

Zbigniew KAMYK¹,
Cezary ŚLIWIŃSKI¹,
Wojciech BŁAŻEJEWSKI²,
Adrianna FILIPIAK²,
Aleksandra WIRA²,
Magdalena WOJCIECHOWSKA²,
Paweł STABLA².

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WSPÓŁPRACY POMIĘDZY WOJSKOWYM INSTYTUTEM TECHNIKI INŻYNIERYJNEJ I POLITECHNIKĄ WROCŁAWSKĄ W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, WYTWARZANIA I BADAŃ LEKKICH KONSTRUKCJI KOMPOZYTOWYCH NA PRZYKŁADZIE OPRACOWANEGO MOSTU PONTONOWEGO

1. Wstęp

Mosty pływające stosuje się do przepraw tymczasowych, w tym wojskowych. Najstarszym obiektem tego typu w Polsce był most pontonowy zbudowany specjalnie dla przemarszu wojsk Polskich i Litewskich podczas przygotowań do Bitwy pod Grunwaldem. Most ten składał się ze 150 łodzi i miał długość ok. 500 m. Zbudowany na skraju puszczy kozienickiej został spławiony do Czerwińska i ustawiony w ciągu pół dnia. Pozwolił na 3 dniowy, ciągły przemarsz wojsk. Mosty pływające, zwane łyżwowymi, budowano przy wielu kolejnych wyprawach wojennych w roku 1414 pod Zakroczymiem, 1419 i 1422 pod Czerwińskiem [1]. Przeprawy te posiadały zasadnicze cechy zwiększające ich trwałość. Były to mosty ruchome, możliwe do szybkiej naprawy i demontażu w przypadku wezbrań wody. Nie wymagały ponadto budowy kosztownego posadowienia. Z tych powodów powstawały one na przestrzeni lat w większych ośrodkach handlu. Znane są min. cztery mosty z roku 1756 wybudowane przez Szwedów w Warszawie [2], most łyżwowy wojsk rosyjskich z 1815 roku w Płocku (istniejący w drewnianej formie do roku 1895), oraz 637,48 metrowy most we Włocławku (z roku 1865) służący celom cywilnym do 1914 roku (rys.1). Współcześnie największe mosty pływające powstały w USA i Japonii, a najnowszymi konstrukcjami są: Bergsoysund Floating Bridge o długości 845 m (Kristiansund) zbudowany

¹ WITI – Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego

² Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny

w 1992 roku i Nordhordland Floating Bridge (Salhus) o długości 1246 m z roku 1994 w Norwegii [4,5].



Rys. 1. Otwarty most łyżwowy przez Wisłę we Włocławku, widok sprzed 1914 r. [3]

2. Nowoczesne mosty i materiały

Mosty kompozytowe budowane są od około 30 lat. Pierwsze na świecie konstrukcje z kompozytów polimerowych powstały w Chinach, w miejscowości Miyun (1982 r.) oraz kładka w Aberfeldy (Szkocja 1990-92 r.) czy Bonds Mill Lock Bridge (Anglia 1994 r.). Zastosowanie tworzyw wzmocnionych włóknami węglowymi, szklanymi i aramidowymi jest coraz szersze, czego dowodzą autorzy prac [6,7,8]. Wraz z konstrukcjami cywilnymi powstają również całkowicie kompozytowe obiekty militarne, głównie na potrzeby armii amerykańskiej i kanadyjskiej [9-12].

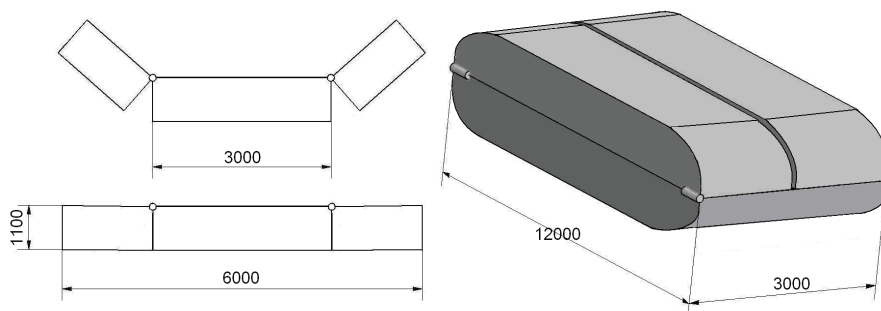
Podstawowymi zaletami kompozytów włóknistych w porównaniu do materiałów tradycyjnych są wysoka wytrzymałość właściwa, dużo wyższa wytrzymałość zmęczeniowa, wysoka odporność chemiczna (korozyjna) i na narażenia atmosferyczne w tym UV, programowana struktura itd. Cechy te przesądzają o przydatności materiałów kompozytowych w budowie mostów.

Również w Polsce powstają pierwsze konstrukcje mostów kompozytowych lub wykorzystujących elementy wyprodukowane z użyciem kompozytów włóknistych (kładka nad grupową oczyszczalnią ścieków w Łodzi 2002 r. oraz pomost kładki nad S11 w Gądkach 2008 r.) a także most drogowy w Błazowej k. Rzeszowa (2015). Najnowszym przedsięwzięciem podjętym przez Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej i Politechnikę Wrocławską jest opracowanie technologii oraz koncepcji budowy lekkiego pontonu przeznaczonego do budowy mostów tymczasowych. Projekt ten doczekał się realizacji oraz testów, które potwierdziły słuszność jego założeń.

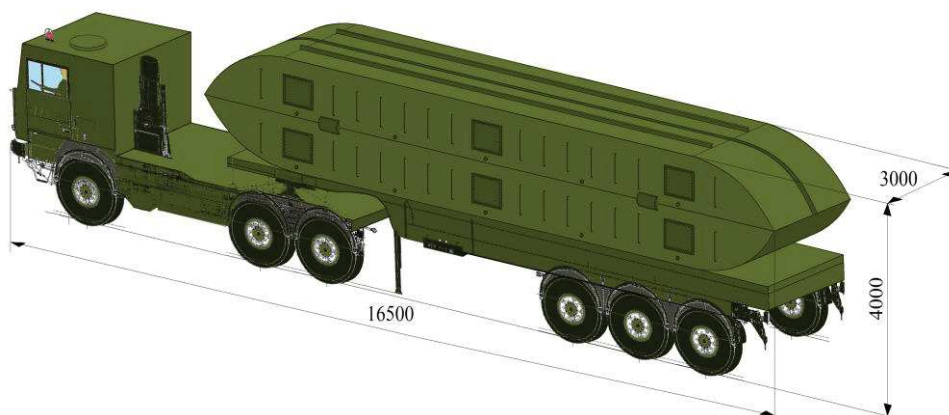
3. Kompozytowy most pontonowy

Mosty mobilne muszą spełniać szereg kryteriów dostosowujących je zarówno do wymagań stawianych obiektom mostowym jak i ładunkom przewożonym przez rozmaite środki transportu. Pożądanymi cechami są niska masa, wytrzymałość, prosta technologia montażu oraz kompatybilność z popularnymi, lecz historycznymi systemami. Z tych powodów nowoczesny most pontonowy oparty jest konstrukcyjnie na maksymalnym wykorzystaniu materiałów kompozytowych, przyjmując formę tradycyjną, zgodną z polską przeprawą typu PP-64. Wykonany został w ramach

projektu rozwojowego nr 03003906, pt. „Lekki, odporny na oddziaływanie degradacyjne środowiska, hybrydowy ponton aluminiowo-kompozytowy do budowy mostów pływających klasy MLC 70/110”. Ten pierwszy na Świecie, lekki segment mostu składa się z trzech członów w tzw. układzie „V”. Prototypowy blok pontonowy został wykonany z trzech części (rys. 2), z których każda według innej technologii w celach poznawczych tych innowacyjnych rozwiązań. Geometria zestawu pozwala na składanie na wierzch jednostki centralnej dwóch, zawiasowo zamocowanych, członów. Całość zamknięta w blok jest przeznaczona do transportu na naczepie samochodu ciężarowego (rys. 3).



Rys. 2. Koncepcja trzyczłonowego bloku pontonowego „V”

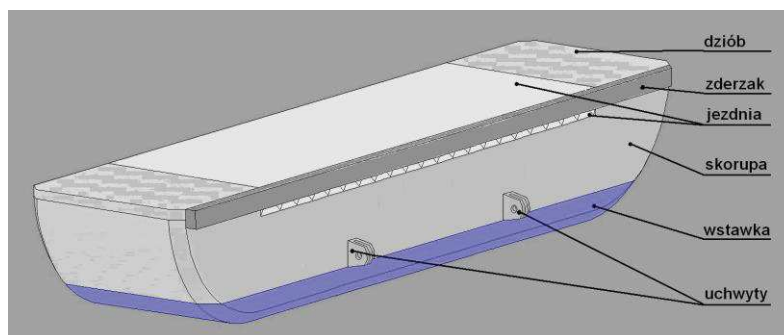


Rys. 3 Koncepcja umieszczenia bloku na naczepie

Korpusy członów centralnego oraz jednego z bocznych wykonane są ze spawanych blach aluminiowych. Wolne przestrzenie wypełnione są materiałem niezatapialnym o porach zamkniętych (np. styropian). Dzioby i rufy tych elementów zaprojektowano z materiałów kompozytowych wzmocnionych włóknami szklanymi z matrycą żywicy epoksydowej. Poszczególne pontony – sekcje mostu łączone są sworzniowo według systemu PP-64 Wstęga. Uchwyty sekcji wbudowane są w strukturę wewnętrzną pontonu (rys. 4).

Trzeci człon zaprojektowano jako w pełni kompozytowy (rys. 4) oraz ponton górny (rys. 5). Składa się z materiału kompozytowego wzmocnionego włóknem szklanym, aramidowym i węglowym, wypełnionego piankami konstrukcyjnymi. Taka struktura zapewnia dużą sztywność i odporność na uszkodzenia pontonu. Dno również

ma budowę przekładkową oraz w tych konstrukcjach jako najbardziej zużywające się, jest przewidziane jako wymienne.



Rys. 4. Schemat przyjętej koncepcji budowy jednego z członów całkowicie kompozytowego.
Zaznaczono wymienne dno pontonu

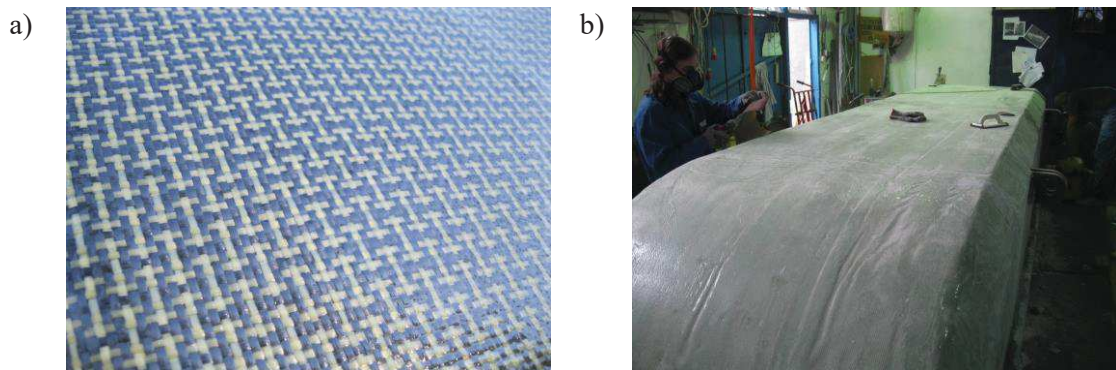


Rys. 5. Widok dwóch pływaków, pp-64 u dołu oraz całkowicie kompozytowy prototyp u góry

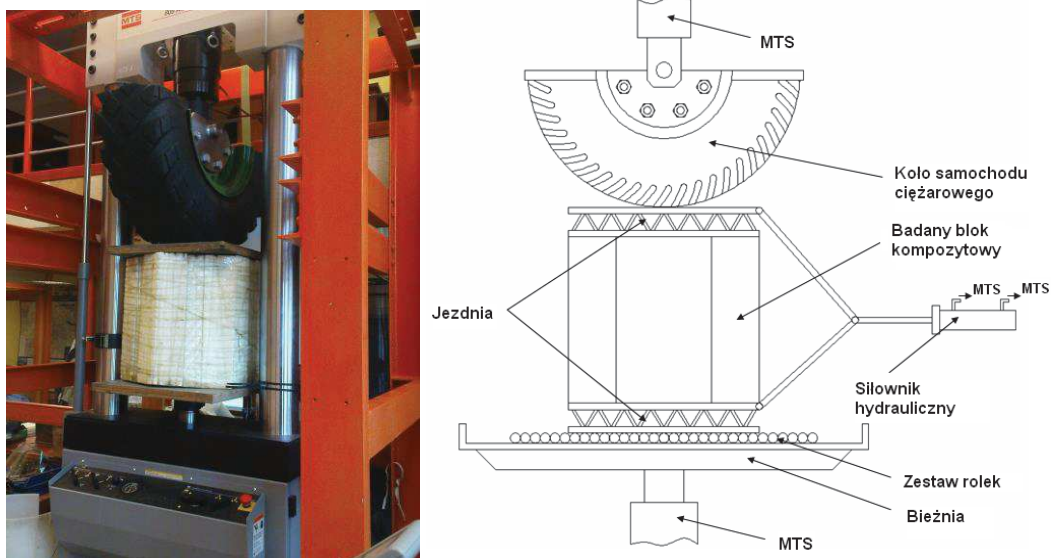
Strukturę pontonu kompozytowego stanowi przestrzenna konstrukcja z laminatu przekładkowego i różnego typu uźebrowań a także wypełnień piankowych. Wytrzymałość tego elementu została dobrana do charakteru obciążeń występujących podczas eksploatacji w klasie MLC 70/110. Warstwę wierzchnią wykonano z aluminiowej blachy ryflowanej dla osiągnięcia odpowiedniej przyczepności kół pojazdów oraz zapewnienia odporności na ścieranie. Nawierzchnia ta jest częścią integralną pontonu, dlatego badania laboratoryjne jej próbki przeprowadzone zostały na fragmencie jego sekcji (rys. 6).

Badania nawierzchni miały na celu sprawdzenie wytrzymałości na naciski podczas przetaczania koła wojskowego samochodu ciężarowego nacisku 90,7 kN. W tym celu zaprojektowano i wykonano stanowisko symulujące przetaczanie się koła w cyklu wahadłowym. Obciążenie pochodzące od nacisku pojazdu na koło zapewnił pulsator hydrauliczny MTS 810 (rys. 7). Specjalna przystawka o kształcie i cechach

standardowego koła wywierała nacisk na fragment nawierzchni wraz z elementami sekcji mostu. Badaną próbkę wykonano w ten sposób, że po obydwu stronach (górnej i dolnej) posiadała nawierzchnię. Pozwoliło to na dokonanie większej ilości złożonych prób przy użyciu jednego fragmentu mostu. W dolnym uchwycie pulsatora zainstalowano przesuwny stół stalowy o wymiarach 600×920 mm. Horyzontalny ruch w zakresie ±200 mm wywoływany był poprzez siłownik hydrauliczny sterowany również poprzez układ MTS 810.



Rys. 6. a) Powierzchnia pływaka kompozytowego, tkanina z włókien aramidowo-węglowych zapewnia trwałość, b) Wytwarzanie członu kompozytowego w laboratorium kompozytów na Politechnice Wrocławskiej



Rys. 7. Oryginalne stanowisko do badań elementów bloku pontonowego

4. Parametry techniczne pontonu

Wymagania stawiane mostom pontonowym są złożone. Pod względem obciążeń eksploatacyjnych konieczne jest dostosowanie konstrukcji zarówno do wymogów wojskowych (wytyczne NATO [13]) jak i cywilnych (Polska Norma [14]). Pod względem obciążeń militarnych ponton powinien spełniać wymagania zalecanej klasy MLC 70/110. Jej nazwa wskazuje na ciężar pojazdu poruszającego się po moście: 70 t –

np. pojazd gąsienicowy, 110 t – pojazd kołowy (ciągnik siodłowy z naczepą). Charakter oddziaływań obydwu typów pojazdu jest odmienny. Rozpatrując globalne obciążenia obiektu można stwierdzić, że pojazdy gąsienicowe są ciężkie, lecz charakteryzują się dużą powierzchnią nacisku. W przypadku pojazdów kołowych o przydatności obiektu stanowi lokalna wytrzymałość nawierzchni. Klasa MLC 70/110 determinuje obciążenie osi o wartości 309,7 kN. Elementy pomostu obciążane są siłą 90,7 kN przypadającą na powierzchnię 0,4×0,5 m. Z kolei obciążenie pojazdem gąsienicowym generowane jest siłą 317,5 kN rozłożoną na powierzchni 4,57×0,79 m [6]. Na takie obciążenia zaprojektowano i wykonano prototypowy ponton opierając się na wymaganiach zamawiającego (DPZ MON) i normie obronnej [15].

Trwałość pontonu, według założeń normowych powinna wynosić 30 lat. W tym okresie może nastąpić 5 tys. przejazdów pojazdów klasy MLC 70/110. Maksymalna liczba pojedynczych kół ciągnika i naczepy podczas każdego z nich wynosi 10. Z tego powodu nawierzchnia pontonu powinna wytrzymać 25 tys. cykli obciążenia zmęczeniowego, więc jej wytrzymałość można uznać za niskocyklową. O trwałości mostu pontonowego będzie również decydowała prostota i sposób jego montażu. Pozytywną cechą konstrukcji kompozytowej w porównaniu do standardowego segmentu PP-64 jest utrzymanie jej pływalności w przypadku nawet znacznego rozszczelnienia poszycia (prześczerzenie lub wyrwanie fragmentu). Dodatkową korzyścią jest możliwość naprawy uszkodzeń przy użyciu podręcznych narzędzi.

5. Polski prototypowy ponton kompozytowy

Prezentowany ponton kompozytowy został wykonany przy współudziale Wojskowego Instytutu Techniki Inżynieryjnej (WITI) oraz Politechniki Wrocławskiej. Podczas prób gotowego prototypu, w 2012 r. segmenty pontonu zostały zwodowane i połączone z pontonami polskiego mostu wojskowego PP-64 (rys. 8). Po wstędze przejechały kolejno pojazdy wojskowe o różnej masie, między innymi: Star 266, prototypowy pojazd rozminowania oraz prototypowy Kołowy Transporter Rozpoznania Inżynieryjnego o masie ponad 25 ton – rys. 9. Most z powodzeniem wytrzymał przejazd ww. pojazdów spełniając wymagania użytkowe.



Rys. 8. Transport segmentu oraz budowa przeprawy w połączeniu z segmentami PP-64



Rys. 9. Próba obciążenia pojazdem kołowym

6. Podsumowanie

W ramach pracy przeanalizowano możliwości współpracy naukowej pomiędzy Wojskowym Instytutem Techniki Inżynierskiej oraz Politechniką Wrocławską w zakresie projektowania, wytwarzania i badań konstrukcji lekkich. W założeniach współpracy kluczowym materiałem konstrukcyjnym jest kompozyt polimerowy wzmocniany wysoko wytrzymałymi włóknami (szklane, węglowe, aramidowe). Punktem wyjściowym rozważań podjętych w ramach pracy był zrealizowany na wysokim poziomie projekt pt. Lekki, odporny na oddziaływania degradacyjne środowiska, hybrydowy ponton aluminiowo–kompozytowy do budowy mostów pływających klasy MLC 70/110. W ramach tego projektu został wykonany i przetestowany także w warunkach poligonowych prototyp kompozytowego mostu pontonowego. Każdy z trzech pływaków jednego prototypowego modułu był wykonany według innej technologii. Część środkowa była w większości wykonana z aluminium przez firmę PREMO, natomiast jeden z mniejszych pływaków oraz wszystkie części dziobowe był wykonany całkowicie z polimerowego materiału kompozytowego wzmocnionego włóknem szklanym, aramidowym i węglowym w laboratorium kompozytów Politechniki Wrocławskiej. Wnętrze było wypełnione piankami różnego typu.

W czasie udanych testów poligonowych przeprowadzonych przez WITI, wykonane człony były łączone z pontonami PP-64. Jednym z końcowych etapów obszernego programu testów był wielokrotny przejazd przez prototypowy most pontonowy transportera opancerzonego Ryś o masie 25 ton. W czasie przepraw wielu innych pojazdów w ramach badań poligonowych monitorowano ewentualne uszkodzenia. Nie stwierdzono żadnych uszkodzeń przęsła ani przekroczenia zapasu pływalności. Przeprowadzono również badania przemieszczeń elementów mostu pod obciążeniem ww. pojazdami z użyciem skanera przestrzennego. W ramach prac nad pontonem przeprowadzono wiele innych badań, np. pomiar odkształceń metodami tensometrycznymi w czasie badań na odpowiednio ukształtowanych pryzmach piasku, liczne badania technologii wykonania kolejnych elementów, badania wytrzymałościowe węzłów wewnętrznych itp. Przedstawione badania wykazały, że istnieje możliwość

wykorzystania kompozytów polimerowych do konstruowania mostów wojskowych oraz mobilnych konstrukcji mostów zespolonych. Zastosowanie kompozytów w mostach, zarówno wojskowych, jak i cywilnych, daje unikalne zalety wynikające z wytrzymałości właściwej tych materiałów w porównaniu do stali i aluminium, jak również najlepszą odporność korozyjną – odporność na narażenia atmosferyczne w czasie składowania. Dlatego kompozyty polimerowe mają dużą przyszłość w mostownictwie.

Zaprezentowany polski most pontonowy jest konstrukcją wykazującą unikalne zalety trwałości i bezpieczeństwa użytkowania. Wynikają one głównie z zastosowania nowoczesnych materiałów kompozytowych, zapewniających odporność korozyjną, wysoką wytrzymałość i niską masę własną z zachowaniem umiarkowanego kosztu wykonania. Przykład nowego pontonu potwierdza przydatność zastosowań kompozytów polimerowych w mostownictwie. Jest także dowodem na pozytywny wpływ współpracy uczelni technicznej z jednostką projektowo-badawczą polskiej armii. Uznano, że środowisko wrocławskie może podjąć się wykonania prototypowych zestawów parku mostu pontonowego i innych lekkich konstrukcji zbudowanych z polimerowych materiałów kompozytowych.

Praca finansowana z środków utrzymania potencjału badawczego, projekt nr 0401/0029/17.

Literatura

- [1] CHWAŚCIŃSKI B., Mosty na Wiśle i ich budowniczy, Warszawa 1997,
- [2] STERNER W., Mosty Warszawy, PWT Warszawa 1960,
- [3] KALISZEWSKI K., ROJEWSKI T., WINIARSKI A., "Ukłony z Włocławka, karty pocztowe 1898-1945", EXPOL Włocławek 2005,
- [4] WATANABE E., WANG C.M., UTSUNOMIYA T., MOAN T., Very Large Floating Structures: Applications, Analysis and Design. Centre for Offshore Research and Engineering National University of Singapore. CORE Report No. 2004-02
- [5] WATANABE E., UTSUNOMIYA T., „Analysis and design of floating bridges” *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2003/5, pp. 127-144.
- [6] BANK L. C.: *Application of FRP composites to bridges in the USA*. International Colloquium on Application of FRP to Bridges, Japan Society of Civil Engineers, S. Yamada, ed., Tokyo, Japan 2006, pp. 9-16.
- [7] KELLER T. Overview of fiber-reinforced polymers in bridge construction. *Struct. Eng. Int. (IABSE, Zurich, Switzerland)*, 12(2) 2002, pp. 66–70.
- [8] ZOBEL H., KARWOWSKI W., SARNOWSKA J., WRÓBEL M., „Nowa generacja mostów – mosty z kompozytów polimerowych”, część I - Autostrady 4/2004, s. 16-19, część II – Autostrady 5/2004, s. 54-63.
- [9] KAMYK Z., SZELKA J., Zastosowanie kompozytów w mostach wojskowych. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 5/2009 s. 133-142.,
- [10] ROBINSON M. J., KOSMATKA J. B.: *Light-Weight Fiber-Reinforced Polymer Composite Deck Panels for Extreme Applications*. ASCE - Journal of Composites for Construction, Vol.12 No. 3 May-June 2008, pp. 344-354.,

- [11] ROBINSON M. J., KOSMATKA J. B.: *Development of a Short-Span Fiber-Reinforced Composite Bridge for Emergency Response and Military Applications*. Journal of Bridge Engineering ASCE, July/August 2008, pp. 388-397.,
- [12] WIGHT R. G., SHYU C. T., TANOVIC R., ERKI M. A., HEFFERNAN P. J.: *Short-span deployable GFRP tapered box beam bridge*. Proc., 4th Int. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures. 2004, pp. 20–23.,
- [13] STANAG 2021Ed 8. Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles. NATO NSA Brussels, 14 September 2017,
- [14] PN-85/S-10030: Obiekty mostowe. Obciążenia,
- [15] NO-54-A201:2017, Zestaw mostów pontonowych. Wymagania.
- [16] KAMYK Z., BŁAŻEJEWSKI W., i współautorzy, Design and implementing possibility composite pontoon bridge, Zeszyty Naukowe PRz - Mechanika, Rzeszów 2018.

**THE ANALYSIS OF POSSIBLE COOPERATION
BETWEEN MILITARY INSTITUTE OF ENGINEER TECHNOLOGY
AND WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
IN THE FIELD OF DESIGNING, MANUFACTURING AND TESTING
LIGHTWEIGHT COMPOSITE CONSTRUCTIONS PRESENTED
ON THE EXAMPLE OF A PONTOON BRIDGE**

Summary

As part of the work, the possibilities of scientific cooperation between the Military Institute of Engineer Technology (WITI) and the Wrocław University of Science and Technology in the field of design, manufacture and testing of lightweight constructions were analysed. In the prospective cooperation, the key construction material is a polymer composite reinforced with high-strength fibers (glass, carbon, aramid). The starting point for the considerations undertaken as part of the work was a high-level project entitled “Lightweight, resistant to environmental factors hybrid aluminium-composite pontoon for the construction of MLC 70/110 floating bridges”. As part of this project, a prototype of a composite pontoon bridge was also manufactured and tested under field conditions. Each of the three pontoon logs of the prototype module was made with a different technology. The middle part was mostly made of aluminium by the PREMO company, while one of the smaller logs and all the bow parts were made entirely of polymer composite material reinforced with glass, aramid and carbon fibers at the composite laboratory of the Wrocław University of Science and Technology. The interior was filled with different types of foam. During the successful field tests carried out by WITI, the manufactured parts were joined with PP-64 pontoons. One of the final stages of the extensive testing program was the multiple drive through the prototype pontoon bridge by the armoured personnel carrier called *Ryś* weighing 22 tons. It was recognized that the Wrocław community could undertake the implementation of prototype sets of a pontoon bridge and other lightweight structures made of polymer composite materials.