

mgr inż. Krzysztof Topolewicz*
mgr inż. Tymon Galewski**

Wiadukt WD-1 w ciągu Trasy Słowackiego w Gdańsku

Budowa III odcinka Trasy Słowackiego w Gdańsku, w którego zakres wchodził wiadukt WD-1 (fotografia 1) była realizowana przez firmę Budimex od sierpnia 2011 r. do grudnia 2012 r. Kompleksową obsługę projektową świadczyły firmy TOP PROJEKT Krzysztof Topolewicz i GTI Tymon Galewski. Złożone warunki gruntowo-wodne na terenie lokalizacji inwestycji, ingerencja w tory górki rozrządowej w połączeniu ze złożoną geometrią konstrukcji okazały się wymagającym zadaniem inżynierskim.



Fot. 1. Wiadukt WD-1

Wiadukt WD-1 ma konstrukcję czteroprzęsłową długości całkowitej 261 m, składającą się z trzech przęseł belkowych rozpiętości 40 m, 56 m i 44 m i przęsła łukowego rozpiętości 120 m. Obiekt zaprojektowany został na łuku poziomym i pionowym, a szerokość jezdni jest zmienna. W przekroju poprzecznym konstrukcję pomostu stanowi skrzynka betonowa dwu- lub czterokomorowa ze wspornikami podpartymi zastrzałami rurowymi. Konstrukcję skrzynki betonowej zaprojektowano w układzie ciągłym, ale przęsło główne podwieszono centralnie do rurowej konstrukcji łukowej składającej się z dwóch identycznych łuków przesuniętych względem siebie wzdłuż obiektu o 4,0 m i skrzyżowanych patrząc na przekrój poprzeczny. Pomiędzy łukami są poprzeczki z rury mniejszej średnicy.

Betonowa skrzynka pomostu została sprężona podłużnie kablami wewnętrznymi 22-splotowymi i kablami zewnętrznymi 19-splotowymi, natomiast poprzecznicę w przęśle łukowym 9-splotowymi kablami, a płyta jezdni pojedynczymi splotami.

Zagadnienia projektowe

Zgodnie z projektem konstrukcję pomostu wykonano z betonu B-60. Zastosowano mieszankę na łamanym kruszywie granitowym. W obliczeniach konstrukcji niosącej i podpór przyjmuje się beton mostowy na kruszywie bazaltowym, ponieważ wywołuje większe obciążenia (żelbet bez kruszywa bazaltowego ma mniejszy ciężar właściwy o $1,0 \text{ kN/m}^3$). W przypadku konstrukcji sprężonych ich ciężar własny jest istotnym czynnikiem w wymiarowaniu sprężenia, a rzeczywiste zmniejszenie ciężaru konstrukcji może prowadzić do pojawienia się naprężeń rozciągających w betonie, mimo iż projekt takich naprężeń nie dopuszczał. W związku z tym, uwzględniono właściwy ciężar jednostkowy konstrukcji betonowej. Takie podejście umożliwiło zachowanie odpowiednich współczynników bezpieczeństwa przy jednoczesnej optymalizacji sprężenia. Pomimo skomplikowanego systemu sprężania, zaprojektowania sprężenia pełnego i przęsła rozpiętości 120 m, wskaźnik sprężenia podłużnego obiektu wynosił ok. 25 kg/m^2 obiektu.

Jesteśmy zwolennikami, aby przy wymiarowaniu konstrukcji sprężonych stosowana była metoda całkowania linii wpływu wzbudzenia. Z powodzeniem stosuje się ją do prostszych konstrukcji belkowych. W przypadku wiaduktu WD-1 zastosowano klasyczną metodę obciążeń ekwiwalentnych, ale wstępne trasowanie kabli sprężających przeprowadzono pierwszą metodą.

Realizacja inwestycji

Czynnikiem wpływającym na organizację i przebieg całej budowy była bliskość stadionu PGE Arena w Gdańsku i roboty prowadzone przed Euro 2012. Technologia realizacji obiektu została ustalona w fazie prac przygotowawczych i była wynikiem wspólnych analiz wykonawcy i projektanta. Pod uwagę brano bardzo wiele czynników i uwarunkowań, które nie były rozpatrywane na etapie projektu budowlanego. Przyjęto technologię, polegającą na wykonaniu pomostu betonowego na rusztowaniach metodą tradycyjną oraz montaż łuku z wykonanego wcześniej pomostu. Po konsultacjach z PKP i uzyskaniu pozwolenia udało się zarezerwować wystarczającą ilość terenu na realizację obiektu w tej technologii. Decyzja wykonawcy wiązała się ze zwiększeniem kosztów podpór rusztowań, ich posadowienia, odtwarzania torów i innych urządzeń PKP, ale miała też kilka istotnych zalet. Były to:

- jednoczesna realizacja robót żelbetowych na wszystkich przęsłach;
- realizacja montażu łuków bezpośrednio z płyty pomostu;
- niezależne wykonywanie nasypów i prac drogowych;
- równoległe wykonywanie wyposażenia i końcowych prac montażowych z naciąganiem wieszaków.

* TOP PROJEKT
** GTI

Przyjęte założenia potwierdziły się w podczas realizacji. Odkrywane w gruncie instalacje PKP doprowadziły do zatrzymania robót na przęśle łukowym w kluczowym momencie budowy, a jednoczesna realizacja robót umożliwiła przerzucenie środków na inne odcinki. W celu opracowania prawidłowej i bezpiecznej technologii montażu wiaduktu przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową, której celem było:

- przyjęcie optymalnych rozwiązań całej konstrukcji oraz jej elementów;
- sprawdzenie wszystkich faz wykonywania konstrukcji betonowej oraz stanów montażowych konstrukcji stalowej;
- określenie momentu zespolenia konstrukcji stalowej łuku z węzłami;
- wykonanie kilkuetapowego naciągu wieszaków.



Fot. 2. Rura średnicy 1500 mm. Wewnątrz projektant mostu Krzysztof Topolewicz

Konstrukcja stalowa została wykonana w Niemczech, gdzie z arkuszy blach uformowano odcinki rur długości 12 m, średnicy 1500 mm i grubości ścianki 30 mm (fotografia 2). Rury wygięto wg dwóch promieni w Wielkiej Brytanii. Łuk o teoretycznym kształcie parabolicznym był aproksymowany za pomocą dwóch promieni kołowych. Różnica pomiędzy osią paraboliczną a odcinkami kołową była znacznie mniejsza niż przemieszczenia łuku w trakcie montażu. Kompletne elementy montażowe konstrukcji stalowej łuku zostały wykonane w Polsce w firmie Vistal.

Tereny PKP, nad którymi znajduje się obiekt, mają niestabilne podłoże gruntowe. Tory posadowione są na nasypie pływającym na ok. 3-metrowej warstwie torfów. W ramach przygotowania budowy przeprowadzono wiele dodatkowych badań i obliczeń, które wykazały, że pełne rusztowanie bez bramek przejazdowych mogło być posadowione bezpośrednio. W związku z tym, że w miejscach bramek przejazdowych siły pionowe były na tyle duże, wielkość osiadań spowodowanych przemieszczeniami poziomymi warstwy torfów uniemożliwiła ten sposób posadowienia rusztowań. Ostatecznie podpory rusztowań do betonowania konstrukcji posadowiono pośrednio poniżej warstwy torfów. Fundamentowanie podpór tymczasowych realizowano metodą prób i błędów ze względu na gęstą sieć instalacji kolejowych, z których większości nie było na mapach PKP lub znajdowała się w innych miejscach niż w dokumentacji. Na takie podejście pozwalała konstrukcja betonowa skrzynki. Kolejnym argumentem za tym, aby podpory na terenie PKP były odpowiednio sztywne, był montaż łuku. Zespół projektowy zaproponował wykonawcy możliwość wjazdu na przęsło oparte na podporach rusztowań, żurawiami i samochodami transportującymi elementy łuku. Dało to znaczne oszczędności w wielkości zastosowanych żurawi oraz ograniczeniu zamknięć torowych.

Betonowy pomost realizowano metodą przęsła po przęśle. Pierwotnie zakładano wykonanie i sprężenie przęsła łukowego, a następnie jednego przęsła od strony ul. Marynar-

ki i dwóch przęsła od strony Al. Hallera. Do takiej kolejności dostosowano w projekcie system sprężenia wewnętrznego. Ostatecznie wszystkie przęsła wykonano w tym samym czasie ze względu na trudności w zakresie uzgodnień na terenie kolejowym, a następnie przy wykonywaniu posadowienia podpór montażowych. Sprężenie i uciąganie wszystkich przęsła wymagało pozostawienia przerw betonowania umożliwiających wewnętrzne sprężenie konstrukcji pomostu zgodnie z projektem.

Po częściowym sprężeniu pomostu spoczywającego na podporach montażowych możliwe było rozpoczęcie **prac montażowych łuku** (fotografia 3). Na płytę pomostu mogły wjechać żurawie o nośności 100 T. Montaż konstrukcji łukowej rozpoczął się od osadzenia skrajnych elementów na śrubach wystających z węzłami. Jednocześnie montowano wieże do podparcia części skrajnych i podciągnięcia części środkowej. Projekt montażu oraz rysunki warsztatowe wykonano w układzie trójwymiarowym. Na każdym etapie montażu kontrolowano współrzędne w układzie globalnym, a wszystkie odchyłki i korekty wyznaczano w układzie trójwymiarowym. Po ułożeniu na podporach montażowych skrajnych sekcji, z których każda składała się z czterech odcinków rur, rozpoczęto scalanie środkowej części łuku długości 48,0 m. Podnoszono ją za pomocą pretów wysokiej wytrzymałości. Łuki w takim układzie mogły pracować jako belka, ale dodatkowo sprężono je poziomymi cięgnami zaczepionymi do uszu wieszaków. Po podniesieniu części środkowej sprawdzono i skorygowano geometrię konstrukcji i przystąpiono do spawania sekcji skrajnych oraz środkowej. Niezespawanych pozostało kilka przewiązek.



Fot. 3. Łuki stalowe wiaduktu WD-1

Kolejnym trudnym elementem montażu było osadzenie dolnych łuków na węzłach i wykonanie podlewek. Ze względu na założenia projektu rury zostały oparte na węzłach na łożysku centralnym umożliwiającym zmianę kąta. Dolna rura łuku w miejscu posadowienia na węzłach była dodatkowo oparta na podkładce dystansowej. W celu zwolnienia podkładki, osadzenia dolnych rur łuku i właściwego ustawienia konstrukcji konieczne były operacje siłowe w miejscu oparcia łuku na wieżach. Po wyjęciu podkładek i osadzeniu dolnych rur na węzłach można było zwolnić podparcia pionowe na wieżach. Łuki opierały się poprzecznie, wywierając na wieże siłę ok. 40 T. Po sprawdzeniu geometrii wykonano podlewki.

(dokończenie na str. 63)