

# Projekt i budowa obiektu inżynierskiego z blach falistych w km 41 + 351 linii kolejowej nr 216

tekst: **mgr inż. PIOTR TOMALA**, ViaCon Polska Sp. z o.o., Rydzyna; **dr inż. MARCIN DUDEK**, Pracownia Projektowa MiD, Gdańsk; **mgr inż. ANDRZEJ KOZAKIEWICZ**, Pracownia Projektowa LENTAS Sp. z o.o., Gdańsk; **mgr inż. ŁUKASZ LACHOWICZ**, Pracownia Projektowa MiD, Gdańsk, zdjęcia: **AUTORZY**

Konstrukcje gruntowo-powłokowe zagościły na polskim rynku infrastrukturalnym już na dobre. Zastosowane w naszym kraju po raz pierwszy u schyłku lat 70. XX w. (badania na poligonie wojskowym w Bornym Sulimowie) wraz z upływem czasu stawały się coraz bardziej powszechne. Okres największej popularyzacji przypadł na pierwsze dwudziestolecie XXI w. Ich obecność jest powszechna na sieci dróg kołowych, a także coraz wyraźniej akcentowana obiektami o dużych rozpiętościach w ciągu sieci dróg kolejowych.

Na popularyzację technologii konstrukcji współpracujących z otaczającą je zasypką gruntową wpływa wiele czynników, m.in. proste i stosunkowo szybkie projektowanie, nieskomplikowane wykonawstwo oraz bardzo korzystna relacja ceny do jakości.

Pozytywne doświadczenia inwestorów, wykonawców i projektantów przekuły się na wspólny sukces. Początkowo projektowano głównie przepusty o niewielkich średnicach, po czym zaczęto przekraczać coraz większe przeszkody. W niniejszym artykule zostaną przedstawione wybrane elementy projektowania oraz budowy kolejowego obiektu mostowego o rekordowej rozpiętości.

## Charakterystyka obiektu

Linia kolejowa nr 216 Działdowo – Olsztyn na przedmiotowym odcinku jest jednotorowa, pierwszorzędna. Obiekt w km 41 + 351 to wzniesiony w 1888 r., odbudowany w 1955 r., ustrój kratowy z jazdą górą i zakrzywionym pasem dolnym o rozpiętości teoretycznej przęsła  $L = 39,66$  m. Dźwigary główne są rozstawione względem siebie w odległości 4,0 m. Konstrukcja mostu jest w całości nitowana.

Stan obiektu oceniono jako niedostateczny, z licznymi uszkodzeniami powłoki antykorozyjnej oraz korozją elementów konstrukcyjnych, a w szczególności pasa dolnego. Elementy

konstrukcyjne w dużej części były wzmocnione nakładkami. Stwierdzono deformację i korozję stężeń wiatrowych pasa dolnego. Łożyska walcowe również cechowała lokalna korozja i zanieczyszczenia.

Przyczółki obiektu znajdowały się w stanie dobrym, jednak z siatką spękań powierzchniowych, ubytkami spoinowania, silnie porośnięte mchem. Dodatkowo w części wykonanej z kamienia występowały lokalne wysolenia.

## Projekt

W celu oceny przydatności istniejącej konstrukcji kratowej mostu wykonano jego analizę statyczno-wytrzymałościową. Prace projektowe poprzedziła również analiza materiału, z którego wykonany był most.

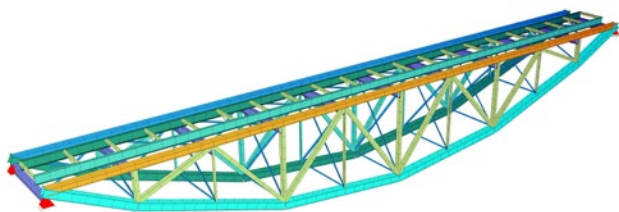
W ramach przeprowadzonych obliczeń stwierdzono przekroczenie naprężeń dopuszczalnych dla wszystkich elementów konstrukcyjnych obiektu. Nie byłby on w stanie przenieść obciążeń od pojazdów eksploatacyjnych typu C2 i D4 dla prędkości projektowej pociągów pasażerskich równej 120 km/h i towarowych równej 80 km/h. Zgodnie z wymaganiami zamawiającego, obiekt inżynierski został zaprojektowany według standardów technicznych.

Biorąc pod uwagę wnioski z przeprowadzonych obliczeń, cechy materiałowe stali zgrzewnej, zarekomendowano wymianę

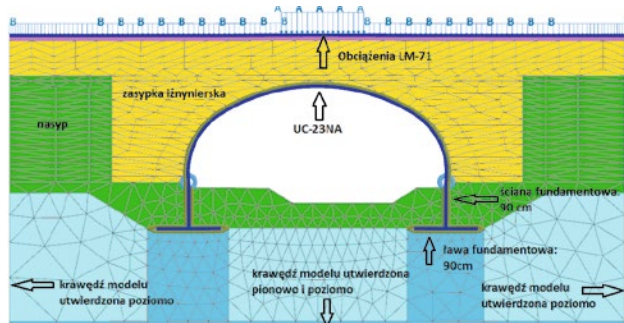


Obiekt przed przebudową – widok ogólny mostu. Widoczne nacieki korozyjne





Wizualizacja modelu obliczeniowego obiektu – widok aksonometryczny



Przyjęty schemat obliczeniowy – model numeryczny

objektu na nowy. Realizacja zamówienia miała na celu osiągnięcie parametrów eksploatacyjnych dla przyjętej kategorii linii.

Z uwagi na swoje obciążenie (zgodne z LM71 dla klasy k +2) oraz znaczną rozpiętość obiekt od samego początku był szczególny. Do dziś dnia w Polsce w ciągu linii kolejowych wybudowano zaledwie kilka obiektów o rozpiętości przekraczającej 10,0 m. Należy tu też zaznaczyć, że dotychczas rekordowy pod względem rozpiętości był obiekt w Świdnicy (14,96 m). Rozsądną formą schematu statycznego przy dużych rozpiętościach są wszelkiego rodzaju łuki. Mogą one przyjmować formę regularną, tj. wycinka okręgu o jednym promieniu krzywizny, lub też spłaszczoną, o dwóch promieniach – górnym (większym) i bocznym (mniejszym).

Omawiany obiekt został zaprojektowany w formie łuku niskoprofilowego o parametrach geometrycznych, jak podano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry geometryczne konstrukcji powłokowej

Nazwa parametru	Symbol	Jednostka	Wartość
Symbol profilu			UC-23NA
Rozpiętość konstrukcji	D	m	19,82
Wysokość w świetle	h	m	7,37
Wysokość zasyпки	h <sub>c</sub>	m	2,28
Promień górny	R <sub>t</sub>	m	13,88
Promienie boczne	R <sub>c</sub> , R <sub>s</sub>	m	5,38

Taki kształt gwarantuje, że jego wybudowanie jest możliwe (w aspekcie geometrycznym). Gdyby chcieć wznieść łuk jednopromieniowy o rozpiętości 20 m, trzeba by dysponować bardzo wysokim nasypem, równym co najmniej wysokości konstrukcji (połowa jej rozpiętości, czyli 10,0 m) oraz wysokości naziomu zapewne ok. 3,0–3,5 m, czyli łącznie ok. 13,0 m. Takie charakterystyki można uzyskać jedynie w terenach górskich, gdzie z pomocą „przychodzą” nam doliny i wąwozy, podczas gdy opiswany obiekt powstał na terenach nizinnych – w okolicy miasta Olsztynek (Maróz).

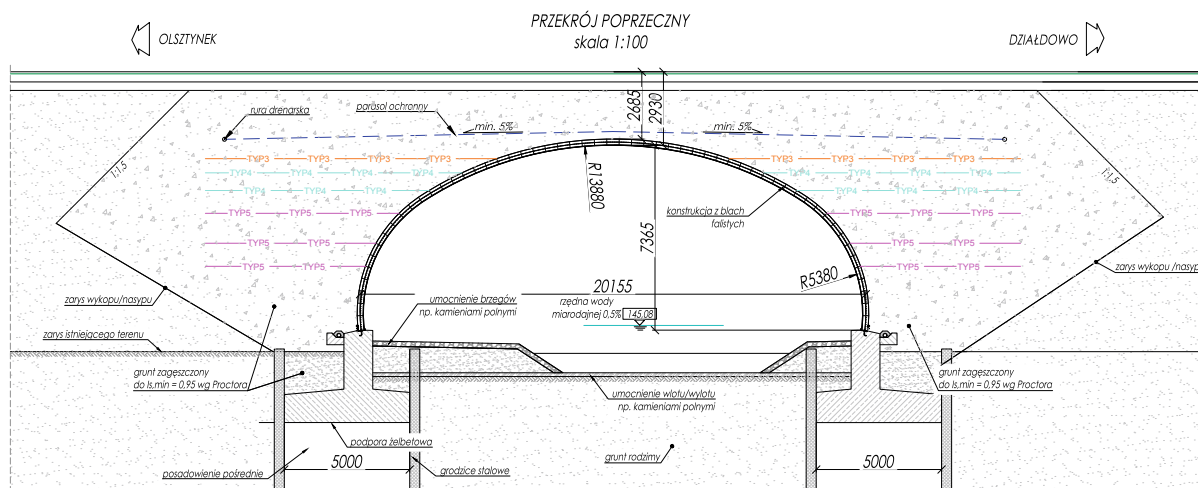
Odległość od główki szyny do poziomu terenu nie była duża i wynosiła zaledwie 9,65 m. W celu optymalizacji rozwiązania, czyli znalezienia takiej miąższości naziomu, aby grubość użytej blachy była możliwie najmniejsza (oczywiście przy zapewnieniu wszystkich stanów granicznych, tj. nośności i użyteczności), wykorzystano zawansowane techniki analizy numerycznej.

Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych (MES) w programie Plaxis 2D v. 2010 przy użyciu elementów jedno- i dwuwymiarowych w przestrzeni dwuwymiarowej (e<sup>1</sup> + 2p<sup>2</sup>). Elementami jednowymiarowymi zamodelowano powłokę konstrukcyjną, ściany oraz ławy fundamentowe. Elementami dwuwymiarowymi zamodelowano zasypkę inżynierską, konstrukcję torowiska, nasyp kolejowy, podłoże gruntowe. Współpracę między zasypką inżynierską a konstrukcją UltraCor oraz między zasypką a ścianą fundamentową zamodelowano przy użyciu odpowiednich elementów kontaktowych.

Obliczenia wykonano w modelu dwuwymiarowym ze względu na dominującą ortotropię pracy konstrukcji oraz niezmienną geometrię po długości.

Do analiz przyjęto najbardziej wyęziony przekrój poprzeczny, pracujący w płaskim stanie odkształcenia. W modelu obliczeniowym odwzorowano, zgodnie z technologią, etapowanie prac:

- wykonanie podpór konstrukcji gruntowo-powłokowej;
- montaż konstrukcji gruntowo-powłokowej;
- etap maksymalnego wypiętrzenia konstrukcji (*peaking*) – gdy zasyпка inżynierska ułożona jest do poziomu klucza powłoki. Uwzględniono obciążenia technologiczne wywołane sprzętem zagęszczającym, gdzie jego wpływ może okazać się niekorzystny;
- etap bezużytkowy. Wykonany nasyp kolejowy do projektowanej rzędnej wraz z konstrukcją torowiska;
- etap użytkowy (LL) – etap powyższy uzupełniony o obciążenia zmienne, ustawione w 19 różnych pozycjach w celu znalezienia najbardziej niekorzystnej kombinacji wartości sił



Przekrój poprzeczny nowo projektowanego obiektu





Prace montażowe



Nowy obiekt

wewnętrznych (ze względu na wyężenie przekroju oraz na wartość reakcji podporowych).

W wyniku analizy konstrukcji w kluczowych etapach jej pracy otrzymano następujące wartości sił wewnętrznych:

Faza budowy	Siła normalna [kN/m]	Moment zginający min. [kNm/m]	Moment zginający max. [kNm/m]
peaking	394,1	-109,0	64,7
bezużytkowy	1458,0	-75,4	32,8
użytkowy	1777,0	106,2	49,8

## Budowa

Podczas montażu konstrukcji stalowej zauważono kilka niedogodności, z którymi należało się zmierzyć podczas wznoszenia nowej konstrukcji.

Po pierwsze, montaż odbywał się na linii kolejowej zelektryfikowanej przy istniejącej trakcji. Była ona co prawda wyłączona, jednakże należało zwracać na nią szczególną uwagę podczas pracy żurawia, tak aby jej nie uszkodzić.

Kolejną trudnością była wielkość placu montażowego. Konstrukcja została zaprojektowana w wykopie, jednocześnie przez jej środek cały czas płynął ciek, który powodował ciągłe zawilgacanie placu montażowego. Z tego też powodu żuraw podający arkusze blachy mógł stać jedynie w jednym umocnionym miejscu. Niestety to miejsce znajdowało się w jednym z narożników konstrukcji. W związku z tym należało zapewnić taki żuraw, który mógł podawać blachy konstrukcyjne na dużym wysięgu (po przekątnej fundamentów).

## Prace montażowe

Całość montażu była prowadzona na podnośnikach koszowych, dla których również należało przygotować platformy robocze, aby pracownicy mogli bezpiecznie montować konstrukcję. Nie było to proste, ponieważ cały czas ciek podmywał umocnienie.

Montaż rozpoczęto od najdalszego punktu od żurawia. Następnie sukcesywnie montowano kolejne elementy. Bardzo szybko okazało się, że oprócz podmokłego terenu montażu musieli również walczyć z trudnościami terenowymi. Sam transport elementów mógł odbywać się jedynie do granicy lasu, natomiast konstrukcja znajdowała się ok. 2 km od tego miejsca. Z tego też powodu należało zmobilizować do transportu dodatkowe siły w postaci ładowarki teleskopowej terenowej, która sukcesywnie przewoziła potrzebny do konstrukcji materiał.

Podczas prac montażowych trzeba było zwracać szczególną uwagę na montaż skosów konstrukcji. Sama jednolita konstrukcja nośna, po której będą jeździć składy kolejowe, miała długość zaledwie 11,46 m. W porównaniu z całą długością konstrukcji była to jedna trzecia całego obiektu, wynoszącego 30,66 m.

Obiekt został warunkowo oddany do użytkowania. Przed wykonawcą stoi jeszcze jedno zadanie – wykonanie próbnego obciążenia. Jego wynik będzie kolejnym źródłem wiedzy z dziedziny zachowania się konstrukcji gruntowo-powłokowych pod obciążeniem zmiennym wysokich intensywności (zarówno co do wartości sił, jak i efektów dynamicznych).

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule studium przypadku pokazuje, jak wysłużony technicznie obiekt w trudnym pod względem dostępu terenie może zostać przebudowany, tak aby koszty jego budowy kształtowały się na rozsądnym poziomie, a funkcja, jaką ma pełnić, była realizowana zgodnie z oczekiwaniami zamawiającego. Istotnym czynnikiem w aspekcie czasu życia konstrukcji są też niskie koszty jej obsługi. Obiekt nie posiada łożysk, urządzeń dylatacyjnych, płyt przejściowych, czyli elementów konstrukcji, które wymagają serwisu czy też międzyokresowej wymiany. W przypadku powłok stalowych kluczowa jest obserwacja stanu powłok ochronnych i szybkie reagowanie w razie zauważonych uszkodzeń. Doświadczenia pokazują, że obiekty tego typu nie wykazują oznak korozji przez bardzo długi czas i mogą być bezpiecznie użytkowane bez obawy o utratę nośności. Dodatkowym atutem jest to, że po przekroczeniu zakładanego czasu eksploatacji obiekt można poddać całkowitemu recyklingowi, wymieniając powłokę na nową, z równoczesnym wtórnym wykorzystaniem otaczającej go zasyпки.

## Literatura

- [1] Janusz L., Madaj A.: *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Sp. z o.o. Warszawa 2009.
- [2] *Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)*. Wersja 1.1. Warszawa 2009.
- [3] *Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products*. Canadian edition. Corrugated Steel pipe Institute, 2002.
- [4] Machelski C.: *Budowa konstrukcji gruntowo-powłokowych*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2013.
- [5] Abdel-Sayed G., Bakht B., Jeager L.G.: *Soil-Steel Bridges. Design and Construction*. McGraw-Hill. New York 1994.
- [6] Pettersson L., Sundquist H.: *Design of soil steel composite bridges*. KTH. Stockholm 2007.



ViaCon Polska Sp. z o.o.  
ul. Przemysłowa 6, 64-130 Rydzyna  
e-mail: office@viacon.pl, www.viacon.pl