

Leszek BOGDAN¹
Zbigniew KAMYK¹

ANALIZA PORÓWNAWCZA MOSTÓW WSPARCIA

1. WPROWADZENIE

W nowoczesnych armiach zauważana jest tendencja zacierania się różnic między klasycznymi mostami wsparcia a mostami składanymi. Przykładem takich rozwiązań są mosty wsparcia: niemiecki DoFB (Dornier Folding Bridge) i angielski DSB (Dry Support Bridge) produkowany dla armii USA, a także japoński Type 07, które posiadają przęsła o rozpiętości ok. 45 m i nośności klasy MLC 70 T. Podobną charakterystykę będzie miał polski MS-40. Zasadniczym problemem jest ciągły wzrost wymaganej nośności mostów, w ciągu ostatnich 5 lat wymaganie nośności wzrosło do minimum klasy MLC 80T, a w najnowszym angielskim programie wymaganie to osiągnęło MLC 100T [1].

Zawsze przy opracowywaniu zdolności nowego sprzętu mostowego brane są pod uwagę następujące wymagania krytyczne: mobilność (w sensie zdolności własnej do pokonywania trudno przejezdnego terenu), zdolność do transportu różnymi środkami, nośność, długość przęsła oraz zdolność do przetrwania. Wymagania te są zróżnicowane w zależności od funkcji, jaką dany most ma spełnić w zabezpieczeniu mobilności wojsk.

Most wojskowy składa się z: konstrukcji przęsłowej (ewentualnie z podporą), systemu układającego (układacza), podwozia systemu układającego oraz środków do transportu konstrukcji przęsłowej i elementów wyposażenia. Projektowanie takiego systemu mostu wojskowego jest zdecydowanie odmiennym procesem od projektowania mostów cywilnych.

Klasyczna optymalizacja konstrukcji przęsła dotyczy osiągnięcia maksymalnej nośności dla założonej rozpiętości przęsła przy minimalnym zużyciu/wykorzystaniu masy/przekroju materiału konstrukcyjnego. Przy konstruowaniu mostów wojskowych jest inaczej ponieważ o przyszłych możliwościach eksploatacyjnych konstrukcji, w znacznym jeśli nie podstawowym stopniu, decydują środki transportowe i układające konstrukcję. Wykorzystanie standardowych lub dedykowanych środków transportowych, ogranicza i narzuca gabaryty oraz masę elementów składowych

¹ dr inż., Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. profesora Józefa Kosackiego

konstrukcji mostowej. Podział konstrukcji na moduły montażowe musi uwzględniać nośność pojazdów transportujących oraz zdolności układacza w poszczególnych fazach montażowych.

Wymagania dotyczące rozpiętości przęseł wynikają z szerokości przeszkód terenowych. Badania przeprowadzone przez armię amerykańską [2], wskazują, że za pomocą mostów 24. metrowych można przekroczyć 73% napotykaných przeszkód, a zdolność 18. metrowych mostów obejmuje 54% przeszkód. Podobnie obszar Europy, a w tym Europy Środkowowschodniej [3] charakteryzuje się dużą liczbą różnego rodzaju przeszkód naturalnych i sztucznych (rzeki, kanały, suchodoły, głębokie doliny i inne), których nie można pokonać bez zastosowania specjalistycznego sprzętu. Należy zwrócić uwagę, że w Polsce wody zajmują 8265 km², co stanowi 2,6% powierzchni kraju. Zasadnicze znaczenie ma również fakt, że przeszkody wodne o szerokości większej niż 10 m występują średnio co 6 -7 km, spośród których 70% ma szerokość do 50 m [4].

Analizując warunki geograficzne oraz potrzeby sił zbrojnych opracowano wymagania i plany rozwojowe dla sprzętu mostowego w poszczególnych armiach, w tym m.in.: amerykańskiej [2], kanadyjskiej [4], polskiej [5], [6] i rosyjskiej [7]. Wymagania te uwzględniają specyfikę zadań poszczególnych armii. Obecnie poszukuje się rozwiązań które mogą spełniać rolę mostów wsparcia i zastąpić mosty składane na liniach zaopatrzenia i w czasie kryzysu w gospodarce narodowej. Klasyczne mosty składane (jak Bailey, MGB, DMS-65) są zbyt pracochłonne w budowie i wymagają licznej obsługi.

W ostatnich sześciu dekadach nastąpiła znacząca poprawa sprawności konstrukcji mostowych. Wojsko Polskie nie posiada jeszcze mostu wsparcia taktycznego, a konstrukcja mostu składanego DMS-65 jest przestarzała i nie spełnia wymagań co do nośności i przepustowości.

Według pracy [6], współczesna konstrukcja mostów wsparcia-składanych, dla Sił Zbrojnych RP, powinna umożliwiać:

- pokonanie przeszkody o szerokości co najmniej 39 m,
- budowę mostu w czasie do 1 godziny,
- przenoszenie obciążeń większych niż MLC 70 dla pojazdów gąsienicowych i MLC 110 dla pojazdów kołowych,
- zabudowę przestrzeni pomiędzy kolejinami.

W dalszej części artykułu przedstawiono europejskie rozwiązania konstrukcyjne mostów, które zaprojektowano w celu pełnienia roli mostów wsparcia i które spełniają powyższe wymagania. Mosty te są już w eksploatacji wielu armii całego świata. Dodatkowo mogą one zastąpić mosty składane wykorzystywane w logistyce na liniach komunikacyjnych. Rozwiązań innych mostów, których dodatkowym przeznaczeniem jest pełnienie funkcji mostów wsparcia oraz mostów w trakcie prac rozwojowych, w tym polskiego MS-40, nie przedstawiono.

2. PRZEGLĄD MOSTÓW WSPARCIA KLASY 40 m

2.1. Most DoFB – DORNIER

Niemiecki system DoFB jest najstarszym rozwiązaniem mostu wsparcia o wymaganej rozpiętości 40 m dla obciążenia klasy MLC 70. Pierwsze jego koncepcje

powstały w ramach trójstronnego projektu (USA, W. Brytania, RFN) "Mosty na lata 80" już w latach 80. ubiegłego wieku. Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas realizacji tego programu firma Dornier opracowała koncepcję "DORNIER FALTBRÜCKE" (składany most Dorniera - DoFB) zwaną także "Faltfestbrücke" (FFB). Koncepcja ta została bardzo pozytywnie przyjęta przez Bundeswehrę oraz była doskonalona w latach 1984-1987 do powstania pierwszego prototypu wykonanego na zlecenie Ministerstwa Obrony RFN. Dalszy rozwój konstrukcji, przy zastosowaniu nowoczesnych materiałów [8] i metod obliczeniowych [9] oraz pozytywne testy skutkowały podpisaniem, we wrześniu 1994 r., umowy na zakup 10 zestawów mostu. Dostawa zestawów, umożliwiających budowę mostu o rozpiętości 40 m, odbyła się w latach 1998-2000. Produkcją mostu zajmuje się niemiecka firma Eurobridge Mobile Brücken GmbH z Friedrichshafen, która jest zależna od firmy Dornier GmbH, która z kolei w 2006 r. została zintegrowana z międzynarodową firmą European Aerospace and Defence Company (EADS).

Przęsło mostu DoFB składa się z modułowo zbudowanej jezdni wraz z dźwigarami nośnymi. Tworzą je segmenty najazdowe i środkowe przęsła oraz rampy wjazdowe (krótkie i długie), a także przęsło pomocnicze i belki brzegowe (podpory). Jezdnia mostu jest całkowicie zamknięta. Most o rozpiętości 40 m składa się z 4 segmentów środkowych przęsła i 2 segmentów najazdowych (rys. 1), ilość zastosowanych segmentów środkowych określa długość mostu. Przęsło pomocnicze (rys. 2), o długości 40 m, składa się również z 4 odcinków środkowych i 2 odcinków najazdowych przęsła pomocniczego.

Przęsło pomocnicze, o przekroju prostokątnym jest elementem umożliwiającym wysuwanie konstrukcji nośnej mostu na przeszkodę. Musi więc być stosunkowo lekkie. Dlatego też do jego wykonania zastosowano materiały kompozytowe.



Rys. 1. Montaż mostu DoFB, segment najazdowy w trakcie podnoszenia i układanie segmentu na przęsło pomocniczym [12]

Przęsło zasadnicze składa się z dwóch dźwigarów o przekroju skrzynekowym (rys. 1), otwartym od dołu i usztywnionych poprzecznymi przeponami, połączonych zawiasowo ze środkowym pasem jezdni. Do transportu oba dźwigary składają się pod pas jezdni, tworząc prostopadłościan o wymiarach $(2,75 \times 1,0 \times 7,0)$ m. Elementy nośne przęsła i belek podporowych wykonane są ze stopów aluminium łączonych poprzez nitowanie i na śruby.

Segmenty mostowe nakładane są na przęsło pomocnicze w stanie rozłożonym (rys. 2), łączone są razem i następnie przy pomocy napędu mostowego przesuwane są w kierunku przeciwnielego brzegu, a na końce pasów dolnych segmentów najazdowych nakładane są na belki brzegowe. Belki brzegowe są właściwymi podporami mostu i są jedynymi elementami zetknięcia się mostu z gruntem.



Rys. 2. Przęsło pomocnicze z belką brzegową i gotowy most z najazdem [12]

Dzięki wykorzystaniu modułowej koncepcji konstrukcji nośnej i elementów pomocniczych można budować mosty o różnej rozpiętości. Kompletny most o rozpiętości 40 m przewożony jest na pojeździe układającym i czterech pojazdach transportowych. Do transportu elementów mostowych używa się standardowych samochodów ciężarowych. Pierwotnym pojazdem transportowym i podwoziem układacza był MAN A1 (8×8) o ładowności 15 t. W dostawach dla innych armii wykorzystywano inne, „miejskowe” pojazdy. Masa i wymiary pojazdu, za wyjątkiem szerokości wynoszącej 2,75 m zgodne są z niemieckimi przepisami o dopuszczeniu do ruchu po drogach publicznych. Przekroczenie dopuszczalnej szerokości o około 10% nie stanowi jednak dla pojazdów wojskowych żadnego ograniczenia. Sprzęt ten może się poruszać po drogach publicznych również w czasie pokoju.

Firma EUROBRIDGE oferuje też zestawy o łącznej długości 54 m, umożliwiające jednoczesną budowę dwóch mostów układach: 40 +14, 34 + 20 i 27 +27. Zestaw taki składa się z dwóch pojazdów układaczy, pięciu pojazdów transportowych o ładowności 15 t i jednego 10 t pojazdu na wyposażenie.

Możliwość budowy dwóch mostów jest także celem pozostałych mostów wsparcia opisanych w dalszej części artykułu. Wymaga to posiadania dodatkowego kompletu segmentów najazdowych przęsła oraz wystarczającej liczby ramp najazdowych. Zazwyczaj nie dubluje się pojazdów układaczy, które są najdroższe, co uniemożliwia jednoczesną budowę dwóch mostów, ale i tak zwiększa znacznie efektywność wykorzystania zestawu w terenie o dużej gęstości wąskich i średnich przeszkód terenowych.

Dzisiejsze modele DoFB umożliwiają budowę przęseł o maksymalnej rozpiętości 46 m pod obciążenie MLC 70 T i MLC 110W. Komplet DoFB o długości 46 m i szerokości jezdni 4,4 m jest układany na przeszkodzie terenowej w ciągu jednej godziny przez załogę w składzie 6 żołnierzy. Prędkość poruszania się po moście przyjmuje się do 25 km/h.

W roku 1999 armia polska była zainteresowana kupnem tego mostu. Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej opracował na zlecenie MON Wymagania techniczne [10] dla mostu oraz przeprowadził w Niemczech testy sprawdzające te wymagania [11].

Testy wypadły pomyślnie jednak do zakupów nie doszło, a przystąpiono do prac nad rozwojem własnej konstrukcji mostu wsparcia.

Obecnie most DoFB znajduje się także na wyposażeniu armii: Hiszpanii, Austrii², Singapuru i Słowenii. Inne kraje, takie jak USA, Wielka Brytania, Szwecja, Rosja stworzyły własne systemy wykorzystujące zasadnicze założenia mostu DoFB.

2.2. Most DSB

Most wsparcia DSB (Dry Support Bridge), był opracowany i doskonalony przez angielską firmę Williams Fairey Engineering Ltd, która w 2006 r. została przekształcona spółkę WFEL Ltd³. WFEL rozpoczęła produkcję systemów mostowych w roku 1977, po wygraniu zlecenia ministerstwa obrony Wielkiej Brytanii na średni most belkowy – Medium Girder Bridge (MGB). Most DSB powstawał w latach 1997÷2003, prace rozwojowe zakończyły się kontraktem na dostawę tych mostów dla armii USA.

DSB został pierwotnie opracowany dla armii amerykańskiej jako następca mostu MGB, zaliczanego do mostów wsparcia [13], do zabezpieczenia pokonywania przeszkód o szerokości do 40 m. Miał on oznaczenie katalogowe M18 DSB, a normalna nośność mostu dla maksymalnej rozpiętości wynosiła: MLC 70T (gąsienicowe) i MLC 96W (kołowe).

Na zlecenie US Army Tank Automotive Command Centre (TACOM), firma WEFL pracowała nad modernizacją przęsła mostu w celu zwiększenia jego rozpiętości do 46 m, bez zmniejszenia nośności. Od 2013 r. nowe konstrukcje dostarczane są do USA, a w sumie armia USA zakupiła już 108 kompletów DSB. W 2016 r. podpisano kontrakt na modernizację 97 kompletów do nowych możliwości [14].

Modernizacja obejmuje dostawę dodatkowego segmentu środkowego przęsła, nowego przęsła pomocniczego. Zestaw modernizacyjny zawiera również dodatkowe elementy wzmacniające pojazd układacza.



Rys. 3. Schemat kompletu mostu M18 DSB, pojazd transportowy CBT Oshkosh M1077 z przyczepą M1076 oraz pojazd transportowy IVECO 8×8 [15]

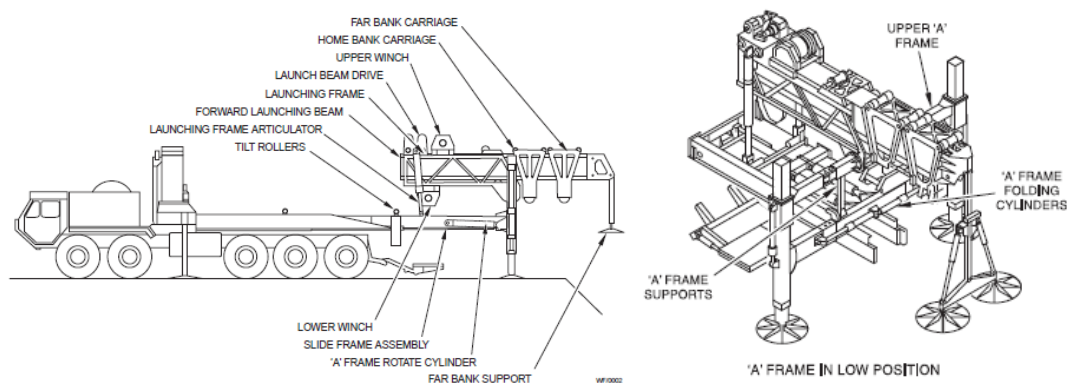
Każdy nowy komplet M18 DSB składa się z pojazdu układacza Oshkosh M1075 (10×10) wraz z systemem układającym, holującego przyczepę M1076 z systemem PLS (Palletized Load System) z elementami przęsła pomocniczego oraz trzech ciężarówek – Common Bridge Transporter - Oshkosh M1077 (8×8), ciągnących podobną przyczepę

² W Austrii konstrukcja ta nosi nazwę Pionierbrücke 2000

³ W 2012 r. firma WFL została kupiona przez niemiecką firmę Krauss-Maffei Wegmann, która produkuje m.in. mosty szturmowe Leguan

z segmentami przęsła i pozostałymi elementami mostu (rys. 3). Przystosowany jest również do transportu drogą powietrzną przy wykorzystaniu samolotów transportowych typu C - 17 lub C - 5.

Przęsło mostu składa się z dwóch aluminiowych dźwigarów, w kształcie odwróconej litery U, połączonych w jedną całość z płytą jezdni, tworząc jezdnię o szerokości 4,3 m. Pojedynczy moduł dźwigara mostu ma długość 6 m, wysokość 1,19 m i szerokość 4,3 m.



Rys. 4. Pojazd układacz z wysuniętą ramą montażową oraz rama montażowa [16]

Do budowy mostu wykorzystuje się pojazd układacz (Launcher), który ma za zadanie zbudować ramę montażową i wysunąć na drugi brzeg przeszkody wodnej przęsło pomocnicze z układem suwnic, służących do transportu elementów mostowych (rys. 4). Most o długości 46 m może być zbudowany przez zespół roboczy w sile 8 żołnierzy w czasie do 90' [16], złożenie natomiast zajmuje około 150' i może się odbywać z obydwu stron przeszkody wodnej.



Rys. 5. Przęsło „szwajcarskiej” wersji mostu DSB z chodnikami i poręczami z pojazdem układającym na podwoziu IVECO Trakker 10×8

Komplety mostu DSB znajdują się obecnie także na wyposażeniu armii: Australii, Szwajcarii i Turcji. Generalnie są to takie same konstrukcje posadowione ewentualnie na innych środkach transportu. Tylko w wersji szwajcarskiej jest możliwość wyposażenia przęsła w chodniki z poręczami (rys. 5), co podnosi bezpieczeństwo eksploatacji w warunkach wykorzystania w środowisku cywilnym podczas różnego rodzaju kryzysów i katastrof.

2.3. Most FB 48

Rozwój nowego mostu wsparcia dla sił zbrojnych Szwecji został zapoczątkowany w 1986 r. we współpracy między rządową agencją zaopatrzenia armii (*Försvarets materielverk*, FMV) i stoczną Karlskrona⁴. Armia potrzebowała nowego typu mostu, który mógłby pełnić funkcje mostu wsparcia i mostu składanego – logistycznego, na stosunkowo bogatym w przeszkody wodne terenie Szwecji. Według nomenklatury szwedzkiej most nazwano Krigsbro 5 (KB5), a angielskiej Fast Bridge 48 (FB 48). Rozwój projektu i testy konstrukcji nadzorowane przez agencję FMV doprowadziły do zamówienia 10 szt. mostu w 1993 r., ostatecznie pierwsze dostawy rozpoczęto w 1995 .

Most FB 48 posiada przęsło modułowe o maksymalnej długości 48 m, które zapewnia pokonanie przeszkody o szerokości do 46 m. Długość przęsła może wynosić od 32 do 48 m, składa się ono z czterech do sześciu sekcji 8-metrowych o szerokości 4 m i wysokości około 1,5 m. Łagodny wjazd na most zapewniają rampy o długości 15 m. Komplet mostu przewożony jest na 6 standardowych samochodach o ładowności 12 t i jednej naczepie z urządzeniem układającym. Układacz wyposażony jest w układ hydrauliczny zasilający żuraw i siłownik przepychający moduły przęsła. W czasie montażu w pierwszej kolejności na przeciwległy brzeg wysuwane jest przęsło pomocnicze. Następnie na belce ustawia się segmenty nośne, łączy je ze sobą i wysuwa na drugi brzeg (rys. 6). Całkowity czas montażu mostu wynosi 75 minut przy użyciu załogi siedmiosobowej załogi. Wymagany plac montażowy to 6×30 m.

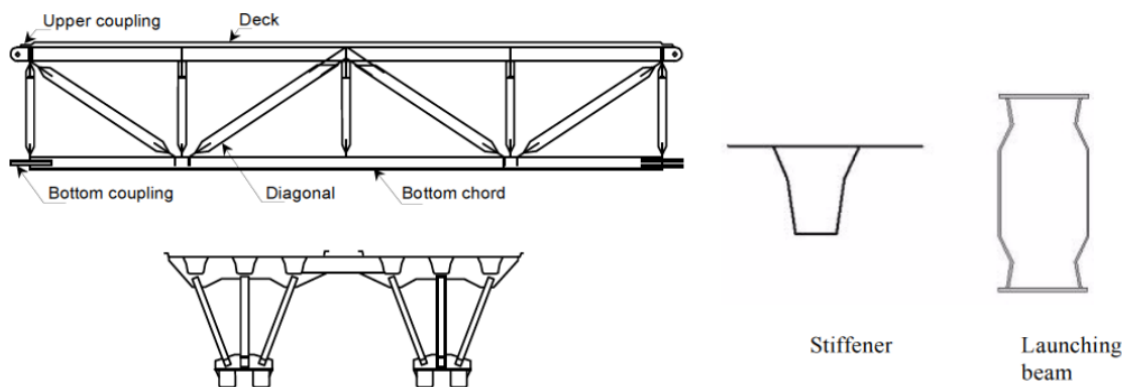


Rys. 6. Widok wysuniętego na przeciwległy brzeg blachownicowego przęsła pomocniczego i kompletnego mostu FB 48 na przeszkodzie (między kratowymi dźwigarami przęsła pomocnicze) [17]

Moduł przęsła mostu składa się z dwóch kratowych dźwigarów koleinowych ukształtowanych w kształcie litery "U" z płytą pomostu u góry. Moduł mostu, o wymiarach $8 \times 4 \times 1,5$ m, ma masę 5,5 t, a moduł przęsła pomocniczego 1,7 t. Pokład wykonany jest z płyty stalowej S1100 o grubości 5 mm, usztywnionej przez zimnie uformowane usztywnienia podłużne (rys. 7). Również dolny dźwigarów wykonany jest z kształtowników zimnogiętych, natomiast krzyżulce w kratownicy wykonane są z prostokątnych kształtowników pustych S460. Elementy złączy między segmentowych wykonane są z 50 mm blach S960. Wszystkie zasadnicze elementy mostu wykonane są ze stali wysokowytrzymałej o granicy plastyczności 1100 MPa i udarności 40 J przy -40 °C. Ponieważ zastosowanie takiej stali, nie było objęte obowiązującymi przepisami,

⁴ Stocznia Karlskrona w 1989 r. została przejęta firmą Kockums AB, następnie przez Thyssen Krupp Marine Systems AB, a w 2014 koncern szwedzki SAAB odkupił znajdujące się w Szwecji zakłady Thyssen Krupp Marine Systems AB,

było nowością, dlatego konieczne było przeprowadzenie wielu szczegółowych badań materiałowych. Przeprowadzono rozległe testy elementów dotyczących wyboczenia lokalnego i odkształcenia, przeprowadzono także badania zmęczeniowe i statyczne na spawanych elementach oraz sprawdzono procedury spawania. Badania te, wraz z optymalizacją konstrukcji ze względu na masę, wykazały, że stal wysokowytrzymała jest materiałem konkurencyjnym względem stopów aluminium.



Rys. 7. Widok konstrukcji segmentu przęsła FB 48 i przekrój poprzeczny przęsła pomocniczego (*launching beam*) [18]

We wrześniu 1996 r. Firma Kockums AB, jako jeden z dwóch konkurujących głównych wykonawców, otrzymała zamówienie od US Army Tank Automotive and Armaments Command (TACOM) na opracowanie mostu ciężkiego w ramach programu Heavy Dry Support Bridge (HDSB). Ostatecznie umowa na HDSB została przyznana Williams Fairey Engineering Ltd, obecnie WFEL Ltd., na opisany wcześniej most DSB.

Na początku 1994 roku, po zakończony studium wykonalności, FMV rozpoczął dyskusję nad rozwojem konstrukcji FB 48 ze zdolnością do budowy wieloprzęsłowego mostu o długości do 200 m długości. Przęsło miało maksymalnie 32 m rozpiętości, pomiędzy dwusłupowymi podporami pośrednimi i zapewniało nośność do MLC 70. Program nosił nazwę Krigsbro 6 lub FB 200. Konstrukcja miała wykorzystywać zasadnicze elementy FB 48: układacz, segmenty przęseł i rampy. W ramach programu badawczego, już do 1996 r., opracowano nowy system montażu przęsła bez wykorzystania przęsła pomocniczego oraz system zintegrowanych podpór [19].

Przęsło montowane jest przy pomocy typowego układacza FB 48, który podaje segmenty ze środków transportowych w miejsce budowy. Następnie nowy układacz z żurawiem, poruszając się po pasie górnym przęsła, montuje kolejne segmenty i podpory (rys. 8). Segmenty przęsła i podpory dowożone są na specjalnym wózku montażowym. W fazie montażowej przęsło stanowi wspornik montażowy dla układacza i pełni jednocześnie rolę przęsła pomocniczego jak w FB 48. Podpory zbudowane są w postaci dwóch słupów połączonych ze stopami podporowymi. Słupy podpór posiadają wysokość regulowaną hydraulicznie w zakresie od 2 do 12 m.



Rys. 8. Most FB 200 na przeszkodzie terenowej i widok wspornikowego montażu segmentów przęsła i podpory za pomocą specjalnego układacza [17]

Pomimo pomyślnego zakończenia testów wyjątkowej innowacyjności rozwiązań technologicznych, ze względu na redukcję armii i kosztów obronnych, program FB 200 nie został dokończony i wdrożony do szwedzkiej armii.

2.4. Zestaw mostu zmechanizowanego MMK

W 1998 r. biuro projektowe przemysłu maszynowego KBTM⁵ (Конструкторское бюро транспортного машиностроения) w Omsku rozpoczęło prace nad mostem zmechanizowanym pod kryptonimem „Писк”. Miał on wypełnić lukę w zdolności do pokonywania średnich przeszkód wodnych. Istniejące mosty zmechanizowane (TMM-3 lub TMP-6) umożliwiają szybkie bezpośrednich przekraczania długości kilkudziesięciu metrów, jednak wymagają dodatkowych podpór. Zapewniają one pokonanie stosunkowo płytkich przeszkód, TMM3 do 3, a TMM6 do 5 m głębokości. Celem projektu było stworzenie mostu jednoprzęsłowym który umożliwia budowę przeprawy do 40 metrów długości w różnych warunkach terenowych. Analizy projektantów KBTM zakładały, że długość taka jest wystarczająca do pokonania 87-97% przeszkód napotkanych polu walki.

Prace badawcze nad nową konstrukcją zostały zakończone w 2008 r., a pierwsze egzemplarze trafiły do armii rosyjskiej w 2013 r. Nowy zestaw mostu zmechanizowanego MMK (Мостовой механизированный комплекс MMK) posiada możliwość budowy przęsła o długości 16, 22, 28, 34 lub 41 m lub dwóch mostów o łącznej długości 60 m [20]. Cały zestaw mostu składa się z czterech do sześciu

⁵ W lipcu 2014 r. KBTM został połączony i przemianowany na „Омсктрансмаш”, a od roku 2010 należy do koncernu УралВагонЗавод.

pojazdów transportowych⁶ i jednego do dwóch pojazdów układaczy. Podstawowa wersja, umożliwiająca budowę mostu o długości 41 m składa się z: pojazdu układacza, czterech pojazdów do transportu segmentów przęsła zasadniczego i pomocniczego oraz pojazdu do transportu ramp najazdowych. Podwozie wszystkich pojazdów stanowi Ural-532361-1012 w układzie 8×8. Konstrukcja przęsła i pojazdu układacza została opatentowana w 2010 r. [21].



Rys. 9. Pojazd układacz (MCM) z zestawu mosty MMK [22]

Pojazd układający (Мостосборочная машина – МСМ) składa się z podwozia i osprzętu roboczego (rys. 9), który obejmuje:

- mechanizm układania przęsła pomocniczego na przeszkodzie;
- żuraw ładujący;
- wciągarkę;
- agregat hydrauliczny z wyposażeniem;
- podpory stabilizujące układacz.



Rys. 10. Widok segmentów mostu i przęsła pomocniczego w położeniu transportowym oraz montaż segmentów przęsła MMK na przęsło pomocniczym [20]

Montaż mostu opiera się na zupełnie innej procedurze montażowej niż dla dotychczasowych mostów rosyjskich. Procedura ta jest zbliżona do niemieckiego mostu DoFB wykorzystującego przęsło pomocnicze. W pierwszym etapie montuje się i wysuwa na przeszkodę, za pomocą wciągarki i systemu hydraulicznego, sześć

⁶ Różne wersje składu zestawu podaje strona producenta <http://www.kbtm-omsk.ru/node/239> i katalog koncernu właściciela http://www.uvz.ru/data/Каталог_продукции_военного_назначенияУВЗ.pdf

segmentów przęsła pomocniczego. Następnie za pomocą mechanizmu układania i wciągarki sześć segmentów przęsła nasuwane jest po przęsle pomocniczym na przeciwny brzeg (rys. 10).

Konstrukcję nośną przęsła stanowią dwa stalowe dźwigary blachownicowe o trójkątnym przekroju poprzecznym, połączone są płytą międzykoleinową. W położeniu transportowym segmenty przęsła mają szerokość 3,3 m, a po rozłożeniu na przeszkodzie 4 m. Nośność mostu wynosi 60 ton, przy prędkości przejazdu do 20 km/h, a przy ograniczeniu prędkości do 5 km/h – 80 ton. Praktyczna przepustowość mostu wynosi 340÷380 pojazdów na godzinę. Największą zaletą MMK jest tempo jego budowy, 11-osobowa załoga, 40 metrowy most, buduje w ciągu 60 minut.

3. PORÓWNANIE ZASADNICZYCH ELEMENTÓW MOSTÓW WSPARCIA

3.1. Technologia montażu

Dążenie do zmniejszenia pracochłonności budowy mostów wymusiło na konstruktorach zwiększenie mechanizacji prac i rezygnację z ręcznego montażu zasadniczych elementów mostu, co było domeną mostów składanych zaprojektowanych w 20 wieku. Podział konstrukcji przęsła na odcinki montażowe wynikał z wielkości dostępnych lub założonych środków transportu. Wielkość i masa tych elementów musiała być także dostosowana do możliwości układaczy mostowych, których zasadniczym elementem jest zazwyczaj żuraw. Do budowy klasycznych mostów składanych stosowano metodę nasuwania podłużnego z wykorzystaniem „dzioba montażowego” (awanbeku) stosowanego w budownictwie cywilnym. W montażu współczesnych mostów wsparcia zmodyfikowano tę metodę poprzez zastosowanie lekkiego przęsła pomocniczego (niekiedy zwanego belką montażową).

Most o rozpiętości około 40 m i nośności MLC 70T nie może być układany od razu (jednoetapowo). Występujące w konstrukcji, w czasie montażu, siły tnące i normalne, momenty zginające oraz odkształcenia są często większe niż od obciążeń użytkowych, wymagałyby znacznych przekrojów elementów nośnych. Ponadto zapewnienie odpowiedniej stateczności podłużnej i poprzecznej podczas montażu przęsła byłoby nadmiernie utrudnione. Dlatego wszystkie znane mosty wsparcia, o rozpiętości ponad 30 m, budowane są w dwóch etapach. W pierwszym etapie układa się lekkie przęsło pomocnicze wraz z belką brzegową, w drugim montuje most z wykorzystaniem przęsła pomocniczego jako środka do przemieszczania segmentów przęsła zasadniczego.

Powszechnie stosowane są dwa rozwiązania w metodzie wykorzystania przęsła pomocniczego do nasuwania segmentów przęsła (rys. 11). W większości wypadków, po wysunięciu i opuszczeniu przęsła pomocniczego na drugi brzeg (wraz ze stopami podporowymi lub belką brzegową), na pasie górnym układane są segmenty przęsła i następnie różnymi metodami, mechanicznymi lub hydraulicznymi, przepychane na drugi koniec mostu. Przęsło pomocnicze pozostaje pod segmentami z jezdnią mostu (rys. 6) i w różnym stopniu bierze udział w przenoszeniu obciążeń na podpory brzegowe. Tylko w konstrukcji mostu DSB segmenty przęsła są podwieszane do przęsła pomocniczego i przesuwane na przeciwny brzeg w pozycji podwieszanej (rys. 5). Po opuszczeniu całego przęsła zasadniczego, przęsło pomocnicze jest demontowane.



Rys. 11. Różnica w wykorzystaniu przęseł pomocniczych, po lewej FFB i po prawej DSB

Mimo, że nowoczesne mosty są lżejsze, poprzez zastosowanie nowych materiałów, to występuje problem zapewnienia odpowiedniej przeciwwagi podczas nasuwania elementów przęsła. Układacz musi zapewniać stateczność podłużną, tak więc nie musi być bardzo lekki lub musi posiadać odpowiednio długie ramię działania momentu utrzymującego. W tym celu, tylne podpory stabilizujące układacz, wysunięte są zazwyczaj maksymalnie do tyłu ramy nośnej układacza. Dla zapewnienia prawidłowej stateczności poprzecznej podpory te są odpowiednio rozstawione w stosunku do osi podłużnej. Zapas stateczności wynosi minimum 30%, dla wszystkich najniekorzystniejszych położań montażowych (odległości i masy elementów), z uwzględnieniem dopuszczalnego parcia wiatru i pochylenia terenu.

Zastosowane metody montażu oraz sprawność układaczy i środków transportowych wpływa na tempo budowy mostu. Dostępne dane w tym zakresie trudne są do zweryfikowania ponieważ często są zbyt ogólne i optymistyczne w celach marketingowych. Brak jest jednolitego systemu do oceny tempa montażu, między innymi jednolicie i jednoznacznie zdefiniowanych warunków terenowych, określenia zakresu prac przygotowawczych i składu obsługi – niektórzy nie zaliczają do niej kierowców środków transportowych a inni tak. Przedstawione w rozdziale 2 i w tabeli 1 czasy montażu są do siebie zbliżone i wahają się w przedziale 60÷90 minut, co wydaje się być dobrym osiągnięciem.

3.2. Charakterystyka konstrukcji przęseł

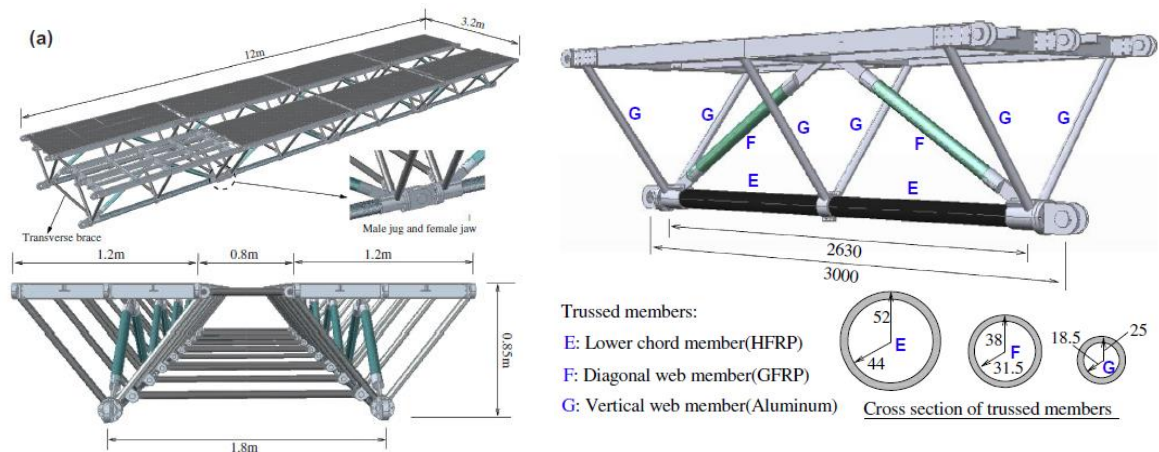
Pod względem konstrukcyjno-wytrzymałościowym zasadnicze segmenty przęseł wykonane są w postaci dwudźwigarowych konstrukcji z czterema ściankami/kratami pionowymi, pasami dolnymi i pasem górnym pełniącym jednocześnie funkcję jezdni. W rozwiązaniach europejskich przeważają konstrukcje blachownicowe (tab. 1), a materiałowo jest po równo dla stali i stopów aluminium. Masa jednostkowa metra konstrukcji przęsła wynosi od 584 kg do 742 kg i największa nie należy do konstrukcji stalowej. Okazało się, że konstrukcja stalowej kratownicy FB 48 jest lżejsza od „alumiowej” blachownicy DSB (tab. 1). Coraz powszechniejsze staje się zastosowanie stali wysokowytrzymałej w konstrukcjach mostów [22] w tym wojskowych [18], zjawisko to występuje także w Polsce. Stal wysokowytrzymała (HSS) zastosowano w przęsłach mostów MS 20 [23] oraz MS-40 [24]. Należy jednak sądzić, że przyszłością są rozwiązania hybrydowe, łączące w jednej konstrukcji dwa, trzy materiały, wykorzystując ich najlepsze właściwości wytrzymałościowe odpowiednio w elementach ściskanych bądź rozciąganych. Przykład takiego rozwiązania przedstawia projekt chińskiego mostu dla zabezpieczenia sytuacji kryzysowych [25]. W zaproponowanym rozwiązaniu aluminiowy pomost opiera się na

kratownicowych dźwigarach wykonanych z aluminium i różnego rodzaju kompozytów FRP (Fiber Reinforced Polymers), z włóknami szklanymi i hybrydowym połączeniem włókna szklanego E, włókna węglowego i włókna bazaltowego – HFRP (rys. 12). Przegląd zastosowania materiałów kompozytowych w mostach wojskowych przedstawiono w pracy [26].

Tablica 1. Porównanie charakterystyk konstrukcyjnych i eksploatacyjnych mostów wsparcia

Rodzaj parametru	Rodzaj mostu			
	DoFB	DSB	FB 48	MMK
Klasa obciążenia MLC	70T 110W	Normal 0T/96W, max. 120 W	70T 110W	60 t*
Maksymalna rozpiętość [m]	46	46	48	41
Szerokość mostu [m]	4,4	4,3	4,0	4,0
Wymiar zasadniczego segmentu w położeniu rob. (LWH) [m]	6,84×4,4×1,06	5,95×4,3×1,19	8,0×4,0×1,5	bd.
Wymiar zasadniczego segmentu w położeniu transp. [m]	7,0×2,75×1,0	5,95×2,44×1,1	bd.	szer. 3,3
Liczba segmentów dla długości maksymalnej	7	8	6	6
Masa segmentu [kg]	4000	4417	5300	bd.
Masa jednostkowa mb [kg]	584,8	742,4	662,5	bd.
Rodzaj materiału	stop Al. (AA 7027 T6)	stop Al.	stal HSS	stal
Typ dźwigara przęsła zasadniczego	blachownica prostokątna otwarta dołem	blachownica prostokątna otwarta dołem	kratownica	Blachownica trójkątna
Typ dźwigara przęsła pomocniczego	blachownica skrzynkowa	blachownica skrzynkowa	blachownica skrzynkowa	blachownica skrzynkowa
Rodzaj podpory brzegowej	beka ciągła	brak, oparcie na spodzie przęsła	dwie stopy	dwie stopy
Sposób montażu	na przęsle pomocniczym	pod przęsłem pomocniczym	na przęsle pomocniczym	na przęsle pomocniczym
Typ pojazdu układacza	MAN A1 (8×8)	różne (10×10)	naczepa	Ural-532361-1012 (8×8)
Typ pojazdu transportowego	MAN A1 (8×8) ładowność 15 t	różne (8×8) sam. z przyczepami	różne (8×8) ładowność 12 t	
Liczba środków transportowych (układacz + transp.)	1+4	1+3	1+ 6	1+5
Czas montażu [min.]	90	90	75	60
Liczebność załogi	6	8	7	11

* - Rosja nie prowadzi klasyfikacji według klas MLC



Rys. 12. Widoki przęsła hybrydowego wykonanego z różnych materiałów [25]

Szerokość jezdni przęseł wszystkich opisanych mostów jest poniżej wymaganego parametru 4,5 m, dla klasy MLC 71 według STANAG 2021 [27], a w najbliższych latach standardem nośności ma być minimum klasa MLC 80T [1]. Jednak nie widać w tym zakresie „walki” o spełnienie tego wymagania. Nawet, będąca w fazie rozwoju, nowa konstrukcja amerykańskiego mostu LOCB (Line of Communication Bridge), pełniącego rolę mostu składanego, projektowana pod obciążenie MLC 100T i 120 W, ma szerokość jezdni 4,2 m. Polski MS-40 będzie miał jezdnię szeroką na 4,5 m, co wydaje się być wymaganiem wygórowanym, mając na uwadze produkty innych państw, które spełniają tą samą rolę w zabezpieczeniu mobilności.

We wszystkich opisanych w rozdziale 2. konstrukcjach mostów wsparcia występuje przęsło pomocnicze. Istnieją różnice w konstrukcji nośnej takich przęseł. Segmenty są zazwyczaj o długości równej segmentom zasadniczym przęsła, występują w postaci dźwigara blachownicowego o przekroju prostokątnym (tab. 1) lub w postaci kratownicy (polski MS-40). Przęsło pomocnicze musi być lekkie ale jednocześnie wytrzymałe aby przenieść ciężar własny całego mostu.

3.3. Logistyka- transport elementów mostu

Ze względu na zabezpieczenie logistyczne każdego systemu mostowego można rozpatrywać wiele szczegółowych zagadnień dotyczących rozwiązań techniczno-eksploatacyjnych równocześnie z zagadnieniami ekonomicznymi dotyczącymi liczby załogi. W tym podrozdziale skupiono się jedynie na porównaniu środków transportowych.

Pojazdy specjalne używane jako układacze i pojazdy transportowe zwiększają koszty logistyczne głównie w zakresie napraw i utrzymania. Ze względu na to, że sprzęt mostowy kupowany jest w niewielkich ilościach mosty należy tak konstruować aby ograniczyć zapotrzebowanie na pojazdy specjalne. Oraz w maksymalnym stopniu stosować pojazdy występujące na rynku, zwłaszcza w przypadku planowania eksportu sprzętu.

Wszystkie konstrukcje układaczy, oprócz FB 48, zbudowane są na podwoziach kołowych 8×8 lub 10×10. Do transportu elementów i osprzętu również wykorzystywane są pojazdy 8×8, z tym że w DSB stosuje się pojazdy z przyczepami. Zaletą DSB jest

również fakt wykorzystania systemu PLS (Palletized Load System). Większość producentów twierdzi że można wykorzystywać standardowe pojazdy z niewielkimi modernizacjami. Zastosowanie spójnego systemu transportowego, umożliwiającego wykorzystanie środków transportowych do różnych ładunków powinno być celem działań konstruktorów. Uniwersalność klóci się jednak trochę z wymaganiami przewożenia, w przypadku mostów, ładunków o zwiększonych gabarytach, a nie koniecznie dużych masach. Obecnie, tylko rosyjski most MMK przekracza szerokość 3 m w położeniu transportowym (tab. 1). Jeśli przekroczenie skrajni drogowej, zwłaszcza w przypadku szerokości, spowoduje zwiększenie zdolności mostu, tempa jego budowy, to zdaniem autorów należy to uczynić.

4. POSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz i porównań, można stwierdzić, że skłonność do stosowania materiałów o wysokiej wytrzymałości (FRP i HSS) wraz z odpowiednią konfiguracją strukturalną i materiałową elementów nośnych, jest wysoce zalecana dla mostów wojskowych. Wykorzystanie tych dwóch czynników (materiał i struktura konstrukcji) może pomóc w zaspokojeniu wymagań wynikających ze wzrostu obciążeń projektowych mostów i zapotrzebowania na wydajne systemy układania mostów zdolnych do budowy przęseł o rozpiętości ponad 40 m.

Dla celów wsparcia i logistyki najbardziej nadają się specjalnie dedykowane konstrukcje mostowe, które oprócz szybkości montażu zapewnią także dużą przepustowość i bezpieczeństwo przejazdu ciężkich zestawów drogowych. Rozwój mostów wojskowych ukierunkowany jest głównie na wprowadzanie zmian konstrukcyjnych i technologicznych zapewniających wzrost ich nośności i długości, przy jednoczesnym zmniejszeniu pracochłonności budowy mostu.

Projektując most wsparcia należy wziąć pod uwagę jego wymaganą nośność oraz długość przęsła. Podział konstrukcji nośnej przęsła na podłużne elementy montażowe zależy od długości środka transportowego, a sposób podziału poprzecznego od dopuszczalnej szerokości i wysokości środka transportowego w ruchu drogowym. Dopuszczalna szerokość transportowa dla pojazdów cywilnych, wynosząca 3 m, jest zazwyczaj przekraczana w przypadku mostów pontonowych, jedynie wysokość transportowa (4 m), rzadziej (np. francuski EFA – 4,09 m). W projekcie wojskowym nie powinno się ograniczać, wymaganiami cywilnymi, które nie gwarantują osiągnięcia celu i uniemożliwiają powstanie rozwiązania o odpowiednim stosunku koszt – efekt. Wyjątkowość „działań i potrzeb wojennych” powinna dopuszczać odstępstwa od wymagań cywilnych na rzecz zaspokojenia funkcji militarnych sprzętu wojskowego w tym mostowego. Przy narzuconym wzroście nośności mostów nie jest możliwe trzymanie się starych wymagań transportowych. Nawet zastosowanie nowoczesnych stopów aluminiowych bądź kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami węglowymi (lub innymi) nie spowoduje znacznego zmniejszenia przekrojów elementów nośnych przęsła i układacza, koniecznych dla zaprojektowania mostu pod nowe obciążenia. Należy jeszcze raz podkreślić, że mały gabaryt transportowy to mały/krótki element konstrukcyjny, wymagający większej liczby elementów i operacji montażowych (czasu) potrzebnych do zmontowania długiego i odpowiednio wytrzymałego przęsła. Znalezienie balansu/kompromisu między „prawem” a aspektami potrzeb militarnych nie jest łatwym wyborem. Trudne i nieefektywne będzie

poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych, zapewniających dużą nośność i rozpiętość przęseł, zaprojektowanych do transportu na standardowych pojazdach z cywilnymi ograniczeniami.

Literatura

- [1] Donaldson P., Combat engineering update. *Military Technology* 12/2017, p. 29-32.
- [2] Wagner J.L., Military Bridging and Maneuver Warfare: Deficiencies and the Way Ahead. United States Marine Corps Command and Staff College, Marine Corps University, Quantico. 19 February 2008 www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA499632 [online]. [dostęp: 12.11.2017].
- [3] Lach Z., Skrzyp J., Łaszczuk A.: Geografia bezpieczeństwa państw regionu środkowoeuropejskiego, MON, Szt. Gen. WP, Zarząd Geografii Wojskowej, Warszawa 2001.
- [4] Jałowiec T.: Potrzeby wojsk lądowych w zakresie mostów towarzyszących. *Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe* (24) nr 1, 2009 s. 29-34.
- [5] Łopatka M., Żelkowski J.: „Wymagania stawiane współczesnym mostom wojskowym”. *Biuletyn Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe*. 2009. vol.24, nr 1 s. 35-44.
- [6] Kuchta W.: Tendencje rozwojowe sprzętu przeprawowego a potrzeby wojsk lądowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna, Inżynieria Wojskowa, problemy i perspektywy. Wrocław, WSOWL-WITI, 2008, s. 109-118.
- [7] Ставицкий М.: Состояние и перспективы развития возможностей оборонно-промышленного комплекса по созданию и производству средств инженерного вооружения. Оборонно-промышленный комплекс России. Москва 2014, <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-10/III/Stavickiy.pdf> [online]. [dostęp: 10.05.2018].
- [8] Schmidt P., Baumel S., The New Dornier Foldable Bridge DOFB. 6th European ISTVS Conference 4. ÖVK Symposium "Off Road Vehicles in Theory and Practice", Vienna, Austria September 28-30, 1994 Proceedings Volume II pp. 859-886 www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA288766 [online]. [dostęp: 12.05.2017].
- [9] Seeßelberg C.: Modern Elements of Computer-aided Engineering for the Design of the Dornier Foldable Bridge. *Mobile and Rapidly Assembled Structures by Computational Mechanics*, Southampton; 1996, pp. 261-270
- [10] Kryteria techniczne wyrobu Most składany FFB. MON, KTW-54-A329 1999 r.
- [11] Sprawozdanie z badań Nr1 LB3/99 Most składany FFB. WITI Wrocław 1999 r.
- [12] Eurobridge, Mobile Brücken GmbH, D-88039, Fridrichshafen, Germany, Materiały poglądowe DoFB.
- [13] Combined Arms Gap-Crossing Operations. Field Manual No FM 3-90.12/MCWP 3-17.1 (FM 90-13). Headquarters Department of the Army Washington, DC, 1 July 2008. [online]. [dostęp: 12.06.2018].
- [14] WFEL extends US Army contract with £30m upgrade deal. 11 Jul 2016 <https://www.wfel.com/news/wfel-extends-us-army-contract-with-gbp-30m-upgrade-deal/> [online]. [dostęp: 12.05.2018].
- [15] Dry support bridge www.wfel.com/products-and-services/dry-support-bridge/ [online]. [dostęp: 12.05.2018].

- [16] TM 5-5420-279-10, Operator's Manual for Dry Support Bridge (DSB) (NSN 5420-01-469-7479), 10 May 2004.
- [17] Mobile bridges by Kockums Naval Systems. Materiały poglądowe mostów FB 48 i FB48/200.
- [18] Höglund T. et. al.: Fast bridge 48, Svetsen Specjal Issue 1995.
- [19] 200-meters monterbar bro, <http://www.vhfk.se/wp-content/uploads/2016/10/Krigsbro-6.pdf> [online]. [dostęp: 10.03.2018].
- [20] ЛОБОВ И., Преграды не страшны. Мостовой механизированный комплекс ММК. Журнал "Национальная оборона" №7/2012 С. 32-34. <http://www.nationaldefense.ru/includes/periodics/defense/2012/0726/15568771/detail.shtml> [online]. [dostęp: 12.05.2018].
- [21] Patent 2385980. Мостовой механизированный комплекс. <http://www.freepatent.ru/patents/2385980> 2008/10 [online]. [dostęp: 12.11.2017].
- [22] Collin P., Johansson B. Bridges in high strength steel. International Association for Bridge and Structural Engineering, IABSE Reports; 92, 2006, pp. 434-435.
- [23] Goss Cz., Marecki P.: Problemy trwałości zmęczeniowej połączeń spawanych wykonanych ze stali S890QL. Biuletyn WAT Vol. LXI, Nr 2, 2012
- [24] Raczyński Z.; Badania parametrów wytrzymałościowych przęsła mostu MS-40. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (36) nr 1, 2015 s. 99-113.
- [25] Zhang, D., Zhao, Q., Huang, Y., Li, F., Chen, H., and Miao, D. (2014). Flexural properties of a lightweight hybrid FRP-aluminum modular space truss bridge system. Composite structures, 108, pp. 600-615.
- [26] Kamyk Z., Szelka J., Zastosowanie kompozytów w mostach wojskowych. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej; Archives of Institute of Civil Engineering 5/2009 s. 133-142.
- [27] STANAG 2021 Ed8. AEP-3.12.1.5 Military Load Classification Of Bridges, Ferries, Rafts And Vehicles Ed. A Version 1, September 2017

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPPORT BRIDGES

Summary

Contemporary support bridges differ in terms of materials and construction solutions with regard to the essential elements, the assembly technology used and the logistic system responsible for the transport and assembly.

Generally, auxiliary span on which span segments are laid and then pushed to the other end of the bridge using various methods is used for assembly. Only in the construction of the M18 DSB (Dry Support Bridge) and GSB (General Support Bridge) bridge segments, the segments are suspended to the auxiliary span and moved to the opposite bank in the suspended position.

In most constructions the spans are in the form of plate girders made of aluminum alloy or high strength steel. Rarely, these are lattice girders, which are the supporting structure in the Swedish FB 48 (Fast Bridge) and the Chinese HZ 51M fast mechanized bridge.

Typical high-mobility vehicles with 4 or 5 axles are used as bridge-launching and transporting vehicles. Only the Polish MS 40 bridge uses a tractor with semi-trailer for this purpose.