

*Jan Biliszcuk
Jerzy Onysyk
Wojciech Barcik
Robert Toczkiwicz*

Przykłady konstrukcji mostowych typu extradosed – projektowanie i budowa

EXAMPLES OF EXTRADOSSED BRIDGES – DESIGN AND CONSTRUCTION

Streszczenie

W ostatnich latach w Polsce nastąpił intensywny rozwój infrastruktury drogowej i kolejowej. Rocznie powstaje około 300 nowych obiektów mostowych. Wśród nowych konstrukcji można wyróżnić grupę nowoczesnych mostów betonowych typu extradosed.

Niniejszy artykuł przedstawia przykłady konstrukcji typu extradosed o małych, średnich i dużych rozpiętościach przęseł, zaprojektowanych i wybudowanych ostatnio w Polsce. Są to następujące konstrukcje:

- pierwszy w Polsce most typu extradosed;
- dwuprzęsłowe wiadukty typu landmark nad autostradami;
- wieloprzęsłowy zakrzywiony most autostradowy;
- największe w Polsce mosty typu extradosed;
- projekty koncepcyjne.

Opisane są szczegóły konstrukcyjne oraz technologia budowy wyżej wymienionych obiektów. Artykuł kończy się zestawieniem podstawowych cech geometrycznych prezentowanych konstrukcji.

Abstract

The road and railway infrastructure in Poland has been intensively developed and modernized for the last years. Around 300 new bridges are built annually. Among the new structures there is a group of modern extradosed bridges.

prof. dr hab. inż. Jan Biliszcuk – Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

dr inż. Jerzy Onysyk – Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

mgr inż. Wojciech Barcik – Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

dr inż. Robert Toczkiwicz – Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

This paper presents examples of short-, medium- and long-span extradosed bridges designed and built in recent years in Poland. The following structures are described:

- the first Polish extradosed bridge;
- two-span landmark viaducts over motorways;
- multi-span curved motorway bridge;
- the largest Polish extradosed bridges;
- conceptual designs.

Structural details and construction technology of the above mentioned bridges are described. The paper is concluded with a comparison of basic geometrical characteristics of presented bridges.

1. Wstęp

Mosty typu extradosed są stosunkowo nowym rodzajem konstrukcji budowanych od lat 80. XX wieku. Można je opisać jako konstrukcje pośrednie, między mostami belkowymi a podwieszonymi [1]. Kluczową cechą odróżniającą je wizualnie od mostów podwieszonych jest niewielka wysokość pylonów nad pomostem, a co za tym idzie niewielkie kąty nachylenia want. Inną charakterystyczną cechą mostów typu extradosed jest większa sztywność pomostu w porównaniu do mostów podwieszonych.

Wanty w konstrukcjach typu extradosed są stosunkowo mocno naprężone, podobnie jak w sprężeniu i wykazują niewielką zmienność naprężenia pod obciążeniem ruchomym. Niniejszy artykuł prezentuje wybrane przykłady konstrukcji typu extradosed zaprojektowanych lub wzniesionych w Polsce w ostatnim czasie.

2. Mosty o małej rozpiętości

2.1. Most w Koninie (2007)

Most przez Wartę w Koninie był pierwszym mostem typu extradosed wybudowanym w Polsce [2]. Znajduje się on w ciągu drogi łączącej miejską sieć drogową Konina z autostradą A2. Trójprzęsłowy most z podwójną jezdnią, o całkowitej długości 200 m oraz przęsłach 60,00+80,00+60,00 m, zbudowano nad głównym nurtem Warty. Konstrukcja nośna składa się z betonowego pomostu płytowo-belkowego (trzy dźwigary główne) podwieszono do niskich pylonów zamocowanych w pomoście. Dźwigary główne mają wysokość 2,60 m, a szerokość mostu wynosi 25,10 m. Pomost składa się z betonowych belek poprzecznych nad podporami oraz poprzecznych blachownic współpracujących z betonowymi elementami w przęsłach.



Fot. 1. Most w Koninie – widok podczas budowy oraz widok z pomostu

Pylony mają 10,30 m wysokości oraz zmienny przekrój poprzeczny (fot. 1). Ciężna zewnętrzna składają się z 37 lub 42 lin (o średnicy 15,70 mm) biegnących w osłonach HDPE wypełnionych zaczynem cementowym. Aktywne bloki kotwiące zlokalizowane są na zewnętrznych płaszczyznach dźwigarów bocznych oraz pod dźwigarem środkowym. Konstrukcję nośną wybudowano przy użyciu metody nasuwania podłużnego. Każdy z dźwigarów nasuwano osobno przy użyciu stalowego awanbeka. W kolejnych etapach budowy montowano stalowe belki poprzeczne, betonowano płytę pomostu i pylony oraz instalowano ciężna zewnętrzne.

Most w Koninie został zaprojektowany przez Transprojekt Gdański.

2.2. Wiadukt nad autostradą A4 w Wykrotach (2008)

Wiadukt typu landmark wybudowany nad autostradą A4 znajduje się przy granicy polsko-niemieckiej [3]. Jest to dwuprzęsłowy betonowy wiadukt (klasa betonu C40/50), zakrzywiony w planie. Długości przęseł wynoszą 45,47+45,28 m. Konstrukcja nośna to pomost płytowo-belkowy składający się z dwóch dźwigarów z betonu sprężonego połączonych za pomocą żelbetowych belek poprzecznych. Wsporniki utworzone na zewnętrznych, bocznych powierzchniach dźwigarów głównych, gdzie zlokalizowane są zakotwienia cięgien (fot. 2), dopreżone są za pomocą czterech prętów ze stali wysokiej wytrzymałości, o średnicy 75 mm. Stalowe pylony o wysokości 15,30 m są zamocowane w odrębnych betonowych filarach za pomocą sześciu prętów sprężających ze stali wysokiej wytrzymałości.



Fot. 2. Widok ukończonego wiaduktu w Wykrotach (projekt: Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław)

2.3. Wiadukt nad drogą ekspresową S8 w Oleśnicy (2012)

Wiadukt zlokalizowany niedaleko Oleśnicy jest konstrukcją dwuprzęsłową typu extradosed wykonaną z betonu sprężonego klasy C40/50, z przęslami o długości 43,50+39,90 m [3]. Obiekt jest zakrzywiony w planie. Kąt skosu przęseł waha się od 32,5° do 46,5°. W przekroju poprzecznym jest to konstrukcja płytowo-belkowa z dwoma dźwigarami bocznymi



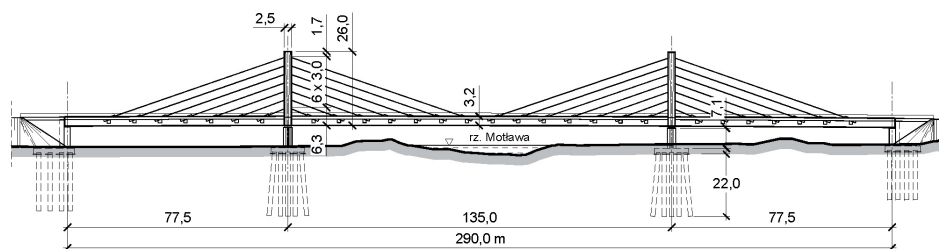
Fot. 3. Wiadukt nad drogą ekspresową S8 niedaleko Oleśnicy (projekt: Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław)

oraz cienką płytą pomostu. Wewnętrzne kable sprężające są wyprowadzone nad podporą środkową jako kable zewnętrzne na dużym mimośrodku. Są one odchylane w stalowych siódlach zamkniętych w niskich pylonach o zmiennym przekroju (fot. 3).

3. Mosty o średniej i dużej rozpiętości

3.1. Most przez rzekę Motławę w Gdańsku (2012)

Most typu extradosed przez rzekę Motławę [2] można uznać za najbardziej interesującą konstrukcję w ciągu południowej obwodnicy Gdańska, będącej częścią drogi ekspresowej S7. Jest to konstrukcja trójprzęsłowa z betonu sprężonego, z przęsłem głównym o długości 135 m, o łącznej długości 290 m (rys. 1). Most ma dwie niezależne, równoległe konstrukcje nośne dla każdej z jezdni. Zaprojektowano je w formie dwóch szeroko rozstawionych dźwigarów skrzynkowych stężonych przy pomocy stalowych, kratownicowych belek poprzecznych. Ciężna zewnętrzna mają układ harfowy i są zakotwione w pylonach słupowych zamocowanych w maszynnych betonowych poprzecznicach po obu stronach każdej z konstrukcji nośnych. Konstrukcję pomostu nasuwano podłużnie przy użyciu podpór tymczasowych.



Rys. 1. Most nad Rzeką Motławą w Gdańsku [2] (projekt: Transprojekt Gdańsk, Mosty-Gdańsk)

3.2. Most w ciągu autostrady A1 w Mszanie (2014)

Most koło miejscowości Mszana znajduje się w strefie węzła autostradowego i prowadzi autostradę A1 przez dolinę potoku Kolejówka [2]. Konstrukcja nośna opisywanego mostu to dwukomorowa, szeroka skrzynia z betonu sprężonego, wspólna dla obu jezdni autostrady (klasa betonu C50/60 i C60/75). Obiekt jest zakrzywiony w planie i ma cztery przęsła o długości 60,00+2×130,00 +60,00 m. Dwukomorowy dźwigar skrzynkowy jest zmiennej wysokości, od 2,60 m w połowie rozpiętości do 4,00 m nad podporami.

Istnieje tylko pojedyncza płaszczyzna podwójnych cięgien zewnętrznych znajdujących się w osi mostu. Ciężna (każde składające się z 43 splotów o średnicy 15,7 mm) są zakotwione w trzech hybrydowych, stalowo-betonowych pylonach słupowych (każdy wysokości 15,10 m nad poziomem pomostu), zlokalizowanych wzdłuż centralnego środka dźwigara skrzynkowego (fot. 4). Kotwienia aktywne cięgien są zlokalizowane wewnątrz dźwigara skrzynkowego, na bokach centralnego środka, a kotwienia bierne są zlokalizowane w pylonach.



Fot. 4. Most w Mszanie – budowa i widok ukończonego mostu (zdjęcie: M. Prusak)

Przez połączenie z estakadą łącznikową w środkowym odcinku jednego z przęseł układ konstrukcyjny obiektu jest znacząco skomplikowany. Z tego powodu szerokość mostu jest zmienna i waha się od 38,58 m do 47,45 m. Nietypowy układ statyczno-konstrukcyjny mostu oraz przyjęte założenia projektowe [2] przyczyniły się do wielu trudności podczas budowy, a w konsekwencji do znacznego opóźnienia zakończenia budowy. Most w Mszanie został ostatecznie otwarty dla ruchu w 2014 r.

Most w Mszanie został zaprojektowany przez Complex Projekt.

3.3. Most przez Wisłę w Kwidzynie (2013)

Budowa mostu przez Wisłę w Kwidzynie, usytuowanego w ciągu nowego odcinka drogi DK90, była jedną z najważniejszych inwestycji sieci transportowej na Pomorzu. Pomogła ona połączyć Kwidzyń z autostradą A1.

Nowy most składa się z pięciu konstrukcji o łącznej długości 1867 m. Most główny, o długości 808 m, nad korytem rzeki, to sześcioprzęsłowa belka ciągła typu extradosed, z przęsłami o długości 70,00+130,00+2×204,00+130,00+70,00 m [4]. Zaprojektowanie i budowa mostu typu extradosed o tak dużej rozpiętości było przedsięwzięciem pionierskim w Europie.

Konstrukcja nośna to jednokomorowy betonowy dźwigar skrzynkowy o pochylonych środnikach i stałej wysokości 3,50 m. Ciężna zewnętrzna są zakotwione w belkach skrajnych usztywnionych belkami poprzecznymi. Środniki o typowej grubości 0,40 m są miejscowo poszerzone w strefach podpór, do 0,60 m, a grubość płyty dolnej wzrasta do 0,80. Niewielka wysokość konstrukcyjna dźwigara skrzynkowego, stała wzdłuż całej długości mostu, co jest nietypowe dla tak długich rozpiętości [1], wymagała użycia po raz pierwszy w polskim mostownictwie betonu wysokiej wytrzymałości (C70/80) [4].

Niskie betonowe pylony, pełniące rolę dewiatorów ciężarów zewnętrznych, są zamocowane w konstrukcji nośnej i wykonane są z tego samego betonu wysokiej wytrzymałości. Każdy z pylonów ma kształt dwóch pochylonych słupów o wysokości 17,2 m ponad

poziomem pomostu, co jest zaledwie 1/12 rozpiętości. System kablobetonowy składa się z kabli wewnętrznych i zewnętrznych oraz want [4]. Wanty zewnętrzne składające się z 75 7-drutowych splotów są poprowadzone na zewnątrz przekroju przęsła. Sploty są odchylane w siódlach umieszczonych w pylonach i są zakotwione w betonowych blokach w belkach skrajnych pomostu.

Przęsła mostu w Kwidzynie były budowane w układzie przęsło po przęsle, przy użyciu rusztowań ruchomych. Konstrukcję nośną podzielono na 12 odcinków, każdy po 50 m. W tym celu należało wybudować 13 betonowych podpór tymczasowych, z których 6 było umieszczonych w nurcie Wisły (fot. 5).

Most został zaprojektowany przez Transprojekt Gdańsk i wybudowany przez Budimex S.A.



Fot. 5. Most w Kwidzynie – widok podczas budowy oraz ukończona konstrukcja (zdjęcie: Budimex S.A.)

3.4. Estakada tramwajowa w ciągu linii KST w Krakowie (2015)

Opisywana wieloprzęsłowa estakada typu extradosed stanowi część nowego odcinka linii Krakowskiego Szybkiego Tramwaju (KST) i jest najdłuższą estakadą tramwajową w Polsce. Trasa przechodzi przez stację kolejową Kraków Płaszów i łączy dwa duże obszary miejskie. Estakada została zintegrowana z obszarem stacji kolejowej poprzez bezpośredni dostęp do peronów w postaci schodów i windy.

Estakada jest siedmioprzęsłową belką, z najdłuższym przęsłem o długości 100 m sprężonym przez kable zewnętrzne. Kable są zakotwione wzdłuż osi pomostu i od-

chylane w siodłach umieszczonych w trzech niewysokich pylonach. Pomost składa się z asymetrycznego, jednokomorowego dźwigara skrzynkowego o zmiennej wysokości (fot. 6). Szersza kapa chodnikowa mieści chodnik oraz ścieżkę rowerową. Na odcinkach kotwienia want dźwigar skrzynkowy został usztywniony ukośnymi prętami ze stali wysokiej wytrzymałości. Z powodu umiejscowienia w obszarze zurbanizowanym (nad peronami stacji kolejowej i miejscowymi drogami) przęsła główne wzniesiono metodą wspornikową balansową. Pierwszy etap budowy polegał na wybetonowaniu segmentu początkowego oraz pylonu. Kolejne segmenty o długości ok. 5,70 m były wylewane in situ przy użyciu trawelera.

Estakada KST została zaprojektowana przez PXM Projekt Południe.



Fot. 6. Widok estakady KST w Krakowie

4. Projekty koncepcyjne

4.1. Estakada nad stacją kolejową we Wrocławiu (2000)

Jedna z pierwszych koncepcji mostu typu extradosed w Polsce została opracowana dla estakady nad dworcem Świebodzkim we Wrocławiu. Zaproponowana koncepcja zakładała konstrukcję sześcioprzęsłowej stalowo-betonowej estakady zespolonej o niewielkiej wysokości. Najdłuższe 60-metrowe przęsła podwieszono do trzech stalowych pylonów w kształcie litery V, umieszczonych w osi pomostu (fot. 7). Konstrukcja nośna składała się z trzech stalowych dźwigarów skrzynkowych zespolonych z betonową płytą pomostu oraz układem blisko rozmieszczonych poprzecznic. Niestety estakady nigdy nie zrealizowano.



Fot. 7. Koncepcja wiaduktu we Wrocławiu – wizualizacja komputerowa (Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław)

4.2. Most nad rzeką Łyną w Olsztynie (2012)

Most nad rzeką Łyną zaprojektowano w ciągu obwodnicy Olsztyna przecinającej dolinę pokrytą torfowiskami [3]. Jest to obiekt typu extradosed o pojedynczej konstrukcji nośnej dla obu jezdni, z przęsłami o długości 60,00+120,00+60,00 m. Konstrukcja nośna to pojedynczy dźwigar skrzynkowy o wysokości 4,00 m, wykonany z betonu sprężonego. Wsporniki pomostu są podpierane przez betonowe zastrzały, zaprojektowane w formie prefabrykowanych trójkątnych betonowych tarcz. Dźwigar główny jest sprężony wewnętrznymi kablami sprężającymi oraz kablami zewnętrznymi poprowadzonymi przez niewysokie pylony w kształcie litery V, zamocowane w pomoście. Kable zewnętrzne są odchylane w stalowych siódlach i zakotwione w dźwigarze skrzynkowym. Fotografia 8 pokazuje komputerowe obrazy mostu nad rzeką Łyną.



Fot. 8. Wizualizacje mostu nad rzeką Łyną (Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław)

5. Wnioski

Niniejszy artykuł prezentuje szczegóły projektowe i konstrukcyjne wybranych mostów typu extradosed zbudowanych w Polsce w ostatnich latach. Główne cechy geometrii opisanych obiektów są zestawione w tabeli 1.

Z tabeli wynika, że sztywność dźwigara głównego wyrażona przez współczynnik h/L jest w zakresie $1/25-1/60$ i spada wraz ze wzrostem rozpiętości. Prawie wszystkie opisane obiekty mają stałą wysokość pomostu. Współczynnik wysokości pylonu H^* , mierzonej od poziomu pomostu do zakotwienia najdłuższej wanty, do rozpiętości L waha się od 0,08 do 0,20. Kąt pochylenia najdłuższej wanty waha się od 10 do 19 stopni. Parametry geometryczne przedstawionych mostów mają stosunkowo szeroki zakres, typowy dla konstrukcji typu extradosed [5].

Zebrane dane pokazują, że wśród zaprezentowanych mostów obiekt w Kwidzynie zasługuje na szczególną uwagę. Charakteryzuje się on zarówno najniższym współczynnikiem H^*/L oraz h/L , oraz ma rekordową w Europie rozpiętość. Wskaźniki zużycia materiałów uzyskane dla tego mostu były niezwykle korzystne w porównaniu z betonowym mostem podwieszonym o podobnej rozpiętości [6].

Most w Kwidzynie wyróżnia się spośród innych mostów typu extradosed wybudowanych na świecie i może być uważany za wizytówkę polskiego budownictwa lądowego. Nie jest to jednak ostatnie słowo. Obecnie (2016) w fazie projektowej jest most typu extradosed o jeszcze większej rozpiętości (fot. 9). Będzie to most o dwóch przęsłach po 206 m wykonany w ciągu obwodnicy Ostródy.



Fot. 9. Koncepcja mostu typu extradosed o rozpiętości 206 m (autor: T. Stefanowski, Transprojekt Gdański)

Mosty typu extradosed, pomimo ich stosunkowo krótkiej historii, znalazły swoje miejsce wśród innych rodzajów mostów i są coraz częściej projektowane i budowane. Pod względem kosztów mogą one być konkurencyjne w stosunku do mostów podwieszonych o rozpiętości nawet do 200 m [6]. Mosty typu extradosed są także atrakcyjną propozycją dla relatywnie niewielkich konstrukcji typu landmark (np. budowanych nad autostradami) i mogą konkurować z mostami belkowymi i łukowymi.

Inną kwestią jest ocena architektonicznej atrakcyjności mostów typu extradosed w porównaniu z obiektami belkowymi i podwieszonymi. Mosty podwieszane zazwyczaj mocno dominują otoczenie, podczas gdy mosty typu extradosed, charakteryzujące się

linią horyzontalną, są bardziej neutralne i mają mniej agresywny wizualny wpływ na środowisko. Mogą jednak być wizualnie atrakcyjniejsze niż proste mosty belkowe.

Tabela 1. Porównanie cech geometrycznych wybranych mostów typu extradosed w Polsce

Bridge name	L [m]	H (H*) [m]	α [°]	h [m]	H/L (H*/L)	h/L
Wiadukt w Oleśnicy	43,50	8,5 (5,1)	16	1,75	0.19 (0.12)	1/26
Wiadukt w Wykro- tach	45,80	21,8 (9,2)	19	1,81	0.48 (0.20)	1/25
Most w Koninie	80,00	13,0 (7,9)	16	2,60	0.16 (0.10)	1/31
Most w Olsztynie	120,00	26,0 (14,7)	17	4,00	0.22 (0.12)	1/30
Most w Mszanie	130,00	19,0 (15,1)	13	2,60 – 4,00	0.15 (0.12)	1/33 – 1/50
Most w Gdańsku	135,00	26,0 (21,0)	19	3,20	0.19 (0.16)	1/42
Most w Kwidzynie	204,00	20,7 (17,2)	10	3,50	0.10 (0.08)	1/58

Legenda: L – rozpiętość, H – wysokość pylonu, H* – wysokość pylonu między poziomem pomostu i kotwieniem najdłuższej wawy w pylonie, α – kąt między najdłuższą wawą oraz pomostem, h – wysokość dźwigara

Literatura

- [1] Biliszczuk J, Barcik W, Onysyk J, Toczkiwicz R, Tukendorf A. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w drogowych betonowych mostach podwieszonych Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. 2012; 3(42): 38–48.
- [2] Biliszczuk J, Onysyk J, Barcik W, Toczkiwicz R, Tukendorf A. Pioneering concrete cable-stayed bridges in Poland. Proceedings of the fib Symposium Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling & Construction; 2013 April 22–24; Tel-Aviv: 657–660.
- [3] Zawila P. Budowa mostu o konstrukcji ekstradosed przez Wisłę w Kwidzynie Inżynieria i Budownictwo. 2014; 1: 6–12.
- [4] Collings D, Gonzalez AS. Extradosed and cable-stayed bridges, exploring the boundaries. Bridge Engineering. 2013; 166(BE4): 231–239.
- [5] Biliszczuk J, Onysyk J, Barcik W, Toczkiwicz R, Tukendorf A. The two largest Polish concrete bridges – design and construction. Bridge Engineering. In press 2016.