



## Badania wytrzymałościowe i trwałościowe prototypu mostu samochodowego MS-20

ADAM BARTNICKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn,  
01-480 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono budowę stanowiska, metodykę oraz wybrane wyniki badań modelu wytrzymałościowego kolein mostu samochodowego MS-20. Opisano także próbę niszczenia badanych kolein.

**Słowa kluczowe:** mosty towarzyszące, mosty szturmowe, zabezpieczenie logistyczne, pokonywanie przeszkód

**Symbol UKD:** 623.2

### 1. Wprowadzenie

Pokonywanie przeszkód terenowych, realizowane w ramach logistycznego zabezpieczenia działań bojowych, spoczywa na wojskach inżynieryjnych Sił Zbrojnych RP. Właściwe wykonanie tego zadania, zapewnienie mobilności oddziałom i pododdziałom w trudnych warunkach terenowych, umożliwienie pokonania przeszkody wodnej, częstokroć decyduje o powodzeniu prowadzonych operacji. Dlatego wyposażenie pododdziałów inżynieryjnych w mosty towarzyszące i szturmowe, spełniające wymagania współczesnego pola walki, staje się jednym z zadań priorytetowych. W Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej od dłuższego czasu odczuwa się brak mostów towarzyszących na podwoziu kołowym, które umożliwiłyby pokonywanie wąskich przeszkód terenowych o szerokości do 20 m. Nośność takiego mostu powinna umożliwiać pokonywanie tych przeszkód przez wszystkie środki transportowe będące na wyposażeniu Sił Zbrojnych. Zakłada się, że pojazdy te nie będą wywoływały obciążenia większego niż 70 MLC (z ang. *Military Load*

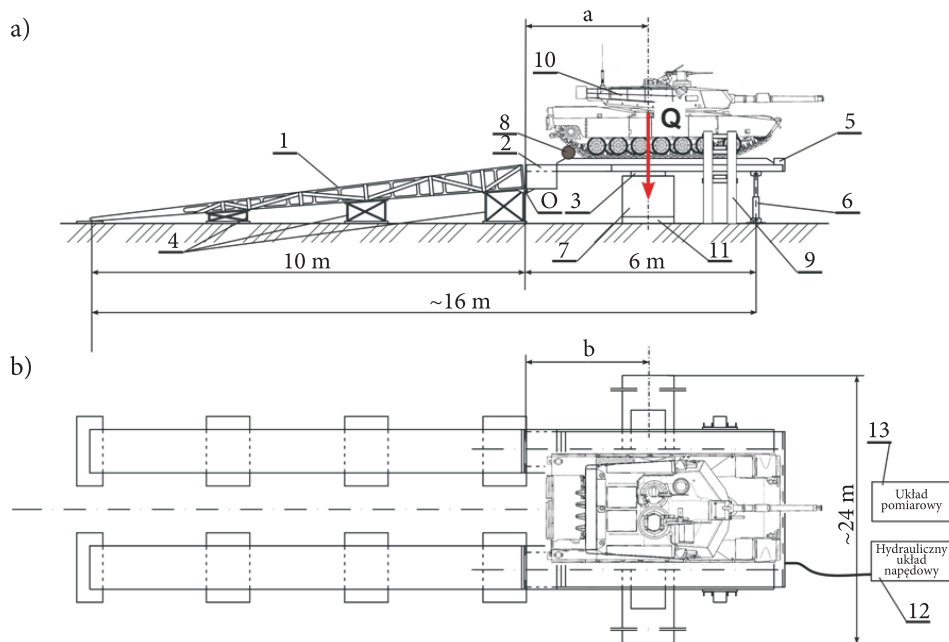
Class) dla pojazdów gaśnicowych i 110 MLC dla zestawów pojazdów kołowych. Stąd też w wyniku współpracy Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Urządzeń Mechanicznych w Gliwicach i Katedry Budowy Maszyn WAT powstała konstrukcja mostu samochodowego MS-20 (rys. 1), przeznaczonego dla pododdziałów inżynieryjno-drogowych szczebla taktycznego (ksap BZ, bsap ZT) i operacyjnego (pdm, ppont). W ramach tej współpracy przeprowadzono między innymi badania wytrzymałościowe i trwałościowe kolejiny prototypu mostu MS-20 na specjalnym stanowisku badawczym, zbudowanym w Katedrze Budowy Maszyn WAT, potwierdziły one poprawność konstrukcji i rozwiązań zbudowanego prototypu.



Rys. 1. Prototyp mostu samochodowego MS-20 [6]

## 2. Stanowisko badawcze

Schemat stanowiska do badań modelu wytrzymałościowego kolejiny mostu samochodowego MS-20 przedstawiono na rysunku 2. Na stanowisku tym przeprowadzono zarówno badania modelu wytrzymałościowego dźwigara mostu jak również prototypu pojedynczej kolejiny mostu samochodowego MS-20. Szczegółowy opis stanowiska zamieszczono w [4].



Rys. 2. Schemat stanowiska do badania nośności kolein mostowych: a) widok z boku; b) widok z góry: 1 — najazd, 2 — pomost obciążający, 3 — płyta przekazująca obciążenie, 4 — podpory, 5 — belka przednia, 6 — siłowniki obciążające przęsło, 7 — przęsło (koleina mostowa), 8 — belka tylna, 9 — prowadnice boczne, 10 — pojazd obciążający

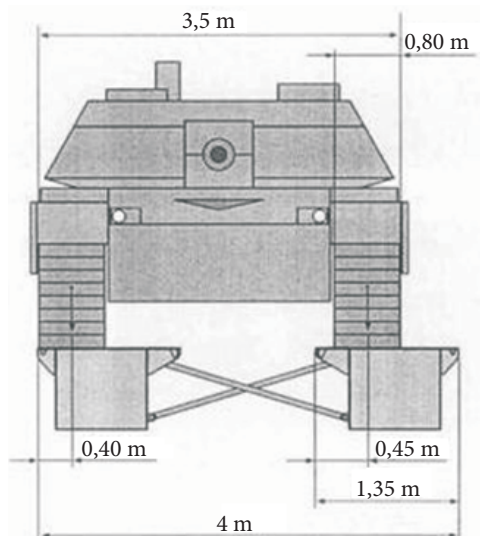
### 3. Badania koleiny mostu MS-20

#### 3.1. Badania wytrzymałości doraźnej

Przed przystąpieniem do badania wytrzymałości doraźnej dokonano badań wstępnych, podczas których rejestrowano strzałkę ugięcia oraz odkształcenia względne w pasie dolnym. Próbę przeprowadzono dla obciążenia maksymalnego (1,2 MLC 110 (W)).

Badania wytrzymałości doraźnej przeprowadzono, obciążając przęsło mimosrodowo siłami odpowiadającymi skrajnym położeniom lewej i prawej gaśienicy wzorcowego pojazdu gaśienicowego klasy MLC 70(T) (rys. 3). W obydwu położeniach płyty przekazującej obciążenie (3 — rys. 5) wywołano trzy obciążenia statyczne:

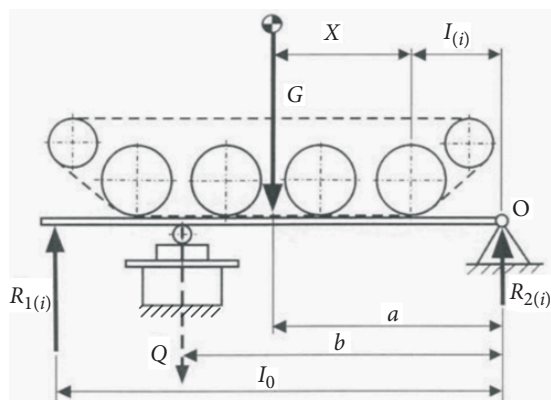
- 1 próba — obciążenie MLC 50 (T);
- 2 próba — obciążenie MLC 70 (T);
- 3 próba — obciążenie MLC 110 (W).



Rys. 3. Maksymalne mimośrodowe obciążenie koleiny od wzorcowego pojazdu klasy MLC 70

Definicje podstawowych wielkości obciążenia zostały przyjęte zgodnie ze STANAG 2021 [8] dla rozpiętości użytecznej przęsła mostu wynoszącej 20,5 m. Wartości poszczególnych obciążeń opisano w metodyce badań [9].

Wymagane obciążenie uzyskiwano poprzez najazd na pomost obciążający stanowiska badawczego czołgiem PT-91. Dokładne określenie wartości obciążenia dla poszczególnych prób następuje poprzez ustalenie położenia środka ciężkości czołgu na pomoście obciążającym. Realizowano to poprzez wyznaczenie odległości „ $a$ ” środka ciężkości czołgu od osi obrotu pomostu obciążającego „ $O$ ” (rys. 4).



Rys. 4. Układ obciążenia przyjęty do wyznaczania siły ciężkości pojazdu  $G$ , położenia środka ciężkości oraz określenia obciążenia bloku koleinowego  $Q$

Wartość  $a$  (tab. 1) została wyznaczona dla obciążeń odpowiadających wzorcowym momentom gnącym dla poszczególnych klas MLC przy długości płyty przekazującej obciążenie 4,57 m, zgodnie z zależnością:

$$a = \frac{Q \cdot b}{G}, \quad (1)$$

gdzie:  $G$  — siła ciężkości czołgu PT-91;  
 $Q$  — siła obciążająca koleinę;  
 $a, b$  — wymiary zgodnie z rysunkiem 4.

TABELA 1

Wartości mas odpowiadających wzorcowym pojazdom oraz położenie środka ciężkości czołgu PT-91

	Masa wzorcowa wg STANAG 2021 $m_W$ [kg]	Masa obciążająca pojedynczą koleinę ( $50\%m_W$ ) [kg]	Odległość $a$ [m] <sup>*</sup>
MLC 50	46360	22680	1,37
MLC 70	63500	31750	1,93
MLC 110	100000	50000	3,04

\* Dla  $b = 2,8$  m zgodnie z rysunkim 4.



Rys. 5. Widok ogólny stanowiska badawczego podczas prowadzenia badań: 1 — pojazd obciążający (czołg PT-91); 2 — pomost obciążający; 3 — płyta przekazująca obciążenie; 4 — przęsło (koleina mostu)

W pierwszej części cyklu badawczego podnoszono pomost obciążający na taką wysokość nad zespołem belki obciążającej, aby pomost nie miał z nią styku (3 do 5 cm powyżej). Następnie wprowadzano czołg PT-91 na pomost obciążający i unieruchamiano go w ustalonej odległości  $a$  od osi obrotu. W tym położeniu, przy odpowiednim zabezpieczeniu, ustalono położenie pojazdu na pomoście. Następnie, poprzez przesterowanie rozdzielaczy hydraulicznych, powoli opuszczano pomost obciążający na badany model koleiny mostu. W tym czasie mierzono wartość strzałki ugięcia koleiny mostu i wartości ciśnień w siłownikach hydraulicznych podnoszenia oraz stan i zachowanie się elementów składowych konstrukcji mostu. Opuszczanie pomostu odbywało się aż do chwili jego zatrzymania przez odkształcające się badane elementy koleiny. Następuje to w chwili uzyskania maksymalnej strzałki ugięcia przez badany ustrój nośny.

### 3.2. Badania wytrzymałości zmęczeniowej

Badania zmęczeniowe prototypu koleiny mostu przeprowadzono według specjalnie opracowanego dla tych badań programu.

Odwzorowanie żądanych obciążeń nastąpiło w taki sam sposób jak przy badaniu wytrzymałości doraźnej z tą różnicą, że koleina nie była już obciążana mimośrodowo tylko osiowo. Całość badań zmęczeniowych realizowano poprzez odwzorowanie 5500 cykli obciążenia według opracowanego programu badań. Cykl obciążenia odwzorowano w dwóch blokach pomiarowych po 2750 cykli obciążenia w każdym. Obciążenie w bloku pomiarowym odwzorowano dla sześciu wielkości (rodzaju) obciążenia z uwzględnieniem procentowego udziału w całkowitej liczbie cykli:

- pojazdy gąsienicowe klasy MLC 50 — 20% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym;
- pojazdy gąsienicowe klasy MLC 70 — 25% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym;
- pojazdy gąsienicowe klasy MLC 70 z 10% przeciążeniem — 5% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym;
- pojazdy kołowe klasy MLC 90 — 20% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym;
- pojazdy kołowe klasy MLC 110 — 25% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym;
- pojazdy kołowe klasy MLC 110 z 10% przeciążeniem — 5% liczby cykli obciążenia w bloku pomiarowym.

Zestawienie wartości liczbowych — liczby cykli w jednym bloku pomiarowym dla poszczególnych wartości obciążeń, usytuowanie belki obciążającej przedstawiono w tabeli 2. Wartości naprężeń oraz strzałki ugięcia rejestrowano dwukrotnie (na początku i końcu bloku pomiarowego).

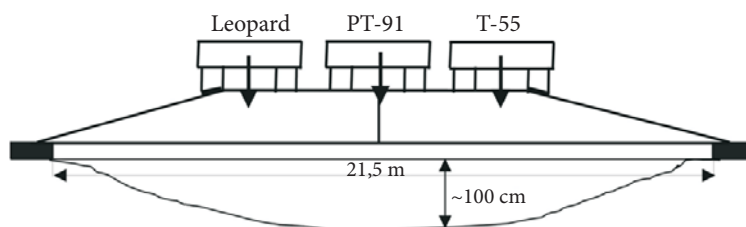
TABELA 2

Zestawienie parametrów obciążenia podczas badań zmęczeniowych prototypu koleiny mostu MS-20 odpowiadającego rozpiętości użytecznej mostu 20,5 m

Lp.	Odwzorowywane obciążenie	Moment obciążający	Procentowy udział w bloku pomiarowym	Liczba cykli w bloku pomiarowym
1	110% MLC 110 (W)	1980 kNm	5%	137
2	MLC 110 (W)	1800 kNm	25%	688
3	MLC 90 (W)	1540 kNm	20%	550
4	110% MLC 70 (T)	1510 kNm	5%	137
5	MLC 70 (T)	1370 kNm	25%	688
6	MLC 50 (T)	1000 kNm	20%	550

### 3.3. Próba niszcząca bloku koleinowego

Ponieważ próba wytrzymałości zmęczeniowej nie spowodowała trwałego uszkodzenia badanego prototypu, została przeprowadzona próba niszcząca. Polegała ona na zwiększaniu obciążenia prototypu dźwigara aż do jego trwałego odkształcenia — całkowitego lub miejscowego. Na etapie programowania badań, ze względu na złożony kształt badanej konstrukcji, nie można dokładnie przewidzieć, pod jakim obciążeniem i w którym miejscu to odkształcenie nastąpi. Schemat obciążenia podczas próby niszczącej jest widoczny na rysunku 6, a zestawienie wartości obciążeń składowych pokazano w tabeli 3.



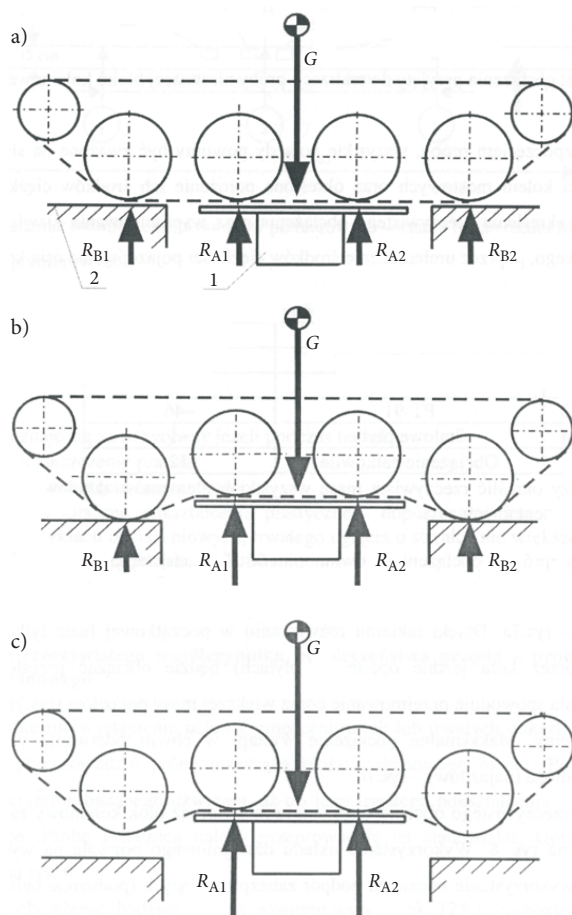
Rys. 6. Schemat stanowiska do realizacji próby niszczącej bloku koleinowego

Obciążenie to o wielkości całkowitej  $\sim 1290$  kN na jedną koleinę, pozwala określić obciążenie całego mostu (dwie koleiny) na  $\sim 2580$  kN. Podczas próby obciążenie narastało quasi-statycznie, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 7.

TABELA 3

Wielkości obciążeń składowych podczas próby niszczącej

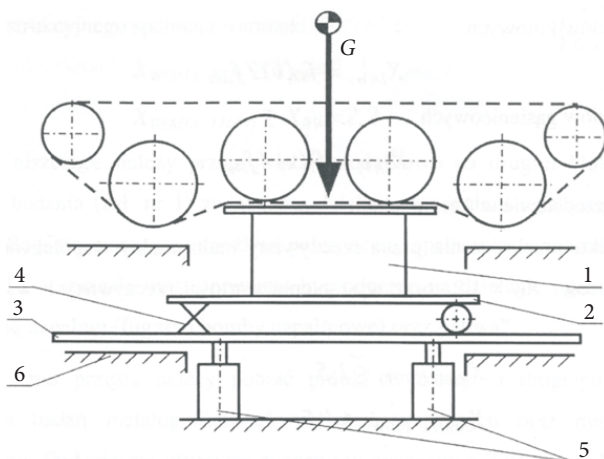
Lp.	Pojazd obciążający	Ciężar własny pojazdu [kN]
1	Leopard 1	~410
2	PT-91	~460
3	T-55 Merida	~420
	Obciążenie całkowite	~1290



Rys. 7. Metoda quasi-statycznego zwiększania obciążenia bloku koleinowego:  $G$  — siła ciężkości pojazdu;  $R_B$  — reakcje bierne (obciążenie przenoszone na najazdy);  $R_A$  — reakcje aktywne przenoszone na koleinę



Pomiaru rzeczywistego obciążenia przenoszonego na blok koleinowy dokonano na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rysunku 8. Podczas próby rejestrowano wartości strzałki ugięcia oraz naprężeń w dolnym pasie koleiny oraz uchach łączących. Ponadto za pomocą czujników siły (znajdujących się w podpórach) rejestrowano wartość rzeczywistego obciążenia przęsła mostu. Podczas próby niszczącej rozstaw podpór wynosił 21,5 m.



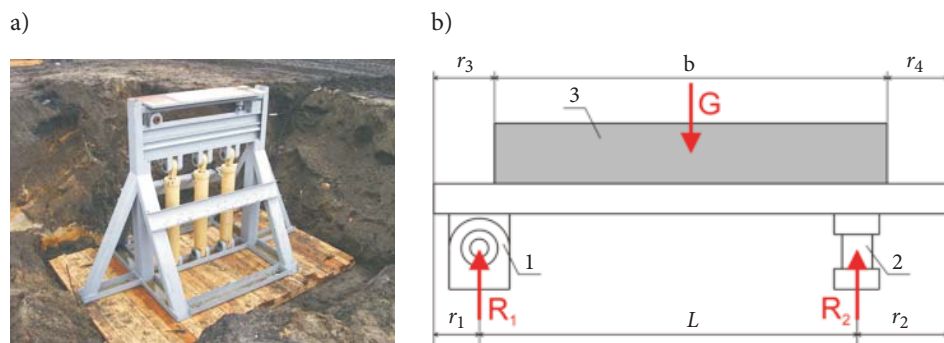
Rys. 8. Schemat stanowiska do pomiaru obciążenia bloku koleinowego: 1 — blok koleinowy mostu; 2 — belka podpierająca blok; 3 — belka podnoszona siłownikami; 4 — czujnik siły; 5 — siłowniki hydrauliczne podnośnika; 6 — podpory zabezpieczające

Ze względu na niesymetryczny rozkład sił między przegubem i czujnikiem siły, obciążenie podpory określono według zależności:

$$G = \frac{R_2}{\left( \frac{b}{2} + r_3 - r_1 \right) / L}, \quad (2)$$

gdzie:  $G$  — siła obciążająca podporę mostu;  
 $r_{1,2,3,4}$ ,  $L$ ,  $b$  — wymiary geometryczne podparcia koleiny (zgodne z rysunkiem 9b) zamieszczono w tabeli 4.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że reakcja mierzona czujnikiem siły stanowi odpowiednio: dla lewej podpory — ~49% siły obciążającej przęsło, dla prawej podpory — ~55,5% siły obciążającej przęsło.



Rys. 9. Podpora podpierająca przęsło podczas próby niszczącej: a) widok ogólny; b) schemat podparcia przęsła na podporze: 1 — przegub, 2 — czujnik siły, 3 — przęsło mostu

TABELA 4

Wartości poszczególnych wymiarów przedstawionych na rysunku 9b

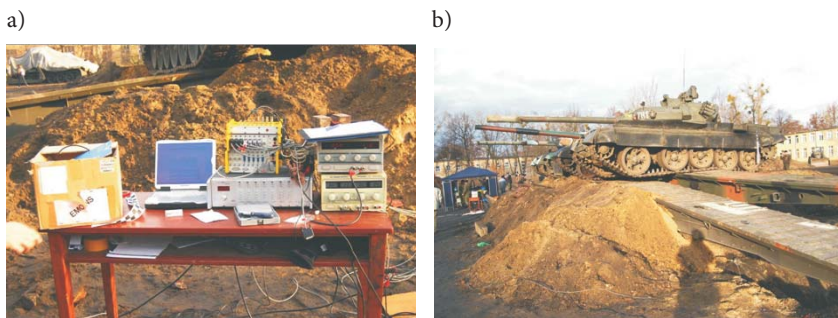
Podpora	$r_1$ [mm]	$r_2$ [mm]	$r_3$ [mm]	$r_4$ [mm]	$L$ [mm]	$b$ [mm]
LEWA	145	270	175	195	1285	1330
PRAWA	140	265	185	185	1285	1330

Próbie niszczącą przeprowadzono na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku badawczym, którego widok podczas przygotowań przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Widok prototypu kolejiny mostu MS-20 podczas przygotowywania stanowiska badawczego do wykonania próby niszczącej: 1 — blok kolejinowy; 2 — podpory hydrauliczne

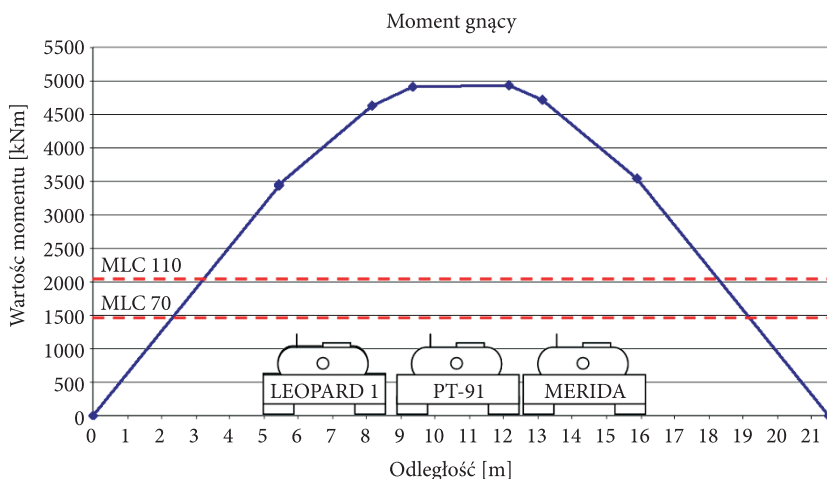
Przed przystąpieniem do próby niszczącej za pomocą czujników siły znajdujących się w podporach zważono poszczególne czołgi (wyniki w tabeli 3). Następnie najechano na koleinę mostu trzema czołgami: Leopard 1, PT-91 oraz T-55 (rys. 11b).



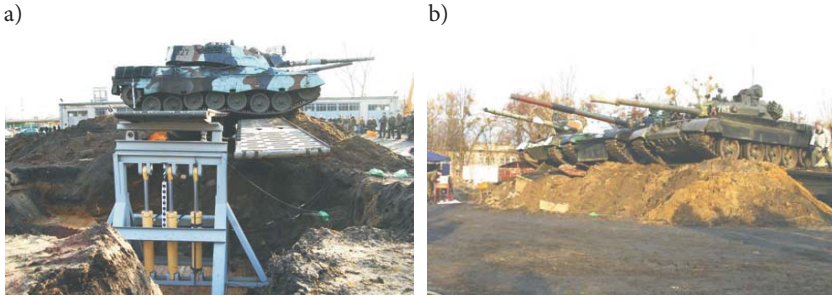
Rys. 11. Widok stanowiska przed przystąpieniem do wykonania próby niszczącej a) zestaw pomiarowy; b) stanowisko badawcze

Poprzez podnoszenie na podporach hydraulicznych koleiny mostu zwiększano quasi-statycznie obciążenie pojedynczego dźwigara, aż do chwili całkowitego odebrwania się gąsienic czołgów od podłoża. Wyznaczony maksymalny moment gnący obciążający pojedynczą koleinę osiągnął  $M_g = 4920$  kNm (rys. 12).

Podczas wykonywania próby oraz obciążenia pojedynczej koleiny momentem gnącym wynoszącym  $M_g = 4920$  kNm nie nastąpiło zniszczenie koleiny. Nie wyznaczono zatem rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa.



Rys. 12. Wyznaczony wykres obciążającego momentu gnącego  $M_g$  pojedynczej koleiny oraz wartości wzorcowych momentów gnących MLC70 oraz MLC110 odpowiadających rozpiętości mostu  $L_u = 21,5$  m



Rys. 13. Widok czołgów obciążających podczas obciążenia przęsła maksymalnym momentem gnącym

Na podstawie zarejestrowanego momentu gnącego  $M_g$  wyznaczono statyczny współczynnik bezpieczeństwa próby  $X_p$  w odniesieniu do wzorcowych momentów gnących odpowiadających rozpiętości użytecznej mostu 21,5 m:

$$X_{P(MLC70T)} = \frac{M_g}{M_g(70)} = \frac{4920}{1496} = 3,29,$$

$$X_{P(MLC110W)} = \frac{M_g}{M_g(110)} = \frac{4920}{2026} = 2,43$$

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania doświadczalne koleiny mostu MS-20 wykazały, że przyjęta struktura wytrzymałościowa zapewnia przenoszenie wymaganych obciążeń eksploatacyjnych w zakresie przyjętej liczby cykli (powyżej 5000) i poziomów obciążenia.

Stwierdzone wartości naprężeń w elementach kolein nie przekroczyły poziomu dopuszczalnego, tj. 500 MPa, a wartości statycznych współczynników bezpieczeństwa spełniają wymogi ZTT.

Wyznaczone maksymalne ugięcia koleiny nie przekraczają wartości prognozowanych w obliczeniach numerycznych tj. 240 mm, a obciążenie pojedynczej koleiny w próbie niszczącej momentem gnącym  $M_g = 4920$  kNm nie spowodowało zniszczenia koleiny i nie wywołało trwałych odkształceń plastycznych.

Artykuł wpłynął do redakcji 20.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w listopadzie 2009 r.

## LITERATURA

- [1] Z. DYLAŁG, A. JAKUBOWICZ, Z. ORŁOŚ, *Wytrzymałość materiałów*, WNT, Warszawa, 2003.
- [2] S. KOCAŃDA, *Niskocyklowa wytrzymałość zmęczeniowa metali*, PWN, 1989.
- [3] S. KOCAŃDA, *Zmęczeniowe pękanie stali*, WNT, 1985.
- [4] F. KUCZMARSKI, P. MARECKI, W. PŁOCHARZ, *Badania wytrzymałościowe i trwałościowe kolein mostu towarzyszącego MS-20; Cz. I. Stanowisko badawcze*, V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia”, Waplewo, 2004.
- [5] M. MICHURSKI, Z. ZARADNY, *Sprzęt przeprawowo-mostowy*, Przegląd Wojsk Lądowych, 10, 1997.
- [6] M. SITARSKI, *Most samochodowy MS-20 Dąglezja*, Nowa Technika Wojskowa, 3, 2009.
- [5] Z. ZARADNY, W. MALEJ, *Tendencje rozwojowe sprzętu mostowo-przeprawowego*, Przegląd Wojsk Lądowych, 2, 2003.
- [7] *Czołgi mostowe*, Wojskowy Przegląd Techniczny, 7, 1980.
- [8] *Program badań kwalifikacyjnych prototypu mostu samochodowego MS-20*, DPZ MON, 2006.
- [9] *Sprawozdanie z badań trwałościowo-zmęczeniowych i badań niszczących prototypu mostu samochodowego MS-20*.
- [10] STANAG Nr 2021.
- [11] *Założenia taktyczno-techniczne mostu samochodowego MS-20*, Departament Polityki Zbrojeniowej Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 2003.

A. BARTNICKI

**Strenght and fatigue life tests of MS20 — support bridge sections**

**Abstract.** The paper presents a description of a stand, methodology and some results of strength investigations of MS20 — Support Bridge sections model. A destructive test of the sections is also described.

**Keywords:** assault bridge, logistics, surmounting obstacles

**Universal Decimal Classification:** 623.2

