

dr hab. inż. Marek Salamak<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Grzegorz Poprawa<sup>1)</sup>  
mgr inż. Mateusz Frączek<sup>2)</sup>

# Budowa i próbne obciążenie betonowego mostu łukowego

## Construction and load test of concrete arch bridge

DOI: 10.15199/33.2015.05.47

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia projekt, budowę oraz próbne obciążenie betonowego mostu łukowego, który został zrealizowany metodą częściowej prefabrykacji elementów łuku, pomostu i stężeń. Omówiono poszczególne etapy budowy mostu i związane z tym trudności technologiczne oraz wyniki próbnego obciążenia statycznego i dynamicznego.

**Słowa kluczowe:** most łukowy, prefabrykacja, próbne obciążenie.

**Abstract.** The article presents the design, build and test load of concrete arch bridge, which was erected using precast arch, deck and brace elements. Various stages of bridge construction and related technological difficulties are shown. The results of static and dynamic load test are discussed.

**Keywords:** arch bridge, concrete precast, load test.

**K**lasyczna budowa betonowych mostów łukowych, szczególnie o większej rozpiętości przęsła, wymaga stosowania dużych i kosztownych rusztowań (tzw. krażyn) oraz wiąże się z problemami dotyczącymi betonowania fragmentów łuku. W związku z tym coraz częściej przy wznoszeniu tego rodzaju obiektów stosuje się różne zabiegi technologiczne albo, dotychczas rzadko stosowaną, prefabrykację [1, 2, 3, 4, 5]. W efekcie skraca się czas realizacji inwestycji oraz obniża koszty budowy.

Przy budowie mostu łukowego w ciągu nowo budowanej obwodnicy Wojniczka na drodze wojewódzkiej nr 975 w Małopolsce (fotografia 1, rysunek 1) wykorzystano częściową prefabrykację. Zadanie to, głównie z racji rekordowej, jak na polskie warunki, rozpiętości przęsła wymagało dużego doświadczenia projektowego i organizacyjnego przy jednoczesnym stosowaniu reżimów jakości i dokład-

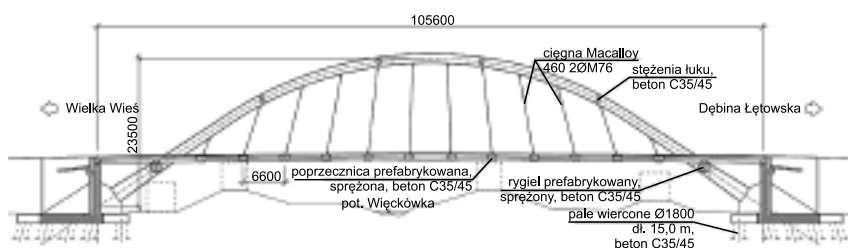


Fot. 1. Widok ogólny mostu

Photo 1. General view of the bridge

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa  
<sup>2)</sup> Przedsiębiorstwo Inżynieryjne IMB Podbeskidzie Sp. z o.o.

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: marek.salamak@polsl.pl



Rys. 1. Przekrój podłużny mostu

Fig. 1. Longitudinal section of the bridge

ności. Konstrukcję mostu stanowi bezprzegubowy, betonowy łuk, w którym siła rozporowa jest przenoszona przez podłoże gruntowe. W Polsce w ostatnim dwudziestolecu wzniesiono wiele tego typu konstrukcji. Są wśród nich: wiadukt WD-3 na obwodnicy Olecka w ciągu DK65; wiadukt W-2 na obwodnicy Wielunia w ciągu DK8; most w m. Stradomka w ciągu drogi powiatowej; wiadukt WD-447 nad A1 Piekarzy – Maciejów; wiadukt w Milówce w ciągu S69; most w m. Lubień w ciągu S7; wiadukt nad ulicą Trzebińską w Chrzonowie; most na obwodnicy Wojniczka w ciągu DW975.

### Charakterystyka mostu

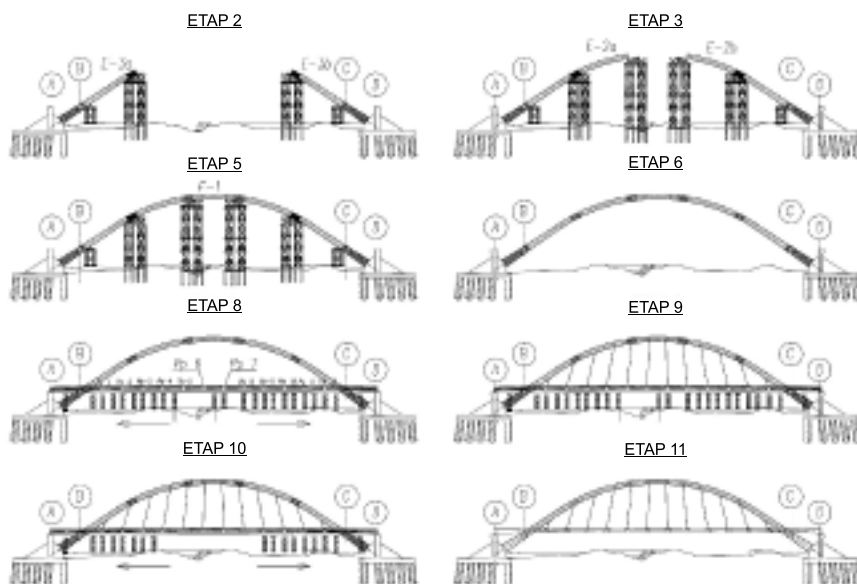
Most zaprojektowano na klasę obciążenia drogowego A wg normy PN-85/S-10030 [9]. Autorem projektu budowlanego mostu jest firma Wanta z Krakowa, projektu wykonawczego oraz głównym wykonawcą Przedsiębiorstwo Inżynieryjne IMB Podbeskidzie, natomiast zamawiającym Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie. Ustrój nośny obiektu stanowią dwa pochylone pod kątem 9,1° betonowe dźwigary łukowe o zmiennym przekroju i rozpiętości teoretycznej 105,6 m

(dotychczasowy krajowy rekord 103,8 m odnotowano w przypadku bezprzegubowego mostu łukowego przez Kameszniczanekę w Milówce w ciągu drogi S69 [5]). Dźwigary stężono ze sobą czterema betonowymi belkami nad pomostem oraz dwoma sprężonymi ryglami nad wezłowiem łuku. Całkowita szerokość pomostu wynosi 12,2 m, a całej konstrukcji 21,3 m.

Pomost na skrajach został podparty na przyczółkach i ryglach, a w części środkowej podwieszony do łuku (rysunek 1) za pomocą podwójnych cięgien ze stalowych prętów dużej wytrzymałości o średnicy 76 mm zamocowanych we wspornikowo wysuniętych poprzecznikach. Betonowy przekrój poprzeczny pomostu składa się z dwóch podłużnych belek wysokości 90 cm, połączonych ze sobą płytą pomostową grubości 30 ÷ 47 cm i sprężonymi poprzecznikami z prefabrykatów. Podparcie pomostu zrealizowano za pośrednictwem łożysk garnkowych na żelbetowych przyczółkach oraz na ryglach spinających łuki przy podstawie. Podpory posadowiono na 26 palach wielkośrednicowych długości 15 m, których cztery rzędy odchyliło pod kątem 15°.

## Budowa mostu

Budowę mostu prowadzono od stycznia 2013 r. do września 2014 r. Przy opracowywaniu projektu wykonawczego zdecydowano się wprowadzić rozwiązania pozwalające na zastosowanie częściowej prefabrykacji wybranych elementów konstrukcyjnych. Poszczególne etapy budowy obejmowały (rysunek 2):



Rys. 2. Wybrane etapy wykonania konstrukcji

Fig. 2. Selected phases of the construction

- wykonanie przyczółków i węzłowi łuków;
- zabetonowanie elementów startowych z prefabrykowanymi segmentami łuków i ryglami;
- montaż kolejnych segmentów łuków i stężeń oraz zabetonowanie węzłów;
- sprężenie rygli;
- montaż środkowego segmentu łuków oraz stężeń i zabetonowanie węzłów;
- demontaż rusztowań podpierających łuki;
- ustawienie rusztowania z deskowaniem płyty pomostowej, prefabrykowanych poprzecznic, ułożenie zbrojenia dźwigarów i zabetonowanie całości;
- sprężenie poprzecznic;
- montaż blach węzłowych i cięgien;
- demontaż rusztowań;
- roboty wykończeniowe i próbne obciążenie.

Podczas realizacji problematyczny okazał się montaż prefabrykowanych

elementów. Konieczne było wykonanie wysokich i masywnych rusztowań. Stanowiska dźwigów do montażu prefabrykatów musiały być również dobrze przemyślane, gdyż masa dźwigu wynosiła ok. 60 t. W niektórych przypadkach trzeba było wykonać dodatkowe nasypy wzmocnione palami.

Ustawienie prefabrykatów w docelowym położeniu wymagało ogromnej precyzji. Zbrojenie sąsiednich elemen-

o masie 32 t każdy. Przemieszczenia pionowe mierzono czujnikami mechanicznymi o zakresie do 100 mm i dokładności odczytu 0,01 mm, natomiast osiadanie podpór za pomocą optycznych niwelatorów precyzyjnych o dokładności odczytu 0,1 mm. Lokalizację i oznaczenia punktów pomiarowych pokazano na rysunku 3. Zrealizowano cztery schematy obciążenia z pojazdami ustawionymi niesymetrycznie w  $\frac{1}{2}$  i  $\frac{1}{4}$  rozpiętości przy jednym, a potem drugim dźwigarze.

Na podstawie odczytów przemieszczeń punktów podporowych określono przebieg osiadania podpór w kolejnych fazach obciążania konstrukcji, które okazało się  $< 0,1$  mm. Obserwowano również przemieszczenia poziome węzłowi łuków (ok. 0,3 mm).

Na podstawie odczytów przemieszczeń konstrukcji przęsła w założonych punktach pomiarowych od B1 do B6 (rysunek 3) wyliczono przemieszczenia pionowe, a po uwzględnieniu osiadania podpór – ugięcie dźwigarów pomostu w poszczególnych schematach. Porównano je z analogicznymi liniami ugięć uzyskanymi podczas analizy modelu obliczeniowego (rysunek 4). Linia N oznacza dźwigar północny (wzdłuż punktów B1, B3, B5), natomiast linia S – dźwigar południowy (wzdłuż punktów B2, B4, B6).

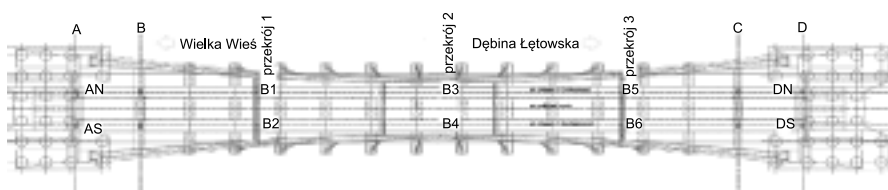
Stwierdzono, że konstrukcja zachowuje się sprężysto (wraca do pierwotnego położenia), a wartości maksymalnych ugięć zmierzonych podczas próbnego obciążenia są znacznie mniejsze od teoretycznych, które wyznaczone zostały z uwzględnieniem współczynnika zarysowania zgodnie z normą PN-91/S-10042 [9]. Należy więc przyjąć, że przy tym wyężeniu nie doszło do zarysowania konstrukcji. Pomierzone ugięcia stanowią  $61 \pm 81\%$  ugięć teoretycznych (średnio 69%) obliczonych przy braku zarysowania przekroju. Ugięcia trwałe są minimalne i stanowią  $0 \pm 3\%$  ugięć całkowitych, a zatem spełniają warunek normy nieprzekroczenia poziomu 20%.

**Badania dynamiczne** mostu przeprowadzono bezpośrednio po próbnym obciążeniu statycznym. Wyniki przedstawiono w postaci przebiegu czasowych przemieszczeń pionowych podczas próbnego przejazdu. Próg do symulacji wymuszenia impulsowe-

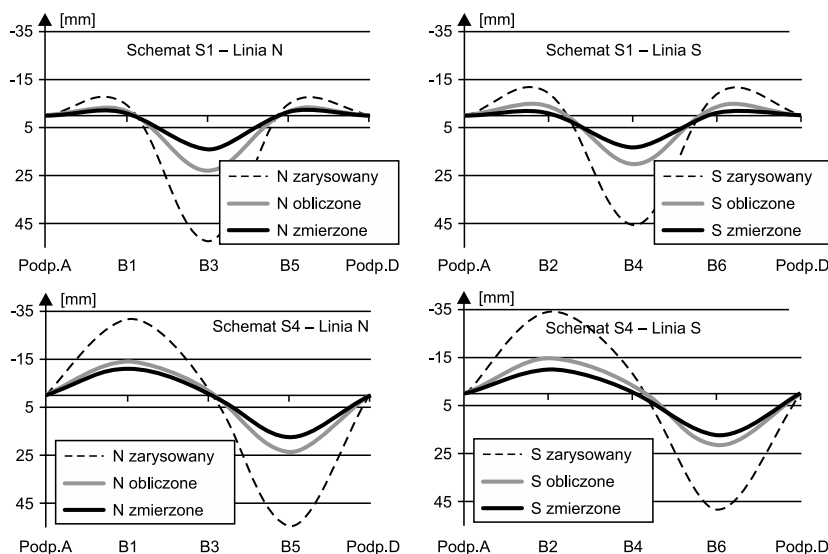
tów ustroju niosącego łączono w węzłach spawami i dodatkowo dozbrajano. Wszystkie prace montażowe nadzorował zespół geodetów rejestrujących odchyłki ustawienia i osiadanie podpór tymczasowych. Po opuszczeniu rusztowań i przystąpieniu do montażu blach węzłowych systemu podwieszenia, prowadzono pomiary geodezyjne potwierdzające zgodność długości poszczególnych cięgien oraz współpłaszczyznowość ustawionych blach. Dopuszczalne odchylenie wynosiło tylko  $0,5^\circ$ . Niedokładne wykonanie elementów mogło zaburzyć właściwą pracę cięgien. Nie lada wyzwaniem okazało się również spawanie blach, których grubość dochodziła nawet do 70 mm.

### Próbne obciążenie

Badania mostu pod obciążeniem próbnym obejmowały próby statyczne i dynamiczne. Jako **obciążenie statyczne** zastosowano cztery samochody ciężarowe (czteroosiowe)



Rys. 3. Lokalizacja i oznaczenia punktów pomiarowych  
Fig. 3. Position and labeling of measuring points



Rys. 4. Wybrane wykresy ugięcia pomostu pod obciążeniem statycznym  
Fig. 4. Selected charts of bridge deflection under static load

go umieszczony został nad czujnikami w przekroju 1 (rysunek 3). Dojazd próbnych wykorzystano pojazd z badań statycznych, którego trasa przejazdu pokrywała się z osią podłużną mostu. Testy dynamiczne wykonywano z prędkościami: 10, 30, 50 i 70 km/h. Próbę specjalną zrealizowano ze sztuczną nierównością w postaci pręgu o wysokości 5 cm.

Most charakteryzuje się umiarkowaną podatnością na wpływy dynamiczne. W badanych przekrojach współczynnik przewyższenia dynamicznego (WPD) w normalnych warunkach osiągnął wartość 1,04 i był nieznacznie większy od normowego współczynnika dynamicznego, który w przypadku tego typu obiektów o rozpiętości większej od 70,0 m przyjmuje wartość 1,00. Wytlumaczyć to można dużą dysproporcją masy pojazdów i masy mostu. Podstawowym obciążeniem mostów drogowych projektowanych wg normy PN-85/S-10030 [8] jest pojazd K, który w najwyższej klasie obciążenia odpowiada masie ok. 80 t. W czasie próbnego obciążenia wymuszenia wywoływała ciężarówka o ma-

sie 32 t. W efekcie mierzone wartości przemieszczeń przy przejazdach z różną prędkością, potrzebne do wyznaczenia przewyższenia dynamicznego, były zdecydowanie mniejsze niż określone przez projektanta. Stosunek zmierzonego ugięcia przy określonej prędkości do niewielkiego ugięcia statycznego pokazał, że wyliczone przewyższenie dynamiczne może być obarczone znacznym błędem. W związku z tym przy ocenie właściwości dynamicznych tego typu obiektów przewyższenie dynamiczne nie ma istotnego znaczenia, podobnie jak porównywanie jego wartości z normowym współczynnikiem dynamicznym [6, 7].

Założona w projekcie lokalizacja czujników pozwoliła zidentyfikować trzy częstotliwości drgań własnych nr 3, 4 i 5 (tabela).

### Podsumowanie

Budowa tak dużego betonowego mostu łukowego wymagała dużego doświadczenia projektowego, wykonawczego i organizacyjnego. Uzyskano pozytywne wyniki z próbnego ob-

### Wybrane postaci i częstotliwości drgań własnych

Selected modes and the natural frequencies

Nr drgań	Postać drgań	Częstotliwość teoretyczna [Hz]	Częstotliwość zmierzona [Hz]	Współczynnik tłumienia [%]
1	Podłużna	0,27	–	–
2	Poprzeczna łuku	0,58	–	–
3	Giętna pomostu	0,93	0,89	7,35
4	Skrętna pomostu	1,13	1,21	3,65
5	Giętna pomostu	1,50	1,64	4,30
6	Poprzeczna pomostu	1,59	–	–

ciążenia i dobre właściwości dynamiczne konstrukcji. Omawiany most o nieszablonej architekturze i rekordowej rozpiętości przęsła w swojej kategorii może stanowić dobry przykład dla projektantów i firm wykonawczych.

### Literatura

- [1] Krezel M., Radziecki A.: Próba nowego spojrzenia na zastosowanie prefabrykacji w budownictwie mostowym, Drogownictwo, 2/2007.
- [2] Krezel M., Radziecki A.: Żelbetowy most łukowy o siatkowym układzie wieszaków, Kwartalnik Mosty, 2/2010.
- [3] Krezel M., Radziecki A.: Zastosowanie prefabrykacji z połączeniami doczołowymi w łukach betonowych wiaduktu w Ryttrze, Inżynieria i Budownictwo, 4/2011.
- [4] Marcinków E.: Mosty łukowe – tanie i szybko budowane mosty średniej rozpiętości, Inżynieria i Budownictwo, 11/2002.
- [5] Marcinków E., Tatar J.: Technologia budowy części łukowej estakady w Miłowce w ciągu drogi ekspresowej S69, Inżynieria i Budownictwo, 7-8/2006.
- [6] Salamak M.: O potrzebie standaryzacji badań odbiorczych obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem dynamicznym, Inżynieria i Budownictwo 7/2014, s. 376 – 380.
- [7] Weseli J.: O właściwe rozumienie roli i wyników badań dynamicznych w czasie obciążeń próbnych. Inżynieria i Budownictwo 7/2014, s. 372 – 376.
- [8] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [9] PN-91/S-10042 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Projektowanie.

Otrzymano 04.03.2015 r.