

mgr inż. Erik Mikulski^{1*)}

ORCID: 0000-0001-5453-4954

dr hab. inż. Ryszard Chmielewski¹⁾

ORCID: 0000-0001-5662-9180

dr inż. Andrzej Wolniewicz¹⁾

ORCID: 0000-0002-6408-742X

Proposal of structural solution for portable truss bridge girder

Propozycja rozwiązania konstrukcyjnego dźwigara mostu składanego

DOI: 10.15199/33.2025.12.14

Abstract. The paper presents a design of a portable bridge girder for heavy traffic, which is a fully original proposal, protected by patent no. P.438762, for a new structure that meets contemporary technical and operational requirements. First, the currently used design solutions for folding bridges were compared, which allowed the direction of research to be determined in order to obtain a girder design that would allow for high load-bearing capacity while minimising its own weight. The analysis of structural solutions and the use of experience gained from the operation of this type of structure have enabled the development of a new solution, which was then compared with the properties of domestic and foreign structures. The analysis shows that the developed concept of a new road bridge girder structure, once implemented, could be a continuation of domestic folding structures, while meeting all current requirements.

Keywords: portable bridge; structural analysis; bridge girder; load capacity of steel structures.

Streszczenie. W artykule przedstawiono konstrukcję dźwigara mostu składanego pod ruch ciężki, która stanowi w pełni autorską, chronioną patentem nr P. 438762, propozycję nowej konstrukcji spełniającej współczesne wymagania techniczno-eksploatacyjne. Na wstępie opisano wykorzystywane obecnie rozwiązania konstrukcyjne mostów składanych, co pozwoliło na określenie kierunku badań w celu uzyskania konstrukcji dźwigara o dużej nośności przy minimalizacji ciężaru własnego. Analiza rozwiązań konstrukcyjnych oraz wykorzystanie doświadczeń z eksploatacji tego typu konstrukcji pozwoliły na opracowanie nowego rozwiązania, którego właściwości porównano z właściwościami konstrukcji krajowych i zagranicznych. Z analizy wynika, że opracowana koncepcja nowej konstrukcji dźwigarów drogowego mostu składanego mogłaby po wdrożeniu stanowić kontynuację krajowych konstrukcji składanych, jednocześnie spełniając wszelkie obecne wymagania.

Słowa kluczowe: mosty składane; analiza konstrukcji; dźwigar mostowy; nośność konstrukcji stalowych.

Terrain obstacles, including water obstacles, have been a natural barrier to human activity for centuries. One way to overcome them is to build a crossing using portable truss bridge structures, which are commonly used in many areas of transport infrastructure construction [1]. Originally, they were used in military operations [2] and served to create crossings that ensured the safe passage of logistics vehicle columns during combat operations and stabilization missions [3]. In addition to their use in military threats, folding structures are also used in emergency situations related to natural disasters, such as floods, which result in damage to transport infrastructure. Modular bridge structures are ideal for restoring crossings in such situations [4], as demonstrated by events not only in our country (photo 1, photo 2), but also in other regions of the world [5, 6]. What is more, they are used in the renovation of permanent crossings, especially when stopping traffic would cause significant transport difficulties for local residents. Examples include bridges in Kiezmark, Ostrołęka, and Grudziądz. The crossings built there made it possible to overcome obstacles along roads, which included renovated bridges. In all these cases, the domestically produced DMS-65 structure was used [7, 8]. It also happens that structural

przeszkody terenowe, w tym przeszkody wodne, stanowią od wieków naturalną barierę w działalności człowieka. Jednym ze sposobów ich pokonywania jest budowa przeprawy z zastosowaniem konstrukcji mostów składanych, które są powszechnie wykorzystywane w wielu obszarach budownictwa komunikacyjnego [1]. Pierwotnie były stosowane w działaniach wojskowych [2] i służyły do urządzania przepraw zapewniających bezpieczny przejazd kolumn pojazdów logistycznych podczas działań bojowych oraz misji stabilizacyjnych [3]. Oprócz zastosowania w zagrożeniach militarnych konstrukcje składane wykorzystywane są również w sytuacjach kryzysowych związanych z występowaniem klęsk żywiołowych m.in. powodzi, w wyniku których dochodzi do uszkodzenia obiektów komunikacyjnych. Konstrukcje mostów składanych doskonale nadają się do odtwarzania przepraw w tego typu sytuacjach [4], na co wskazują wydarzenia nie tylko w naszym kraju (fotografie 1, 2), ale również w innych regionach świata [5, 6]. Ponadto wykorzystywane są w przypadku remontów przepraw stałych, szczególnie gdy wstrzymanie ruchu prowadziłoby do istotnych utrudnień komunikacyjnych dla okolicznych mieszkańców. Przykładem mogą być mosty w Kiezmarku, Ostrołęce czy Grudziądzu. Budowane tam przeprawy umożliwiały pokonywanie przeszkód w ciągu dróg, których elementem były remontowane mosty. We wszystkich tych przypadkach zastosowano krajową konstrukcję DMS-65 [7, 8]. Zdarza się również, że elementy konstrukcyjne mostów składanych

¹⁾ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

^{*)} Correspondence address: erik.mikulski@wat.edu.pl



Photo 1. Setting up spans of a crossing made of DMS-65 structures in Glucholazy after the flood in 2024

Fot. 1. Ustawianie przęseł przeprawy wykonanej z konstrukcji DMS-65 w miejscowości Glucholazy po powodzi w 2024 r.

Fot. autorzy



Photo 2. Riverbed 53 m wide; before the flood wave passed, the bridge was 12 m wide – Żywocice

Fot. 2. Koryto rzeki o szerokości 53 m, przed przejściem fali powodziowej; szerokość mostu wynosiła 12 m – Żywocice

Fot. autorzy

elements of portable bridges are adapted to parts of permanent crossing structures. The use of older MS 22-80 or MS-54 structures that are in storage and unused may contribute to reducing the cost of bridge construction. For local authorities with limited budgets, this solution provides significant financial relief and allows the local population to cross water obstacles. Another well-known phenomenon is the use of portable bridge elements in technological bridges, load-bearing supports, and all kinds of scaffolding. Some of the most interesting examples include: the installation of the roof of the Central Station in Warsaw; the construction of temporary supports to facilitate the installation of the supporting structure of the Siekierkowski Bridge in Warsaw in 2002; the use of KD-66C and SPS structures to build technological supports and two access flyovers during the construction of a permanent bridge over the Vistula River in Płock in 2003 – 2004 [7].

In each of the cases presented, the use of folding bridges is associated with ensuring load-bearing capacity and traffic capacity requirements, which native structures meet to a limited extent. The article describes the structural solutions of currently available domestic and foreign folding bridge structures in terms of their applicability in modern transport infrastructure construction. This analysis has enabled the development of a new folding bridge structure, provisionally designated MSC 23-150, intended for road crossings under the heaviest civil and military loads, including a truss girder design as the most important load-bearing element.

Requirements for modern portable truss bridge structures

The development of road transport has an impact on the requirements for modern crossings. In addition, the parameters of modern military vehicles differ from those

adaptyje się do części konstrukcji przepraw stałych. Wykorzystanie będących na składach i nieużywanych konstrukcji starszego typu MS 22-80 lub MS-54 może przyczynić się do zmniejszenia kosztów budowy mostu. W przypadku gmin o ograniczonym budżecie taki zabieg stanowi znaczne odciążenie finansowe, a miejscowej ludności zapewnia możliwość pokonywania przeszkody wodnej. Znanym zjawiskiem jest też wykorzystywanie elementów mostów składanych w mostach technologicznych, podporach odciążeniowych czy wszelkiego rodzaju rusztowaniach. Do najciekawszych przykładów należą: montaż dachu Dworca Centralnego w Warszawie; budowa podpór tymczasowych ułatwiających montaż konstrukcji nośnej Mostu Siekierkowskiego w Warszawie w 2002 r.; wykorzystanie konstrukcji KD-66C i SPS do wykonania podpór technologicznych i dwóch estakad dojazdowych na czas budowy mostu stałego przez Wisłę w Płocku w latach 2003 – 2004 r. [7].

W każdym z przedstawionych przypadków zastosowanie mostów składanych wiąże się z zapewnieniem wymagań dotyczących nośności i przepustowości, które rodzime konstrukcje spełniają w ograniczonym zakresie. W artykule opisano rozwiązania konstrukcyjne dostępnych współcześnie krajowych oraz zagranicznych konstrukcji mostów składanych pod kątem możliwości ich zastosowania we współczesnym budownictwie komunikacyjnym. Analiza ta pozwoliła na opracowanie nowej konstrukcji mostu składanego, roboczo oznaczonej MSC 23-150, przewidzianej do przepraw drogowych pod największe obciążenia zarówno cywilne, jak i wojskowe, w tym rozwiązanie konstrukcyjne dźwigara kratowego jako najważniejszego elementu nośnego.

Wymagania stawiane konstrukcjom mostów składanych współcześnie

Rozwój transportu drogowego wpływa na wymagania stawiane współczesnym przeprawom. Dodatkowo parametry współczesnych pojazdów wojskowych różnią się od tych z połowy ubiegłego wieku, przykładowo masy czołgów bojowych

of the middle of the last century, for example, the weight of battle tanks has increased by 40%. The currently available domestic portable bridge structures were designed for much lower loads than those encountered today. New structures should meet the requirements of modern civilian and military vehicles.

Live load values and required roadway width. The structures currently used in Poland for the passage of military columns should meet the requirements of STANAG 2021, which are at least MLC 70 for tracked vehicles and MLC 120 for wheeled vehicles. This fact results from the parameters of military equipment. The MLC 70 category corresponds to the loads caused by most modern NATO tanks, such as the Abrams M1, the Leopard 2A5 used by the Polish army, and the Challenger 2. Class MLC 120 specifies the weight of a tractor unit and low-loader semi-trailer together with a load consisting of the above-mentioned types of tanks placed on it. It should be remembered that the MLC class is not only the permissible load, but also the required road width, which may affect the transport of the equipment in question [9]. Crossings constructed from modular structures to ensure passability in emergency situations or as detour bridges should also meet civil standards. In Poland, Eurocode 1 is currently the applicable standard. This standard includes so-called load models that represent the effects of road traffic. The basic model that simulates road loads in this standard is LM1 (Load Model 1) [10].

Due to communication needs, in the case of crossings operated in emergency situations, the requirements for two-way traffic and military loads of class MLC 40 must be fulfilled. This assumption is based on the need to ensure the passage of military and civilian trucks in both directions. In the context of portable bridge construction, this means building a dual carriageway bridge with the required roadway width, which, according to standard [9], should be at least 7.30 m. The width of the deck has a significant impact on the capacity of the crossing.

Other requirements. The width of a water or land obstacle determines the number of spans and, consequently, the number of supports. Too many supports have a negative impact on ship traffic, the amount of resources used to build the supports, and the time needed to complete the crossing. It follows that the aim should be to achieve the greatest possible span, both in free-supported and continuous systems. Structures that can be built in a continuous system achieve a greater span. The possibility of building a structure in a continuous system significantly reduces the time needed to complete the crossing.

Like any structure, portable bridges must be used properly. They are designed to be used for a relatively short period of time and then folded up again for storage and maintenance. For this reason, it is important that the structure is versatile, allowing for the construction of various structural systems, and simple in design, i.e., consisting of as few elements as possible. When used as bypass bridges, the service life of the

zwiększyły się o 40%. Dostępne obecnie krajowe konstrukcje mostów składanych projektowane były na znacznie mniejsze obciążenia niż obecnie występujące. Nowe konstrukcje powinny spełniać wymagania dotyczące współcześnie występujących pojazdów zarówno cywilnych, jak i wojskowych.

Wartości obciążeń użytkowych oraz wymagana szerokość jezdni. Przeprawy pojazdów wojskowych współcześnie używanych w Polsce do przejazdu kolumn wojskowych powinny zapewniać wymagania STANAG 2021 określone klasą co najmniej MLC 70 w przypadku pojazdów gąsienicowych oraz MLC 120 w przypadku pojazdów kołowych. Fakt ten wynika z parametrów sprzętu wojskowego. Kategoria MLC 70 odpowiada obciążeniom wywoływanym przez większość współczesnych czołgów armii NATO, takich jak Abrams M1, będący na wyposażeniu polskiej armii Leopard 2A5 czy Challenger 2. Klasa MLC 120 określa natomiast ciężar ciągnika siodłowego i naczepy niskopodwoziowej wraz z ładunkiem w postaci wymienionych typów czołgów na niej umieszczonych. Należy pamiętać, że klasa MLC to nie tylko dopuszczalne obciążenie, lecz także wymagana szerokość jezdni, która może mieć wpływ na przeprowadzenie danego sprzętu [9]. Przeprawy wykonywane z konstrukcji składanych w celu zapewnienia przejeźdźności w sytuacjach kryzysowych lub jako mosty objazdowe powinny spełniać również wymagania norm cywilnych. W warunkach polskich obecnie obowiązującą normą jest Eurokod 1. W normie tej występują tzw. modele obciążeń, które przedstawiają efekty ruchu drogowego. Podstawowym modelem, który symuluje obciążenia drogowe w tej normie, jest LM1 (Load Model 1) [10].

Ze względu na potrzeby komunikacyjne, w przypadku przepraw eksploatowanych w sytuacjach kryzysowych muszą być spełnione wymagania dotyczące przeprowadzenia ruchu dwukierunkowego i obciążeń wojskowych klasy MLC 40. Założenie to wynika z konieczności zapewnienia możliwości przejazdu samochodów ciężarowych, wojskowych i cywilnych, w dwóch kierunkach. W kontekście konstrukcji mostów składanych oznacza to wykonanie mostu dwujezdniowego o wymaganej szerokości jezdni, która na podstawie normy [9] powinna wynosić minimum 7,30 m. Szerokość pomostu w sposób istotny wpływa na przepustowość przeprawy.

Inne wymagania. Szerokość przeszkody wodnej lub terenu determinuje liczbę przęseł i w efekcie liczbę podpór. Zbyt duża liczba podpór negatywnie wpływa na żeglugę, wielkość środków wykorzystanych na budowę podpór oraz na czas realizacji przeprawy. Wynika z tego, że należy dążyć do uzyskania jak największej rozpiętości przęsłowej, zarówno w układzie wolnopodpartym, jak i w układzie ciągłym. Konstrukcje, które można budować w układzie ciągłym, uzyskują większą rozpiętość. Możliwość budowy konstrukcji w układzie ciągłym w sposób istotny skraca czas wykonywania przeprawy.

Jak każda konstrukcja, mosty składane muszą być odpowiednio eksploatowane. Ich przeznaczeniem jest wykorzystanie przez stosunkowo krótki okres oraz ponowne złożenie do magazynu i konserwacja. Z tego powodu istotne jest, aby konstrukcja była uniwersalna, a więc umożliwiająca budowę różnych układów konstrukcyjnych oraz prosta w budowie, czyli składała się z jak najmniejszej liczby elementów. W przypadku stosowania w formie mostów objazdowych

structure is extended. In this case, factors such as the durability of the surface, drainage of the structure, and the possibility of replacing components are important.

Characteristics of currently available folding bridge structures

There are many solutions used in folding bridge structures. Three domestic structures were analyzed, namely MS 22-80, MS-54, and DMS-65, as well as typical foreign folding bridges, such as Logistic Support Bridge, Compact 200, and Acrow 700XS. It should also be added that many countries strive to have their own designs. Examples include the Chinese ZJ 200 Portable Steel Bridge and the Czech TMS [6].

Domestic folding bridge structures. The MS 22-80 is an improved version of the Bailey modular bridge, designed to overcome large water obstacles, with vehicles traveling in one direction on a 4.2 m wide roadway. The deck is made of wooden planks laid on longitudinal beams. The elements of this bridge are used to construct girder bridges: double-walled two-story bridges in the basic configuration and single-story bridges, both single-walled and double-walled. The bridge designers also envisaged the possibility of constructing a crossing in a dual carriageway layout corresponding to the load-bearing capacity of a single-storey double-walled layout [7, 11].

Another domestic solution is the MS-54 – a structure designed entirely in Poland in the mid-1950s. The structural system used is a single-storey, single- or double-girder bridge. The width of the roadway is 6.0 m, and the deck is made of wooden planks laid on longitudinal beams. MS-54 consists of a set of elements from which a bridge with a span of up to 108 m can be built [7, 11].

The latest structure, also designed and manufactured entirely in Poland, is the DMS-65 bridge, intended for the rapid and repeated construction of crossings over terrain obstacles and the reconstruction of destroyed high-water bridges. An unquestionable advantage of this structure is the high speed of span assembly. The most commonly used structural systems of the DMS-65 bridge include the basic system, the system with a spatial overlay, and the dual carriageway system with three girders. Ultimately, the structure allows for one-way traffic on a 4.2 m wide roadway, and when the dual carriageway system is used, two roadways of the same width are available, as in the case of one-way traffic [7, 11].

Foreign portable truss bridge structures. The main foreign modular bridge structures are Acrow 700XS, Logistic Support Bridge, and Compact 200. These are modern truss bridges made of high-strength steel, based on the world-renowned Bailey system [12]. Thanks to a wide range of solutions, these structures can be adapted to local needs by using additional elements [4].

The Logistic Support Bridge (LSB) is a modern modular bridge design, which is essentially a version of the Bailey bridge modified for the needs of the US Army. In principle, both versions have the same design features. The

okres pracy konstrukcji wydłuża się. Wówczas istotne są takie czynniki, jak trwałość nawierzchni, odwodnienie konstrukcji oraz możliwość wymiany elementu.

Charakterystyka współcześnie dostępnych konstrukcji mostów składanych

Istnieje wiele rozwiązań zastosowanych w konstrukcjach mostów składanych. Przeanalizowano trzy konstrukcje krajowe, tj. MS 22-80, MS-54 i DMS-65 oraz typowe zagraniczne mosty składane, takie jak Logistic Support Bridge, Compact 200 lub Acrow 700XS. Należy również dodać, że wiele krajów dąży do posiadania własnych konstrukcji. Przykładem może być chiński ZJ 200 Portable Steel Bridge lub czeski TMS [6].

Krajowe konstrukcje mostów składanych. MS 22-80 jest to udoskonalona wersja składanego mostu Bailey'a, przeznaczona do pokonywania dużych przeszkód wodnych, ruchem pojazdów w jednym kierunku, po jezdni o szerokości 4,2 m. Pokład jezdni wykonany jest z dyli drewnianych ułożonych na belkach podłużnych. Z elementów tego mostu wykonuje się przeprawy o konstrukcji dźwigara: dwuściennne dwupiętrowe w układzie podstawowym oraz jednopiętrowe zarówno jednościennne, jak i dwuściennne. Konstruktorzy mostu przewidzieli również możliwość budowy przeprawy w układzie dwujezdniowym odpowiadającym nośności układu jednopiętrowego dwuściennnego [7, 11].

Kolejnym rodzimym rozwiązaniem jest MS-54 – konstrukcja w całości zaprojektowana w Polsce w połowie lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Stosowany układ konstrukcyjny to most jednopiętrowy, jedno- lub dwudźwigarowy. Szerokość jezdni wynosi 6,0 m, a pomost wykonany jest z dyli drewnianych ułożonych na belkach podłużnych. MS-54 składa się z zestawu elementów, z których można wybudować most o rozpiętości do 108 m [7, 11].

Ostatnią konstrukcją, również w całości zaprojektowaną i wykonywaną w Polsce, jest most DMS-65, przeznaczony do szybkiej i wielokrotnej budowy przepraw przez przeszkody terenowe oraz odbudowy zniszczonych mostów wysokowodnych. Niewątpliwą zaletą tej konstrukcji jest duże tempo montażu przęsł. Do najczęściej stosowanych układów konstrukcyjnych mostu DMS-65 należą: układ podstawowy; układ z nakładką przestrzenną oraz układ dwujezdniowy z trzema dźwigarami. Docelowo konstrukcja umożliwia jazdę w jednym kierunku po jezdni o szerokości 4,2 m, a po zastosowaniu układu dwujezdniowego dostępne są dwie jezdnie o tej samej szerokości, jak w przypadku ruchu jednokierunkowego [7, 11].

Zagraniczne konstrukcje mostów składanych. Główne zagraniczne konstrukcje mostów składanych to Acrow 700XS oraz Logistic Support Bridge i Compact 200. Są to nowoczesne mosty typu kratownicowego wykonane ze stali o dużej wytrzymałości, bazujące na znanym na świecie systemie Bailey'a [12]. Konstrukcje te dzięki dużemu wachlarzowi rozwiązań można dostosowywać do miejscowych potrzeb dzięki zastosowaniu dodatkowych elementów [4].

Logistic Support Bridge (LSB) to współczesna konstrukcja mostu składanego, która jest w zasadzie wersją mostu typu Bailey'a zmodyfikowaną na potrzeby armii USA. W zasadzie obie wersje mają te same rozwiązania. LSB składa się

LSB consists of cross beams that only allow for a 4.2 m wide roadway. It is used to build crossings with a load capacity of MLC 80 (tracked vehicles) and MLC 110 (wheeled vehicles), providing a maximum span of 51.82 m for both classes.

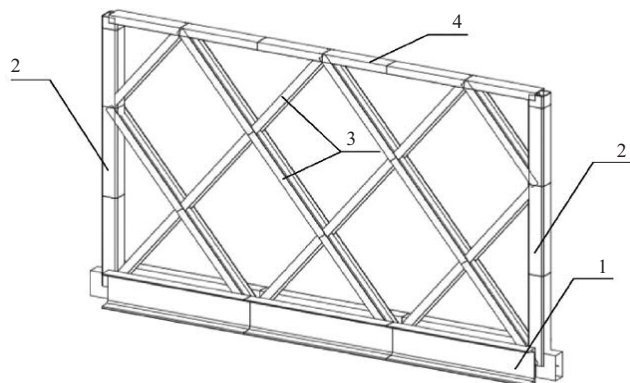
The Acrow 700XS bridge is a modern truss-type structure. It can be used as a road bridge, railway bridge, or pedestrian footbridge. The Acrow 700XS ultimately allows for the construction of crossings for load classes MLC 80 (tracked vehicles) and MLC 110 (wheeled vehicles). One set of components allows for the construction of a 76 m long bridge section. The bridge can be constructed as a crossing in one or two directions, depending on the crossbeam used, which is 3.67, 4.2, 5.5, 7.3, and 11 m long, respectively [12].

Concept of a new girder for the MSC 23-150 CIS road modular bridge

The latest Polish modular bridge design currently in use is the DMS-65, created in the 1960s. This design is no longer in production. Due to increasing communication requirements, a concept for a new domestic portable truss bridge design has been proposed. It is intended to ensure quick assembly using pins, reusability, and various structural layout options. The structure is used in the same way as other solutions, as it is intended for military crossings under the load of tanks or low-loader trailers with cargo, temporary bridges in emergency situations, and detour bridges during the renovation or reconstruction of a permanent bridge. The purpose of proposing a new structure was to achieve more efficient use of the girder cross-section. Increased load-bearing capacity can be achieved by changing the cross-section characteristics or using better material. In the proposed design, this was achieved by maximizing the use of truss chords and minimizing the amount of steel in the neutral axis zone of the bridge girder, as well as by using high-strength steel. In addition, the aim was to minimize repetitive elements and make the most efficient use of steel.

The bridge truss, as the basic element of the MSC 23-150 girder, consists of the following elements (Figure 1):

- a **bottom truss chord** made of two C220 C-sections, mirror-inverted in relation to each other, spaced 10 cm apart, finished with monolithic pin connection lugs;



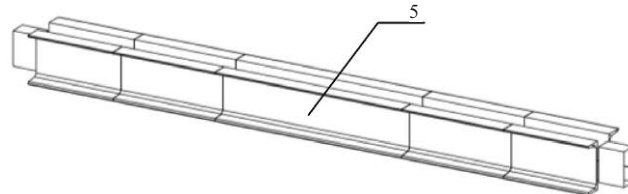
z belek poprzecznych umożliwiającą jedynie wykonanie jezdni o szerokości 4,2 m. Wykorzystywany jest do budowy przepraw pod obciążeniem MLC 80 (pojazdy gąsienicowe) oraz MLC 110 (pojazdy kołowe), zapewniając maksymalną rozpiętość w przypadku obu podanych klas 51,82 m.

Most typu Acrow 700XS jest współczesną konstrukcją typu kratownicowego. Może być wykorzystywany jako most drogowy, kolejowy oraz jako kładka dla pieszych. Acrow 700XS docelowo pozwala na urządzenie przepraw pod klasy obciążeń MLC 80 (pojazdy gąsienicowe) oraz MLC 110 (pojazdy kołowe). Jeden zestaw elementów pozwala na budowę odcinka mostu o długości 76 m. Most może być wykonywany jako przeprawa w jednym lub dwóch kierunkach w zależności od zastosowanej belki poprzecznej wynoszącej odpowiednio 3,67, 4,2, 5, 7,3 oraz 11 m [12].

Koncepcja nowego dźwigara drogowego mostu składanego MSC 23-150 CIS

Najnowszą polską konstrukcją mostu składanego stosowaną współcześnie jest DMS-65, stworzona w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Obecnie konstrukcja ta nie jest produkowana. Ze względu na zwiększające się wymagania w komunikacji zaproponowano koncepcję nowego rozwiązania krajowej konstrukcji mostu składanego. Ma ona zapewniać szybki montaż z wykorzystaniem sworzni, możliwość wielokrotnego użytkowania oraz różne warianty układu konstrukcyjnego. Zastosowanie konstrukcji jest takie jak w przypadku innych rozwiązań, ponieważ ma służyć do wykonywania przepraw wojskowych pod obciążenia od czołgów lub niskopodwoziowych ławet z ładunkiem, mostów tymczasowych w sytuacjach kryzysowych oraz mostów objazdowych, wykonywanych podczas remontu lub przebudowy mostu stałego. Zaproponowanie nowej konstrukcji miało na celu osiągnięcie efektywniejszego wykorzystania przekroju dźwigara. Zwiększenie nośności można uzyskać przez zmianę charakterystyki przekroju lub wykorzystanie lepszego materiału. W proponowanej konstrukcji osiągnięto to przez maksymalne wykorzystanie pasów kratownicowych oraz zminimalizowanie ilości stali w strefie przy osi obojętnej dźwigara mostowego, jak również zastosowanie stali o dużej wytrzymałości. Ponadto założono minimalizację powtarzalnych elementów oraz jak najbardziej efektywne wykorzystanie stali.

Płaska krata, jako podstawowy element dźwigara MSC 23-150, składa się z następujących elementów (rysunek 1):



Markings/Oznaczenia: 1 – bottom chord of a truss/pas dolny kratownicy; 2 – vertical posts/słupki pionowe; 3 – I-beam grating with openwork web/dwuteowe skratowanie z ażurowym środkiem; 4 – mounting strap/pas montażowy; 5 – linear element/element liniowy

Fig. 1. Main components of MSC 23-150 bridge girder trusses

Fig. own work

Rys. 1. Główne elementy krat dźwigara mostowego MSC 23-150

Rys. opracowanie własne

- **vertical columns** in the form of square-section pipes with external dimensions of 10 x 10 cm;

- **crossbars** made of double-T sections with an openwork web with a width of 100 and 90 mm – in wider crossbars, there are openings at the intersections with narrower crossbars and two elongated oval intermediate openings (equally spaced along the length), while in narrower crossbars there are only two openings between the junctions with wider crossbars. This solution, in addition to reducing the weight of the structure, allows for drainage and reduces the number of places (truss junctions) susceptible to corrosion;

- **assembly line** in the form of a C100 profile, which allows the linear element to be mounted to a flat grating in a basic configuration using socket-pin connections on columns and bolt connections.

The upper chord of the MSC 23-150 girder in the basic configuration is a so-called linear element, also consisting of two C220 profiles and an additional C100 profile enabling the linear element to be mounted to a flat truss using bolted connections (Figure 2). The MSC 23-150 structure also allows girders to be constructed in a two-story arrangement. The girder is then assembled by connecting two flat trusses, inverted in relation to each other in a mirror image, using a pin-socket connection on vertical columns and bolt connections at the intersection of the crossbars. It should be emphasized that, unlike other types of two-story portable truss bridges, only a small amount of steel was used near the neutral axis of the girder cross-section – only the assembly strips. In other structures, inefficiently used flat truss chords are located in the connection of trusses near the neutral axis. The spatial arrangement of the truss in a two-story, three-wall system is shown in Figure 2. The use of this solution reduces the dead load of the girders by almost 30%, and in the case of the entire steel structure of the span, i.e.

without the deck, the savings amount to 23% of the weight. The other components of the MSC 23-150 bridge include concentrations, crossbeams, wind braces, and deck slabs. **The MSC 23-150 design includes a unique sheet metal and truss crossbeam**, which provides high load capacity while reducing its own weight (Figure 3). This solution has also been registered as an invention, number P. 448192.

As in other modular bridge designs, individual truss elements will be connected with pins. In the case of design, an important and extremely demanding process is the proper dimensioning of the pin connection elements, taking into account the optimal so-called assembly clearance, which allows for the free connection of truss sections and limits the concentration of stress in the pin

- **pasa dolnego** wykonanego z dwóch ceowników C220, odwróconych względem siebie w odbiciu lustrzanym, w rozstawie 10 cm, który zakończono monolitycznymi uszami połączenia sworznioowego;

- **słupków pionowych** w postaci rur o przekroju kwadratowym i wymiarach zewnętrznych 10 x 10 cm;

- **skratowania** w postaci krzyżulców, wykonanych z dwuteowników z ażurowym środkiem o szerokości naprzemiennej 100 oraz 90 mm – w krzyżulcach szerszych otwory występują w węzłach skrzyżowań z krzyżulcami węższymi oraz dwa wydłużone owalne otwory pośrednie (równomiernie na długości), natomiast w krzyżulcach węższych występują tylko po dwa otwory pomiędzy węzłami skrzyżowań z krzyżulcami szerszymi. Takie rozwiązanie, poza zmniejszeniem ciężaru konstrukcji, umożliwia odwodnienie i zmniejsza liczbę miejsc (węzłów kratownicy) podatnych na korozję;

- **pasa montażowego** w postaci ceownika C100, który umożliwia montaż elementu liniowego do kraty płaskiej w układzie podstawowym za pomocą łączenia gniazdo-trzpień na słupkach oraz połączeń śrubowych.

Pasem górnym dźwigara MSC 23-150 w układzie podstawowym jest tzw. element liniowy, składający się również z dwóch ceowników C220 oraz dodatkowo ceownika C100 umożliwiającego montaż elementu liniowego do kratownicy płaskiej za pomocą połączeń śrubowych (rysunek 2). Konstrukcja MSC 23-150 umożliwia wykonywanie dźwigarów również w układzie dwupiętrowym. Montaż dźwigara polega wówczas na połączeniu dwóch krat płaskich, odwróconych względem siebie w lustrzanym odbiciu, za pomocą połączenia trzpień-gniazdo na słupkach pionowych oraz połączeń śrubowych w miejscu przecinania się krzyżulców. Należy podkreślić, że w odróżnieniu od innych typów mostów składanych w układzie dwupiętrowym, w pobliżu osi obojętnej przekroju dźwigara, zastosowa-

no małą ilość stali – jedynie pasy montażowe. W przypadku innych konstrukcji w połączeniu krat blisko osi obojętnej zlokalizowane są nieefektywnie wykorzystane pasy krat płaskich. Przestrzenny układ dźwigara w układzie dwupiętrowym, trójściennym przedstawiono na rysunku 2. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala zredukować o prawie 30% ciężar własny dźwigarów, a w przypadku całej konstrukcji stalowej przęsła, tj. bez pomostu, oszczędność ta wynosi 23% ciężaru. Do pozostałych elementów składowych mostu MSC 23-150 należą tężniki, belki poprzeczne, wiatrownice oraz płyty pomostu. **W konstrukcji MSC 23-150 zastosowano autorską blachownicowo-kratownicową belkę poprzeczną**, która zapewnia dużą nośność przy jednoczesnej redukcji ciężaru własnego (rysunek 3). To rozwiązanie zostało również zgłoszone jako wynalazek, numer P. 448192.

Podobnie jak w innych rozwiązaniach konstrukcji mostów składanych, po-

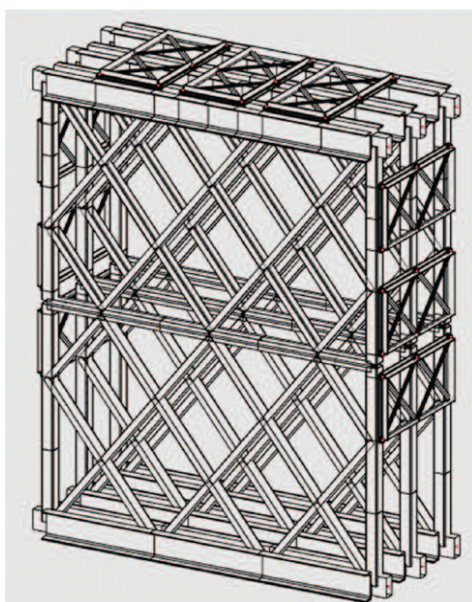


Fig. 2. Structural design of the girder for a new portable road bridge in two-storey settings *Fig. own work*
Rys. 2. Rozwiązanie konstrukcyjne dźwigara nowego drogowego mostu składanego w układzie dwupiętrowym *Rys. opracowanie własne*

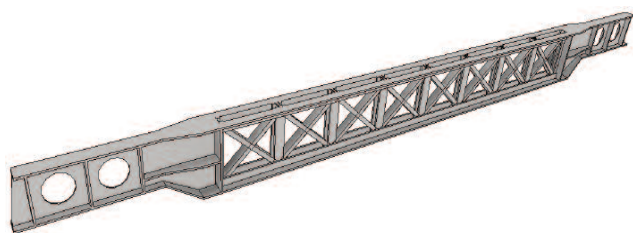


Fig. 3. The MSC 23-150 plate-and-truss beam concept *Fig. own work*
Rys. 3. Koncepcja belki blachownicowo-kratownicowej MSC 23-150
Rys. opracowanie własne

connection joints [13]. As is well known, modular bridge structures, including MSC 23-150, are designed for repeated assembly and disassembly, and the appropriate assembly clearance allows for effective dismantling of the structure even in the case of elements that have changed their geometry or other material parameters as a result of long-term use, as is the case with permanent bridge structures [14]. The least favorable static scheme of the bridge, as a freely supported beam, was adopted for the design calculations. In this scheme, the influence of assembly tolerances on the distribution of internal forces is minimized, which is why rigid connections between nodes were assumed in the dimensioning of the structure. In the case of a continuous beam structure, design calculations can be performed using the equivalent stiffness method [7].

Currently, new technologies, such as additive methods [15], have a significant impact on the development of construction. **The use of composites** is a very common technology in construction, especially in transport infrastructure. It can be used, among other things, for the rapid reconstruction of bridge elements after damage to the surface, ensuring safe use in emergency situations [16]. In bridge construction, however, these types of materials are used to build individual structural elements, such as bridge deck slabs or girders [17], as well as to build the entire bridge structure [18] and as elements used to reinforce bridge structures [19] or used at the construction stage in the form of permanent formwork [20]. The properties of composites were also used in MSC 23-150 in the form of composite bridge decks, which have already been used in temporary bridges after the flood in 2024 (photo 3).



Photo 3. Laying composite bridge panels on a crossing made of a DMS-65 folding bridge structure after the flood in 2024 [21]
Fot. 3. Układanie kompozytowych płyt pomostu na przeprawie wykonanej z konstrukcji mostu składanego DMS-65 po powodzi w 2024 r. [21]

szczególne elementy kratownicowe będą łączone na sworznie. W przypadku projektowania ważnym oraz niezwykle wymagającym procesem jest odpowiednie wymiarowanie elementów połączenia sworznioowego, uwzględniając optymalny tzw. luz montażowy umożliwiający swobodne łączenie odcinków krat oraz ograniczający koncentrację naprężenia w złączach połączenia sworznioowego [13]. Jak wiadomo, konstrukcje mostów składanych, w tym MSC 23-150, służą do wielokrotnego montażu i demontażu, a odpowiedni luz montażowy umożliwia skuteczne rozebranie konstrukcji nawet w przypadku elementów, które wskutek długiego okresu eksploatacji zmieniły geometrię lub inne parametry materiałowe, jak ma to miejsce w konstrukcjach mostów stałych [14]. Do obliczeń projektowych przyjęto najmniej korzystny schemat statyczny mostu, jako belki swobodnie podpartej. W schemacie tym minimalizowany jest wpływ luzów montażowych na rozkład sił wewnętrznych, dlatego też w wymiarowaniu konstrukcji przyjęto połączenia węzłów jako sztywne. W przypadku budowy konstrukcji w układzie belki ciągłej obliczenia projektowe można wykonywać, stosując metodę sztywności zastępczej [7].

Obecnie duży wpływ na rozwój budownictwa mają nowe technologie, np. metody addytywne [15]. Bardzo powszechnie stosowaną w budownictwie, szczególnie komunikacyjnym, technologią jest **wykorzystywanie kompozytów**. Może ona służyć m.in. do szybkiej odbudowy elementów lotniska po uszkodzeniu nawierzchni, zapewniając bezpieczeństwo jego użytkowania w sytuacjach kryzysowych [16]. W budownictwie mostowym stosuje się natomiast tego typu materiały do budowy poszczególnych elementów konstrukcyjnych, takich jak płyty pomostu lub dźwigary mostowe [17], a także do budowy całej konstrukcji mostu [18] oraz jako elementy służące do wzmacniania konstrukcji mostowych [19] lub stosowane na etapie wykonawstwa w formie deskowań tracyonnych [20]. Właściwości kompozytów wykorzystano również w MSC 23-150 w formie kompozytowych płyt pomostu, które zostały już zastosowane w mostach tymczasowych po powodzi w 2024 roku (fotografia 3).

Characteristics of selected portable truss bridge structures

The parameters of folding bridge structures were analyzed in the context of requirements determined by modern means of transport and other indirect factors. The most important of these are the maximum load capacity for a given span length,

Charakterystyka wybranych konstrukcji mostów składanych

Analizie poddano parametry konstrukcji mostów składanych w kontekście wymagań zdeterminowanych przez współczesne środki transportu i inne czynniki pośrednie. Najistotniejsze z nich to nośność maksymalna przy określonej

the maximum span length for a given load capacity, and the width of the deck, which determines the traffic capacity of the crossing. Some of these are not mandatory for a given crossing, but they provide many benefits. Such properties include, for example, the speed of construction of the crossing, the possibility of building a dual carriageway, optimal use of materials (in this case steel), or the design of the deck.

Analysis of the length of modular bridge spans. The load capacity of portable truss bridges and the span length of their spans are mutually correlated. Due to the diversity and large number of configurations of these bridges, variants that are used or proposed for implementation were selected for analysis. When determining the maximum span, the static scheme of the crossing in the form of a free-standing beam should be assumed. The analysis of domestic portable truss bridge structures was performed on the basis of analytical relationships expressing the strength index required due to the load and the one obtained on the basis of the geometric characteristics of the cross-section. A single heavy vehicle load was taken into account, in accordance with STANAG 2021, wheeled and tracked, positioned in the middle of the span and in the support zone. The stress of individual sections of the structure was checked in relation to the maximum stress. In the case of the usability of the structure, due to the kinematic deflection resulting from assembly clearances [7], the verification of its maximum deflection was omitted. The table summarizes the maximum span of bridge spans in their nominal structural arrangements. The values in the table are rounded down to multiples of three-meter segments. In the case of deviations from the required roadway width for two-way traffic, the span value is given with the symbol „(*)”.

Performance parameters of modular bridges. When using folding bridges for the construction of detour bridges, it is extremely important to choose a structure with adequate load-bearing capacity and throughput to ensure safe traffic movement. Based on the table, it can be concluded that there is currently a lack of structures that allow two-way traffic. Only the MSC 23-150 and MS-54 bridge structures allow for the construction of spans with two-way traffic. In the case of the construction of a single bridge span using the MS 22-80, DMS-65 or LSB structures, traffic would have to be alternating due to the insufficient width of the roadway for two-way traffic (the width of the roadway is 4.2 meters). It is possible to build two lanes, as in the case of the detour bridge in Ostrołęka or Głucholazy, but this involves using twice as many structures.

Maximum span values for portable bridge structures

Wartości maksymalnej rozpiętości przęseł konstrukcji mostów składanych

Type of construction/Typ konstrukcji	Length [m]/Rozpiętość [m]				
	MS 22-80	MS 54	DMS 65	MSC 23-150	LSB
MLC 80 tracked/MLC 80 gąsienicowe	24,0	33,0	24,0	66,0	60,0
MLC 120 wheeled/MLC 120 kołowe	18,0	27,0	15,0	60,0	51,0 (MLC 110)
MLC 40 wheeled, two-way traffic/MLC 40-kołowe, ruch dwukierunkowy	–	30,0*	–	72,0	–
Class I, EC 1/Klasa I, EC 1	15,0	24,0	21,0	48,0	42,0

rozpiętości, rozpiętość maksymalna przy określonej nośności oraz szerokość jezdni, która determinuje przepustowość przeprawy. Niektóre z nich nie są obligatoryjne w przypadku danej przeprawy, ale dostarczają dużo korzyści. Takimi właściwościami są np. szybkość budowy przeprawy, możliwość budowy układu dwujezdniowego, optymalne wykorzystanie materiałów (w tym przypadku stali), czy rozwiązanie konstrukcji jezdni.

Analiza rozpiętości konstrukcji przęseł mostów składanych. Nośność mostów składanych oraz rozpiętość ich przęseł są wzajemnie skorelowane. Ze względu na różnorodność oraz dużą liczbę konfiguracji konstrukcji tych mostów przyjęto do analizy warianty, które znajdują zastosowanie lub są proponowane do wdrożenia. Podczas wyznaczania maksymalnej rozpiętości należy przyjąć jako założenie schemat statyczny przeprawy w formie belki wolnopodpartej. Analizę krajowych konstrukcji mostów składanych wykonano na podstawie zależności analitycznych wyrażających wymagany, ze względu na obciążenie, wskaźnik wytrzymałości oraz ten, który uzyskuje się na podstawie charakterystyki geometrycznej przekroju. Przyjęto obciążenie jednym pojazdem ciężkim, zgodnie z STANAG 2021, odpowiednio kołowym i gąsienicowym, ustawionym w środku rozpiętości oraz w strefie podporowej. Sprawdzano wyężenie poszczególnych przekrojów konstrukcji w odniesieniu do maksymalnego naprężenia. W przypadku użyteczności konstrukcji, ze względu na powstające ugięcia kinematyczne od luzów montażowych [7], pominięto sprawdzanie maksymalnego jej ugięcia. W tabeli zestawiono uzyskaną maksymalną rozpiętość przęseł mostów w ich nominalnych układach konstrukcyjnych. Wartości z tabeli są zaokrąglone do wielokrotności trzymetrowych segmentów w dół. W przypadku odstępstw od wymaganej szerokości jezdni przy ruchu dwukierunkowym podano wartość rozpiętości z symbolem „(*)”.

Parametry użytkowe mostów składanych. W przypadku zastosowania mostów składanych do budowy mostów objazdowych niezwykle ważny jest wybór konstrukcji o odpowiedniej nośności oraz przepustowości, zapewniającej bezpieczną komunikację przy jak najmniejszych obciążeniach użytkowych. Na podstawie tabeli można wnioskować, że obecnie brakuje konstrukcji umożliwiających ruch dwukierunkowy. Tylko konstrukcje mostów MSC 23-150 oraz MS-54 umożliwiają budowę przęseł z możliwością ruchu dwukierunkowego. W przypadku budowy jednej nitki mostu z konstrukcji MS 22-80, DMS-65 czy LSB ruch musiałby odbywać się wahadłowo ze względu na zbyt małą szerokość jezdni do ruchu dwukierun-

The use of the proposed MSC 23-150 structure for the construction of temporary bridges not only allows for greater spans than other structures, but also for the construction of a crossing with a deck width of 7.3 m. Such solutions, with a similar span, have also been used in foreign Acrow 700XS and Mabey Bridge folding bridges, although this requires a change in the basic structural systems to multi-storey ones and the additional use of reinforcing overlays on the truss chord.

In emergency situations, most cases involve the reconstruction of small-span crossings, often of municipal importance, which means that MS 22-80, MS-54, and DMS-65 structures prove their worth despite their age. One-way crossings are being built with traffic controlled by traffic lights or with right of way in one direction. When using these structures, the problem is to ensure adequate traffic flow on national roads used by heavy vehicles, which requires high traffic capacity.

The passage of military vehicles requires ensuring an appropriate MLC load class, for which two criteria must be met: adequate load capacity for a given span and deck width. The passage of a column of Leopard 2A5 tanks, for example, requires MLC class 70, or in the case of transporting these vehicles on a low-loader trailer, MLC class 120 for wheeled vehicles [9]. Most of the available structures do not meet the MLC 120 roadway width criterion, which is 5.0 m. Of course, a 4.2 m wide roadway allows vehicles with the specified load to pass, but proper marking of the crossing and the introduction of an additional speed limit on the structure are required. In the case of load-bearing capacity allowing the passage of heavy military vehicles, it is theoretically possible for them to pass over MS 22-80, MS-54 or DMS-65 structures, but it is not possible to achieve large spans. In practice, it is unreasonable to build supports every 20 m, for example, where they would be too small and would hinder sailing or ice flow.

The new design of the MSC 23-150 folding bridge, as well as the LSB and Acrow 700XS designs, ensure load-bearing capacity over long spans. This allows for the construction and passage of heavy military vehicles, which should travel in the center of the roadway in one direction. **The decisive advantage of the MSC 23-150 over existing domestic structures is, of course, its load capacity and deck width**, which allows for the construction of longer bridges and speeds up their construction time, as fewer intermediate supports are required. It is also very important to be able to vary the bridge design depending on the location of the crossing. The Bailey system structures are certainly a model to follow, as they can be reinforced with linear elements and flat truss stacking, as well as with cross beams adapted to specific needs. The only disadvantage of stacking girders is the presence of C-sections in the neutral axis zone of the cross-section, which negatively affects the efficiency of steel use in girder construction. The MSC 23-150 CIS structure uses a solution in which the flat truss has only C-section chords on one side. Therefore, in order to obtain a stacked girder, it is sufficient to connect both grids with elements without chords using bolt connectors. This solution reduces the amount of unused steel in the neutral axis area of the cross-section (Figure 2). If a single-story girder is required, a so-called linear element is used, which is one of the girder chord, fixed with bolts.

kowego (szerokość jezdni wynosi 4,2 metra). Istnieje możliwość wykonania dwóch nitek, tak jak w przypadku mostu objazdowego w Ostrołęce czy Głucholazach, lecz wiąże się to z wykorzystaniem podwójnej ilości konstrukcji.

Zastosowanie do budowy mostów objazdowych proponowanej konstrukcji MSC 23-150 umożliwia nie tylko osiągnięcie większej rozpiętości niż pozostałe konstrukcje, lecz również budowę przeprawy z jezdnią o szerokości 7,3 m. Takie rozwiązania, przy podobnej rozpiętości, zostały zastosowane również w zagranicznych mostach składanych Acrow 700XS czy Mabey Bridge, jakkolwiek wymaga to zmiany podstawowych układów konstrukcyjnych na wielopiętrowe i dodatkowego zastosowania nakładek wzmacniających na pasach.

W sytuacjach kryzysowych większość przypadków dotyczy odbudowy przepraw o małej rozpiętości, często o znaczeniu gminnym, co sprawia, że konstrukcje MS 22-80, MS-54 czy DMS-65 mimo swojego wieku zdają egzamin. Budowane są przeprawy jednokierunkowe z ruchem kierowanym sygnalizacją świetlną lub z pierwszeństwem przejazdu w jednym kierunku. Przy wykorzystaniu tych konstrukcji problemem jest zapewnienie odpowiedniej przejezdności przepraw w ciągu dróg krajowych, po których poruszają się pojazdy ciężkie, a to wymaga dużej przepustowości.

Przejazd pojazdów wojskowych wiąże się z zapewnieniem odpowiedniej klasy obciążeń MLC, przy której muszą być spełnione dwa kryteria – odpowiednia nośność przy danej rozpiętości oraz szerokość jezdni. Przejazd kolumny czołgów Leopard 2A5 wymaga np. klasy MLC 70 lub w przypadku transportu tych pojazdów na naczepie niskopodwoziowej – klasy MLC 120 przy pojazdach kołowych [9]. Większość dostępnych konstrukcji nie spełnia kryterium szerokości jezdni klasy MLC 120, która wynosi 5,0 m. Oczywiście jezdnie o szerokości 4,2 m zapewnia przejazd pojazdów o wymienionym obciążeniu, ale wymagane jest właściwe oznakowanie przeprawy i wprowadzenie dodatkowego ograniczenia prędkości poruszania się po obiekcie. W przypadku nośności umożliwiającej przejazd ciężkich pojazdów wojskowych teoretycznie istnieje możliwość ich przejazdu po konstrukcjach MS 22-80, MS-54 czy też DMS-65, lecz nie jest możliwe osiągnięcie dużych rozpiętości. W praktyce nieracjonalna jest budowa podpór np. co 20 m, tam gdzie będą one zbyt małe i będą utrudniały żeglugę, czy spływ kry lodowej.

Nowa konstrukcja mostu składanego MSC 23-150, jak również konstrukcje LSB czy Acrow 700XS zapewniają nośność przy dużej rozpiętości. Pozwala to na budowę i przeprawę ciężkich pojazdów wojskowych, których przejazd powinien odbywać się środkami jezdni w jednym kierunku. **Zdecydowaną przewagą MSC 23-150 nad dotychczasowymi konstrukcjami krajowymi jest oczywiście jej nośność oraz szerokość pomostu**, co pozwala na budowę przepraw o większej rozpiętości oraz przyspiesza czas ich budowy, ponieważ wymagana jest mniejsza liczba podpór pośrednich. Bardzo ważna jest również możliwość wariantowania konstrukcji mostu w zależności od lokalizacji przeprawy. Wzorem do naśladowania są z pewnością konstrukcje na bazie systemu Bailey, które zapewniają możliwość wzmacniania elementem linowym oraz piętrowaniem krat płaskich, a także zmianą belki

Summary and conclusions

The versatility of portable truss bridge structures ensures that they can be used in many situations. Each application requires the selected structure to meet specific parameters. The most important of these are the load-bearing capacity and span length, which are interrelated. Continuous technological development in transport determines the process of increasing the capabilities of modular bridge structures, as evidenced by the modernization of the Bailey bridge in the form of the Compact 200, LSB, and Acrow 700XS bridges.

As a result of the time that has passed, most domestic portable truss bridge structures only meet the requirements of modern transport infrastructure to a limited extent. Often, the achievable span length is so small that the construction of a crossing with a large number of supports is not justified, as it generates high costs and a long construction time. This applies to most of the currently used domestic modular bridge structures with load-bearing capacity based on Eurocode 1 or load class MLC 120. It is worth adding that even if the load-bearing capacity and span conditions are met, very often the condition regarding the width of the roadway is not met, e.g., in MS 22-80, DMS-65, LSB, and Acrow, the basic deck width is 4.2 m, which eliminates these structures from use as logistics bridges for heavy military transport. The narrow carriageway also makes it impossible to achieve two-way traffic. In such a case, it is necessary to build a dual carriageway bridge, and the construction of an additional crossing involves significantly increased costs.

Modular bridge structures with wide crossbeams, and consequently wide roadways, can be adapted to other needs in a short time without additional expansion, which increases the possibilities of application of a given structure. In the case of structures with a roadway width greater than 7 m (MSC 23-150), it is possible to change the traffic organization on the bridge from one-way, e.g., during the passage of a column of military vehicles, to two-way, e.g., civilian vehicle traffic, without any additional measures.

Most domestic portable truss bridges have outdated structural solutions, such as the deck (wooden in the case of MS 22-80 and MS-54 bridges) or the lack of drainage, which is particularly important in the context of long-term use, as in the case of bypass bridges. The deck solution in the form of composite slabs increases its durability and has a positive impact on the operation process. In the case of crossings over large water obstacles, taking into account the current Polish modular bridge structures, only the MS-54 in a double-wall, double-girder configuration, which is not used in practice, has the capacity to achieve a span in a freely supported beam configuration with a span of 40 m under loads from Abrams or Leopard 2 tanks. This value is the minimum length of the crossing without the construction of intermediate supports [22].

Based on an analysis of domestic and foreign bridge design parameters, a proposal for a modern portable truss bridge was created. The structure designated MSC 23-150 CIS was developed that meets all the requirements of modern transport infrastructure. It allows vehicles of the required MLC classes to cross and provides temporary crossings for two-way traffic,

poprzecznej dostosowanej do określonych potrzeb. Jedyną wadą piętrowania dźwigarów jest obecność ceowników w strefie osi obojętnej przekroju, co negatywnie wpływa na efektywność wykorzystania stali do budowy dźwigara. W konstrukcji MSC 23-150 CIS zastosowano rozwiązanie, w którym krata płaska ma jedynie pasy w postaci ceowników z jednej strony. Chcąc zatem uzyskać dźwigar piętrowy, wystarczy połączyć obie kraty elementami bez pasów przez łączniki w postaci śrub. Takie rozwiązanie redukuje ilość niewykorzystanej stali w obszarze osi obojętnej przekroju (rysunek 3). W przypadku potrzeby uzyskania dźwigara jednopiętrowego stosuje się natomiast tzw. element liniowy, który stanowi jeden z pasów dźwigara, zamocowany z wykorzystaniem śrub.

Podsumowanie i wnioski

Uniwersalność konstrukcji mostów składanych zapewnia możliwość ich wykorzystania w wielu sytuacjach. Każde zastosowanie wiąże się z potrzebą zapewnienia określonych parametrów przez wybraną konstrukcję. Najważniejszy z nich to powiązane ze sobą nośność i rozpiętości przęsła. Ciągły rozwój technologiczny w transporcie determinuje proces zwiększania możliwości konstrukcji mostów składanych, czego dowodem jest modernizacja mostu Bailey'a w postaci mostu Compact 200, LSB czy Acrow 700XS.

W wyniku upływu czasu, większość krajowych konstrukcji mostów składanych spełnia wymagania współczesnego budownictwa komunikacyjnego w ograniczonym stopniu. Często możliwa do osiągnięcia rozpiętość przęsła jest na tyle mała, że budowa przeprawy z dużą liczbą podpór nie jest uzasadniona, ponieważ generuje duże koszty oraz długi czas wykonania. Dotyczy to większości obecnie stosowanych krajowych konstrukcji mostów składanych przy zapewnieniu nośności pod obciążenie uzyskane na podstawie Eurokodu 1 lub przy klasie obciążenia MLC 120. Warto dodać, że jeżeli nawet spełnione są warunki nośności i rozpiętości, to bardzo często występuje brak spełnienia warunku dotyczącego szerokości jezdni, np. w konstrukcjach MS 22-80, DMS-65, LSB oraz Acrow podstawowa szerokość jezdni wynosi 4,2 m, co eliminuje te konstrukcje z wykorzystania jako mosty logistyczne na potrzeby ciężkich transportów wojskowych. Mała szerokość jezdni uniemożliwia również uzyskanie przeprawy o ruchu dwukierunkowym. W takim przypadku wymagana jest budowa mostu w układzie dwujezdniowym, a budowa dodatkowej przeprawy wiąże się ze znacznie zwiększonymi kosztami.

Konstrukcje mostów składanych o dużej szerokości belek poprzecznych, a w efekcie również jezdni, mogą być adaptowane do innych potrzeb w krótkim czasie bez dodatkowej rozbudowy, co zwiększa możliwości zastosowania danej konstrukcji. W przypadku konstrukcji o szerokości jezdni większej niż 7 m (MSC 23-150) można bez żadnych dodatkowych czynności zmienić organizację ruchu na moście z jednokierunkowego, np. podczas przejazdu kolumny pojazdów wojskowych, na ruch dwukierunkowy, np. ruch pojazdów cywilnych.

Większość krajowych mostów składanych ma przestarzałe rozwiązania konstrukcyjne, takie jak pokład pomostu (drewniany w przypadku mostów MS 22-80 oraz MS-54), czy brak od-

including traffic on national roads. It is characterized by an optimized structural design with a reduced amount of steel in the neutral axis zone and the possibility of varying the girder and deck layouts. The structural design of this bridge was verified by creating a model using 3D printing (photo 4) and,



Photo 4. 3D model of the MSC 23-150 bridge section with the mounting bow

Fot. 4. Model 3D odcinka mostu MSC 23-150 wraz z dziobem montażowym

of course, in a numerical model. In addition, the solution is currently being verified by an independent design office. The MSC 23-150 folding bridge is a promising design that could replace the currently worn-out domestic structures and compete with their foreign counterparts.

wodnienia szczególnie ważnego w kontekście dłuższej perspektywy użytkowania, jak w przypadku mostów objazdowych. Rozwiązanie pomostu w postaci kompozytowych płyt zwiększa jego trwałość i wpływa pozytywnie na proces eksploatacji. W przypadku przepraw przez duże przeszkody wodne, biorąc pod uwagę obecne krajowe konstrukcje mostów składanych, to jedynie MS-54 w układzie dwuciennym dwudźwigarowym, niestosowanym w praktyce, ma możliwości uzyskania przęsła w schemacie belki wolnopodpartej o rozpiętości 40 m pod obciążenia czołgami typu Abrams czy Leopard 2. Wartość ta jest minimalną długością przeprawy bez budowy podpór pośrednich [22].

Na podstawie analizy parametrów krajowych i zagranicznych konstrukcji mostów składanych opracowano propozycję nowoczesnej, spełniającej wszystkie wymagania współczesnego budownictwa komunikacyjnego, propozycję mostu składanego, MSC 23-150, o oznaczeniu CIS, zapewniającego przejazd pojazdów wymaganych klas MLC oraz wykonywanie przepraw tymczasowych pod ruch dwukierunkowy, w tym ruch na drogach krajowych. Wyróżnia się zoptymalizowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym o zredukowanej ilości stali w strefie osi obojętnej oraz możliwością wariantowania układów dźwigara i pomostu. Układ konstrukcyjny tego mostu sprawdzono, wykonując model z zastosowaniem druku 3D (fotografia 4) oraz oczywiście w modelu numerycznym. Dodatkowo obecnie rozwiązanie jest weryfikowane przez niezależne biuro konstrukcyjne. Most składany MSC 23-150 jest konstrukcją perspektywiczną, która mogłaby zastąpić obecnie wysłużone konstrukcje krajowe i konkurować z zagranicznymi ich odpowiednikami.

*Received: 18.08.2025
Revised: 01.10.2025
Published: 23.12.2025 r.*

*Artykuł wpłynął do redakcji: 18.08.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 01.10.2025 r.
Opublikowano: 23.12.2025 r.*

Literature

- [1] M. Bridge Ltd. Bridging the World – Mabey Bridge.
- [2] Logistic Support Bridge TM Built on the success of the Bailey Bridge.
- [3] Benda M, Coufal D, Sobotka J. Specific Aspects of Bridge Construction in the Central African Republic. *Advances in Military Technology*. 2016. DOI: 10.3849/aimt. 01139.
- [4] André A, Fernandes J, Ferraz I, Pacheco P. New Modular Bridges Solutions. *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*. 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/419/1/012021.
- [5] Chmielewski R, Wolniewicz A, Ostrowska A, Mikulski E, Pęksa D, Huta W. Odbudowa infrastruktury transportowej Słowenii z udziałem państw NATO. *Przegląd Budowlany*. 2024. DOI: 10.5604/01.3001.0054.7605.
- [6] Bedna M. Reach-back possibility-temporary bridges after floods in 2013. 19. międzynarodná vedecká konferencia, Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí. 2014; pp. 59 – 66.
- [7] Marszałek J. Mosty składane. Warsaw: GDDKiA. 2005.
- [8] Ostrowska A, Chmielewski R. Overview of the organisation and technology of portable panel bridges. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych*. 2023. DOI: 10.37105/iboa.167.
- [9] NATO Standardization Agency. STANAG 2021 JAS (Edition 6) – Military Load Classification of bridges, ferries, rafts and vehicles. 2006, Brussels.
- [10] European Committee for Standardization. EN 1991-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridge. 2003, Brussels.
- [11] Białobrzęski T. Mosty składane. Warsaw: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1978.
- [12] Falkowski M, Mondel A. Przegląd mostów wojskowych armii USA. *Zeszyty Naukowe WSOWL*. 2010; no. 156, pp. 158 – 177.
- [13] Mikulski E, Chmielewski R, Wolniewicz A, Ostrowska A. Analysis of the Application of Analytical and Numerical Methods for the Dimensioning of Pin Connections of Folding Bridges. *Applied Sciences*. 2025. DOI: 10.3390/ap151810047.
- [14] Wysokowski A. Research on changes in properties of steel from the old road bridge. *Journal of Constructional Steel Research*. 2018. DOI: 10.1016/j.jcsr.2018.02.014.
- [15] Bernatowska E. Additive manufacturing in steel construction. *Materiały Budowlane*. 2025. DOI: 10.15199/33.2025.07.12.
- [16] Wesołowski M. Mobile composite cover as an element of the safety system during aircraft operations in random situations. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych*. 2025. DOI: 10.37105/iboa. 255.
- [17] Zobel H, Karwowski W. Kompozyty polimerowe w mostownictwie: pomosty wielowarstwowe. *Geoinżynieria: drogi, mosty i tunele*. 2006; no. 9, pp. 42 – 49.
- [18] Siwowski T, Zobel H, Al-Khafaji T, Karwowski W. FRP bridges in Poland: State of practice. *Archives of Civil Engineering*. 2021 DOI: 10.24425/ace.2021.138040.
- [19] Piątek B, Siwowski T. Investigation of strengthening effectiveness of reinforced concrete bridge with prestressed CFRP strips. *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*. 2016. DOI: 10.7409/rabdim.016.019.
- [20] Duda A. Innovative stay-in-place formwork reinforced with GFRP bars for deck bridge. *Materiały Budowlane*. 2025. DOI: 10.15199/33.2025.04.01.
- [21] <https://mostykompozytowe.pl/pozostala-dzialalnosc/>.
- [22] Ministerstwo Obrony Narodowej. Norma obronna NO-54-A203:2020. Mosty składane – wymagania ogólne. 2020, MON, Warsaw.