5], [9], wyposażonych w przęsła rozkładane nożycowo o masie 15 ton.



Rys. 2. Fazy układania przęsła mostu MG-20 na przeszkodzie [4]

### 3.1. Wyznaczenie zapasu stateczności wzdłużnej mostu MG-20 podczas rozkładania przęsła

Analizę zapasu stateczności wzdłużnej mostu MG-20 przeprowadzono dla najbardziej niekorzystnego przypadku występującego w trakcie układania przęsła. Dotyczy to przęsła znajdującego się bezpośrednio nad ziemią – kąt rozwarcia przęsła równy  $180^\circ$  (rys. 2.c).

Tablica 1. Wartości momentów stabilizujących i wywracających od elementów mostu oraz wyznaczony zapas stateczności wzdłużnej dla położenia rys. 2.c.

Element mostu	Odległość środka ciężkości od punktu wywrotu, m	Masa elementu, t	Moment, Tm
Podwozie bazowe	6,48	31,50	204,12
Przęsło	-12,35	15,0	-185,25
Siodło	9,03	1,50	13,55
Ramię główne	0,85	1,40	1,19
Ramię chwytne	-1,78	1,40	-2,49
Podpora	0,00	0,40	0,00
2 siłowniki układacza	4,13	1,20	4,96
2 siłowniki układacza	-0,45	1,20	-0,54
Moment stabilizujący			223,82

Moment wywracający	-188,28
Zapas stateczności	15,87 %

W tabeli 1 zamieszczono wartości momentów stabilizujących i wywracających od poszczególnych elementów konstrukcyjnych mostu oraz wyznaczony zapas stateczności wzdłużnej mostu.

Założenia Taktyczno-Techniczne na most towarzyszący na podwoziu gąsienicowym [10], określają minimalny zapas stateczności wzdłużnej na poziomie nie mniejszym niż 15%. Analiza zamieszczonych w tabeli wyników pozwala na stwierdzenie, iż zapas stateczności wzdłużnej, na poziomie 15,87%, podczas procesu układania przęsła na przeszkodzie jest wystarczający.

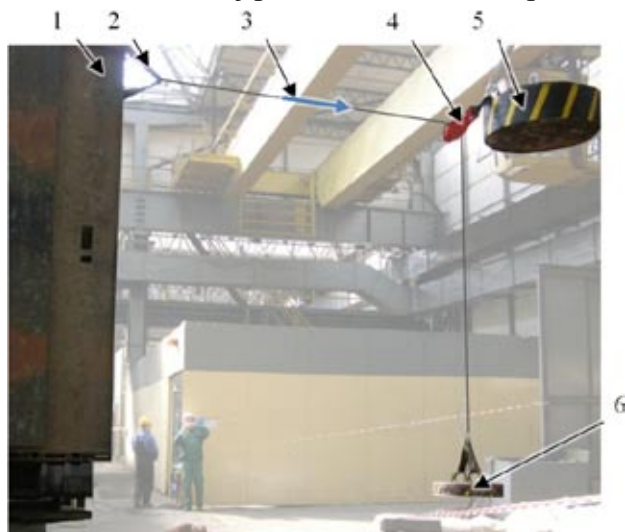
### 3.2. Sprawdzenie stateczności poprzecznej i wzdłużnej mostu MS-20, podczas rozkładania przęsła, przy oddziaływaniu wiatru o prędkości 30 m/s

Sprawdzenie odporności mostu na działanie wiatru wykonano metodą zastępczą, wg normy PN-ISO 4302:1998 [11], poprzez wyznaczenie siły granicznej, wynikającej z naporu wiatru. Sprawdzenia dokonano dla przypadku przemieszczania przęsła w najbardziej niekorzystnym położeniu, przy prędkości wiatru 30 m/s. Najbardziej niekorzystny przypadek obciążenia występuje przy pionowym ustawieniu przęsła i dla takiego też położenia przęsła przeprowadzono próby jego stateczności (rys. 3, rys. 4).

Dla potrzeb przeprowadzenia badań obliczono wielkość powierzchni przęsła narażonych na oddziaływanie wiatru – boczna (16,8 m<sup>2</sup>), czołowa (48 m<sup>2</sup>), dobrano wartość bezwymiarowego doświadczalnego współczynnika oporu  $K=1,7$  (z uwagi na konstrukcję pełnościenną przęsła), a następnie wyliczono siły aerodynamicznego naporu wiatru ze wzoru (1):

$$W = w \times A_{obl} = A_{obl} \times K \times v^2 / 16. \quad (1)$$

Obliczeniowe maksymalne siły aerodynamicznego naporu wiatru wyniosły odpowiednio: dla powierzchni bocznej przęsła 1512 kG, dla powierzchni czołowej przęsła 4320 kG.



**Rys. 3. Sprawdzenie metodą zastępczą odporności na działanie wiatru bocznego na przęsło w położeniu pionowym**

1 – przęsło w widoku od czoła, 2 – pas transportowy, 3 – lina stalowa, 4 – zblocze, 5 – balast, 6 – blok stalowy



**Rys. 4. Sprawdzenie metodą zastępczą odporności na działanie wiatru od czoła na przęsło w położeniu pionowym**

1 – przęsło w widoku od boku, 2 – pas transportowy, 3 – lina stalowa, 4 – zblocze, 5 – balast, 6 – blok stalowy

Sprawdzenie stateczności poprzecznej i wzdłużnej mostu przeprowadzono na stanowisku badawczym OBRUM [5]. Badanie stateczności poprzecznej polegało na zamocowaniu liny do przęsła na wysokości jego geometrycznego środka powierzchni bocznej, tj. 6,5 m oraz obciążeniu jej siłą 1512 kG, symulując działanie wiatru. Sprawdzenie stateczności wzdłużnej polegało na zamocowaniu liny do przęsła na wysokości jego geometrycznego środka powierzchni czołowej, tj. 6,25 m i obciążeniu jej siłą 4320 kG. W trakcie próby symulowania działania wiatru bocznego (rys. 3) oraz czołowego (rys. 4) nie stwierdzono utraty stateczności w postaci oderwania się podpory mostu od podłoża. W wyniku sprawdzenia stwierdzono, że most w najbardziej niekorzystnym położeniu przęsła jest odporny na działanie wiatru o prędkości do 30 m/s.

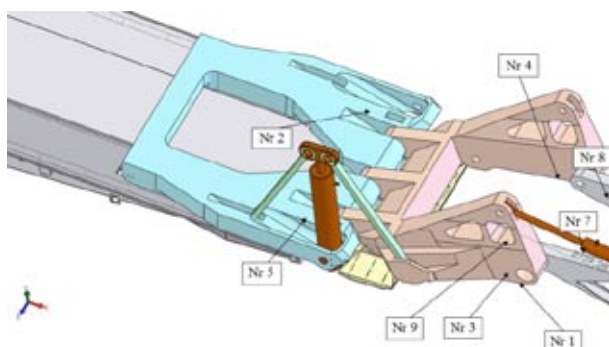
### 3.3. Sprawdzenie stateczności wzdłużnej mostu MG-20 podczas awaryjnego zatrzymania rozkładania przęsła

Celem sprawdzenia było określenie wartości dodatkowego momentu wywracającego, wynikającego z bezwładności przęsła podczas awaryjnego zatrzymania przęsła w trakcie jego układania [8]. Odniesienie wyznaczonej wartości do stawianych wymagań, mówiących o tym, aby powstałe w procesie układania i podejmowania przęsła nadwyżki dynamiczne nie były większe niż 10% maksymalnego momentu wywracającego [10], pozwoliło na sprawdzenie, czy konstrukcja przęsła i układu hydraulicznego spełnia wymogi bezpiecznej eksploatacji mostu.

Na potrzebę określenia wartości przyrostu momentu wywracającego, wynikającego z dynamiki i bezwładności układu, podczas układania przęsła, dokonano próby jego awaryjnego zatrzymania w najbardziej krytycznym położeniu (przęsło awaryjnie zatrzymane na wysokości 1 m nad ziemią – rys. 7). W trakcie próby dokonano pomiarów tensometrycznych naprężeń w wybranych punktach ramy układacza. W skład systemu pomiarowego wchodziły [8]:

- urządzenie pomiarowe LMS z kartą VB8E, współpracujące z czujnikami tensometrycznymi do pomiaru naprężeń;
- laptop HP Elitebook 8740w wraz z oprogramowaniem LMS Test.Xpress 4B umożliwiającym zarządzanie pomierzonymi danymi wraz z ich wszechstronną analizą;
- tensometry elektrooporowe firmy TENMEX – TFr-10(k).

Schemat rozmieszczenia tensometrów na układaczu przedstawiono na rysunku 5, widok usytuowania tensometrów numer 2 i 5 na rysunku 6, natomiast moment przedstawiający awaryjne zatrzymanie przęsła przedstawiono na rysunku 7. Wynikowe wykresy naprężeń zarejestrowanych dla przeprowadzonej próby przedstawiono na rysunku 8.



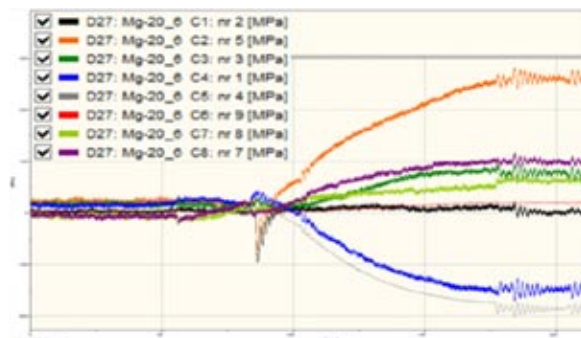
Rys. 5. Schemat rozmieszczenia tensometrów na układaczu



Rys. 6. Widok rozmieszczenia tensometrów na układaczu



Rys. 7. Moment awaryjnego zatrzymania przęsła na wysokości 1 m nad ziemią



Rys. 8. Zarejestrowany wykres naprężeń

Przyrost momentu wywracającego mostu MG-20 obliczono, na podstawie analizy zmian naprężeń w elementach układacza MG-20, podczas awaryjnego zatrzymania przęsła. Zapis wideo z badań umożliwił przyporządkowanie zmierzonych wartości naprężeń w konstrukcji układacza poszczególnym etapom układania przęsła. Następnie dla tych położenia przęsła wyznaczono momenty wywracające, wynikające z usytuowania przęsła względem punktu wywrotu (stopy układacza). Wyniki zestawiono w tabelicy 2. Pozwoliły one na wyznaczenie zależności momentu wywracającego w funkcji naprężeń układacza (rys. 9). Z wykresu naprężeń przedstawionego na rysunku 8 wynika, iż awaryjnemu zatrzymaniu przęsła towarzyszyły dodatkowe obciążenia dynamiczne przejawiające się występowaniem jego drgań i przyrostem naprężeń w ramie układacza.

Tabela 2. Zależność naprężeń w konstrukcji układacza od momentu wywracającego

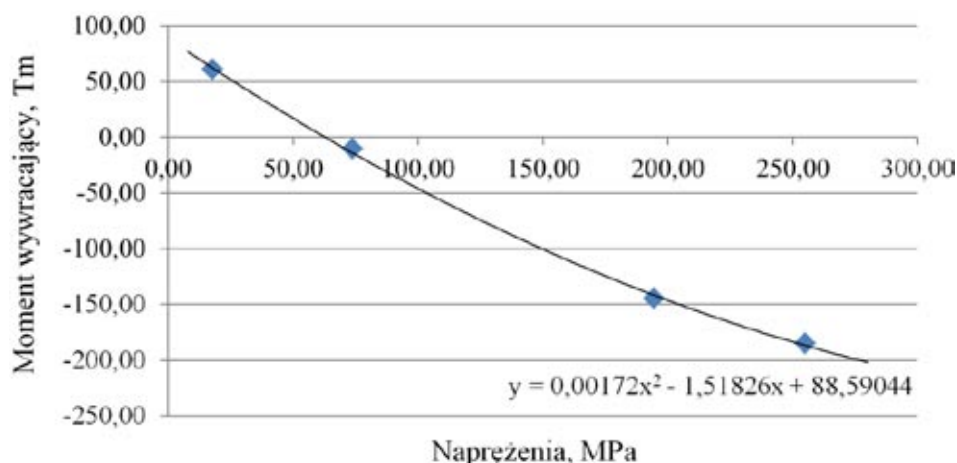
Etap rozkładania przęsła	Czas, t	Naprężenia, MPa	Moment wywracający, $T_m^*$	Odległość środka ciężkości od punktu wywrotu, m
Przęsło pod kątem 45° nad pojazdem bazowym	20,00	18,00	+60,00	4,00
Przęsło pionowo nad stopą podporową	47,00	74,00	-10,88	-0,73
Rozwarcie przęsła pod kątem 90°	87,00	195,00	-145,50	-9,70
Przęsło znajdujące się na wysokości 1 m nad ziemią	121,00	255,00	-185,25	-12,35
Awaryjne zatrzymanie na wysokości 1 m nad ziemią	121,00	283,00	<b>-203,32**</b>	-12,35

\* Moment o znaku „+” symbolizuje moment stabilizujący, a o znaku „-” moment wywracający.  
 \*\* Wartość obliczona ze wzoru opisującego krzywą zależności momentu wywracającego od naprężeń w układaczu (rys. 9)

Przyporządkowanie w tabelicy 2 momentu wywracającego zmierzonym naprężeniom, pozwoliło na wyznaczenie wykresu zależności momentu wywracającego (zależnego od usytuowania przęsła) w funkcji naprężeń występujących w konstrukcji układacza (rys. 9). Wyznaczoną linię trendu, opisano równaniem (2), które pozwoliło na obliczenie momentu wywracającego, występującego podczas awaryjnego zatrzymania przęsła na wysokości 1 m nad ziemią, dla którego zmierzono wartość naprężeń równą 283 MPa.

$$y = 0,00172 \times x^2 - 1,51826 \times x + 88,59044 \quad (2)$$

Wartość wyliczonego momentu wywracającego wyniosła 203,32 Tm.



**Rys. 9. Wykres zależności momentu wywracającego w funkcji naprężeń układacza**

Analiza danych z tablicy 2 pozwala stwierdzić, iż różnica pomiędzy maksymalnym momentem wywracającym, od przęsła znajdującego się na wysokości 1 m nad ziemią, a momentem występującym podczas awaryjnego zatrzymania, wynikającym z bezwładności przęsła, wynosi 18,07 Tm. Stanowi to 9,75% maksymalnego momentu wywracającego. Oznacza to spełnienie wymagania, określonego w ramach Założeń Taktyczno-Technicznych [10], mówiącego o tym, że „Układ hydrauliczny powinien być tak skonstruowany, aby nadwyżki dynamiczne, które mogą się pojawić podczas ruchu przęsła w procesie ustawiania i podejmowania przęsła oraz w przypadku gwałtownego zatrzymania się (np. spowodowanego pęknięciem przewodu) nie były większe niż 10% maksymalnego momentu wywracającego”. Spełnienie powyższego wymagania pozwala sądzić, iż uzyskany przez most MG-20 zapas stateczności jest wystarczający do zapewnienia bezpiecznej eksploatacji mostu. Można stwierdzić, że odpowiedni rozkład mas przęsła i układacza oraz konstrukcja układu hydraulicznego zapewniają wymaganą stateczność systemu zarówno statyczną, jak i dynamiczną.

#### 4. WNIOSKI

Mobilne mosty wojskowe, zarówno szturmowe, jak i wsparcia, stanowią istotny element systemu zapewnienia mobilności wojsk na polu walki oraz podczas misji pokojowych i likwidacji skutków katastrof i klęsk żywiołowych. Aby mogły wypełniać bezpiecznie swoje zadania, powinny być odpowiednio zaprojektowane i przebadane w zakresie spełnienia poniższych warunków.

1. Mosty nożycowe w czasie rozkładania powinny posiadać odpowiednią stateczność poprzeczną i wzdłużną, która umożliwi budowę mostu w różnych warunkach terenowych, z uwzględnieniem wszystkich czynników mających niekorzystny wpływ na ich stateczność.
2. Układ hydrauliczny, bezpośrednio odpowiedzialny za realizację zadań związanych z układaniem i podejmowaniem przęsła, powinien być tak zaprojektowany, aby na wypadek awarii nie powodować zagrożenia zdrowia obsługi, na skutek utraty stateczności mostu.
3. W konstrukcjach mostów nożycowych powinny być stosowane zautomatyzowane systemy sterowania procesami układania i podejmowania przęsła, które umożliwią szybką i bezpieczną budowę mostu.

4. Znajomość przez operatora parametrów stateczności mostu nożycowego oraz dynamiki przęsła w czasie budowy mostu, pozwala na szybkie zareagowanie w przypadku wystąpienia awarii, a tym samym na zapewnienie bezpiecznej obsługi mostu.

## 5. LITERATURA

- [1] Szelka J., Kamyk Z.: Kompozytowe mosty wojskowe. *Budownictwo i Architektura* 12(2) (2013) s. 63-70.
- [2] Sushir D. J., Ulhe P.N.: Failure Analysis of Centre Pin Joint Used in Heavy Assault Bridge. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) Volume 7, Issue 1, May- Jun 2013*, pp 05-11.
- [3] Łopatka M. J., Zelkowski J.: Wymagania stawiane współczesnym mostom wojskowym, *Szybkobieżne Pojazdy Gaśnicowe*, nr1/2009, s. 35-41.
- [4] Foremny S., Grabania M., Olek J.: Most towarzyszący na podwoziu gaśnicowym MG-20. IX Konferencja Naukowo-Techniczna, Inżynieria Wojskowa, problemy i perspektywy. WITI, Wrocław 2014 r., s. 99-108.
- [5] Kamyk Z., Malej W.: Badania mostów wojskowych na przykładzie badań kwalifikacyjnych mostu MS-20. *Biuletyn Naukowo-Techniczny Szybkobieżne Pojazdy Gaśnicowe*. (24) nr 1 2009 r. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urzędzeń Mechanicznych „OBRUM” Gliwice 2009. s. 57-70.
- [6] Krasoń W., Malachowski J.: Field test and numerical studies of the scissors-AVLB type bridge. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, Vol. 62, No. 1, 2014, pp. 103-112.
- [7] NO-01-A001:2011 Sprzęt inżynieryjny. Klasyfikacja i terminologia.
- [8] Sprawozdanie z badań kwalifikacyjnych mostu towarzyszącego na podwoziu gaśnicowym MG-20. WITI, Wrocław, 2012 r.
- [9] Bartnicki A., Marecki P.: Badania wytrzymałościowe mostu MS-20 z uwzględnieniem połączeń spawanych. VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa, Waplewo 2006. s. 62-72.
- [10] Założenia Taktyczno-Techniczne na most towarzyszący na podwoziu gaśnicowym. Warszawa DPZ MON, 2008 r.
- [11] PN-ISO 4302:1998 Dźwignice. Wyznaczenie obciążenia wiatrem.

## TESTS OF SCISSORS-TYPE BRIDGE STABILITY

**Abstract.** The paper presents functional classification of military bridges with respect to different phases of combat operations. Individual phases of positioning the bridge span over a gap are described, with particular attention paid to maintaining longitudinal and transverse stability. A method of determining the longitudinal stability margin and the additional overturning moment for the MG-20 bridge span is described. This moment results from the systems' inertia in the case of bridge span emergency stop during bridge launching. A method of verifying the longitudinal and transverse stability of the MS-20 bridge span in vertical position under windy conditions is also described. The analyses have demonstrated proper stability of both the MS-20 and MG-20 bridge spans.

**Keywords:** scissors-type bridge, longitudinal stability, transverse stability, stability margin.