



Budowa nowego mostu Trojskiego w Pradze

tekst: prof. Ing. **JAN L. VÍTEK**, CSc., FEng., Metrostav a.s., współautorzy: Ing. **LADISLAV ŠAŠEK**, CSc.,
Ing. **ROBERT BROŽ**, PH.D., Ing. **VLADIMÍR JANATA**, CSc.

zdjęcia: **JAN L. VÍTEK**, **JOSEF HUSÁK**

Obecnie w Pradze budowana jest północna część obwodnicy miasta. Projekt ten jest znany pod nazwą kompleks tunelowy Blanka, a w jego skład wchodzi liczne budowle tunelowe. Do kompleksu zaliczany jest również nowy most przez Wełtawę, który będzie służył komunikacji tramwajowej, samochodowej oraz pieszej. Po jego ukończeniu możliwa będzie rozbiorka istniejącego mostu tramwajowego, który jest eksploatowany od czasu ostatniej przebudowy mostu Barykadníkův.

Artykuł opisuje proces powstawania głównych elementów mostu. Nie wspomniano w nim o projektowaniu, analizach statycznych, posadowieniu czy sposobie podparcia. Celem artykułu jest bowiem poinformowanie opinii publicznej o wydarzeniach na placu budowy, możliwych do zaobserwowania w pobliżu terenów rekreacyjnych Troi oraz doliny Wełtawy.

Wstęp

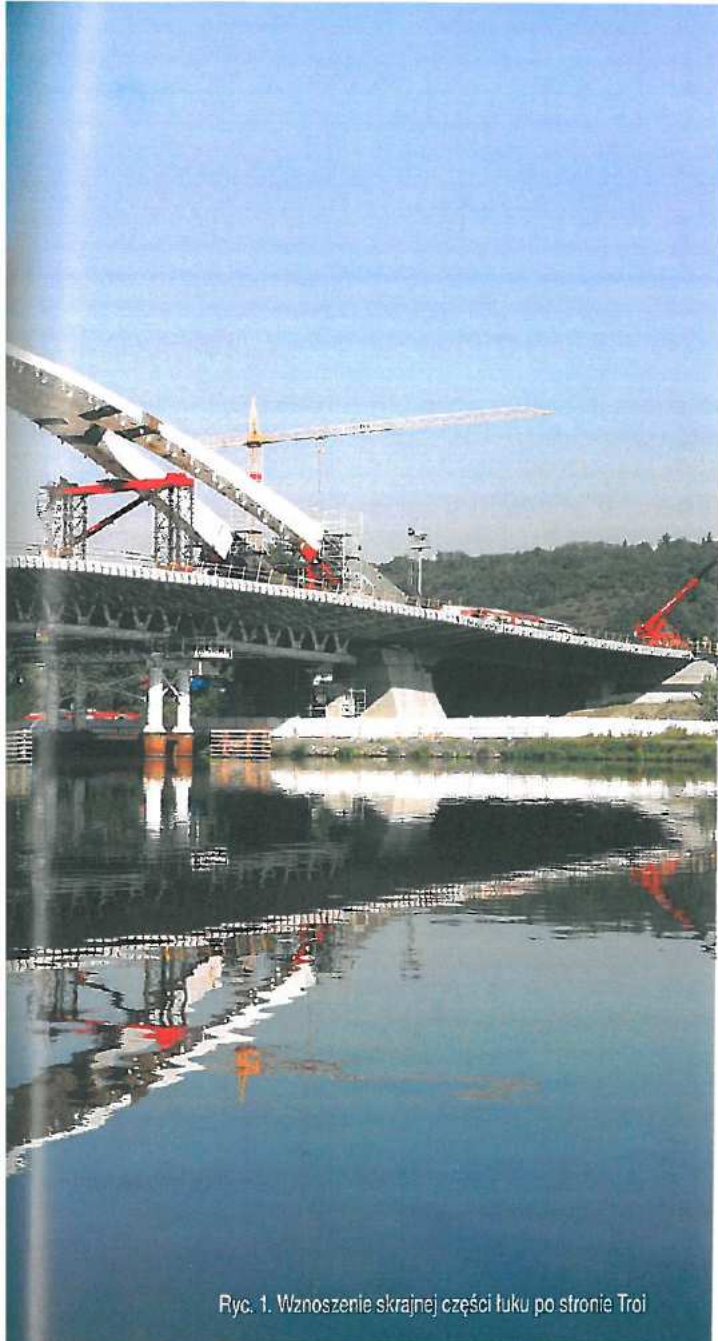
Most Trojski powstał w ramach projektu kompleksu tunelowego Blanka. W 2006 r. inwestor zdecydował o zmianie projektu mostu i zorganizował konkurs na wykonanie nowego. Zwycięski projekt – łukowa konstrukcja hybrydowa – jest aktualnie w trakcie realizacji i będzie się zaliczał, zwłaszcza biorąc pod uwagę jego rozpiętość, do największych mostów w Cze-

chach. Oryginalny system konstrukcyjny oraz sposób budowy są przedmiotem szerokiej dyskusji.

Opis mostu

Przeprawa składa się z dwóch samodzielnych konstrukcji, oddzielonych dylatacją nad filarem stojącym na trojskim brzegu. Główne przęsło nad Wełtawą zaprojektowano jako prosto podpartą łukową konstrukcję stalową z betonowym pomostem o rozpiętości 200,4 m. Łączące się z nim od strony Troi przęsło zalewowe jest prosto podpartą konstrukcją dwubelkową o rozpiętości 40,35 m, wykonaną z monolitycznego betonu sprężonego.

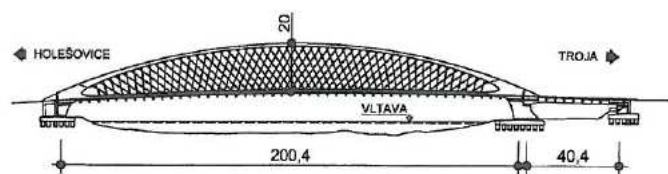
Most pod względem wizualnym stanowi niemal symetryczną całość, a to dzięki spójnej koncepcji oraz formie



Ryc. 1. Wznoszenie skrajnej części łuku po stronie Troi

przekroju poprzecznego (kształt poprzecznicy i płyty) oraz jednakowym detalem wyposażenia. Całkowita szerokość mostu wynosi 36,2 m (wraz z barierami) i jest pod względem konstrukcyjnym podzielona na pasy ruchu, odpowiednio do poszczególnych rodzajów komunikacji. Na środku, na samodzielnym korpusie, poprowadzono dwutorową linię tramwajową, po jej obu bokach symetrycznie biegną dwie jezdnie dwupasmowe oraz chodniki dla pieszych i rowerzystów.

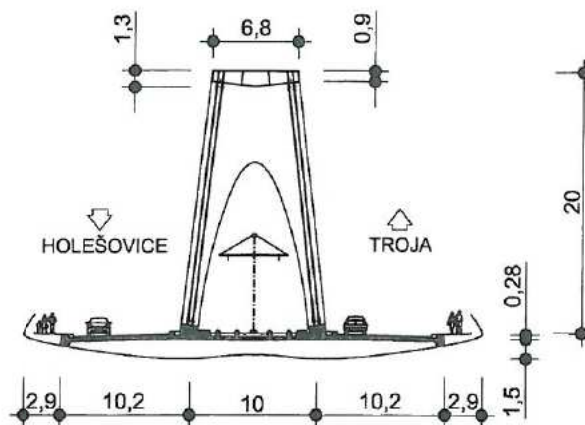
Projekt mostu Trojskiego jest konstrukcją znaczącą i odważną, wykorzystującą niezwykle, jak dotąd, wzajemne połączenia elementów konstrukcji, składającej się ze stalowego łuku oraz sprężonej betonowej płyty pomostowej, połączonych wzajemnie za pomocą sieci wieszaków. Rozwiązania i kształt przeprawy tworzą unikatową konstrukcję na skalę światową. Obiekt uzyskał niezwykłą elegancję dzięki stosunkowi nachylenia do rozpiętości łuku 1:10, co decyduje o jego smukłości, oraz stosunkowi wysokości konstrukcyjnej łuku i jego rozpiętości 1/182. Takie parametry uzyskano w wyniku zastosowania gęstej sieci wieszaków, która zapewnia wytrzymałość i sztywność konstrukcji. Przekrój podłużny mostu pokazano na rycinie 2.



Ryc. 2. Przekrój podłużny mostu

Rozwiązania konstrukcyjne

Płyta pomostowa sprężona poprzecznie i podłużnie jest podparta poprzecznicy prefabrykowanymi. Środkowy pas tramwajowy jest otoczony konstrukcją stalowo-betonowych cięgien łuku (sprężonych wewnętrznie), oddzielających przestrzeń komunikacyjną od korpusu tramwajowego. Reakcje łuku przenoszone przez płytę pomostową są eliminowane dzięki sprężeniu podłużnemu. Wykorzystanie poprzecznicy prefabrykowanych umożliwiło znaczne przyspieszenie postępu robót oraz zmniejszyło liczbę tymczasowych konstrukcji podporowych przy jednoczesnym spełnieniu wysokich wymagań co do precyzji i jakości wykonania. Przekrój poprzeczny mostu ilustruje rycina 3.



Ryc. 3. Przekrój poprzeczny w środku rozpiętości

Łuk stalowy, wznoszący się na 20 m w części środkowej, ma przekrój komorowy w kształcie pentagonu o wysokości 0,9–1,3 m. Mniej więcej w jednej czwartej rozpiętości rozdziela się obustronnie w kierunku podstaw na dwa czworokątne przekroje komorowe, odpowiednio do rozwiązań przestrzennych profilu korpusu tramwajowego.

Jednocześnie ukształtowano łuk stalowy, spełniając przy tym wymagania statyczne dotyczące jednakowej sztywności i powierzchni przekroju na całej jego długości oraz zachowania stałej grubości blach.

Most Trojski stanowi konstrukcję zawierającą szereg zaawansowanych rozwiązań, łącznie z jego wyposażeniem. Po raz pierwszy w Czechach zastosowano wypróbowane dylatacje francuskiej firmy. Odwodnienie jezdni i chodników wykonano na całej długości mostu oraz na przyczółkach z użyciem wpustów ulicznych angielskiego producenta. Dwutorowa linia tramwajowa w środkowej części płyty pomostowej jest poprowadzona na pływającej monolitycznej płycie żelbetowej. Płytę od konstrukcji nośnej oddziela elastomerowa mata antywibracyjna o grubości 23 mm.

Do płyty zakotwiono podstawy słupów trakcyjnych, szyny oraz kątowniki zabezpieczające. Na moście zaprojektowano tory połączone spawami. Kolejowe urządzenia dylatacyjne są umieszczone na przyczółkach za konstrukcją nośną.

Przebieg robót

Podczas gdy długo dywagowano o sposobie wznoszenia głównego przęsła przez rzekę, na rusztowaniu stałym zostało wykonane betonowanie przęsła zalewowego. Główne przęsło mostu stanowi złożony system konstrukcyjny, zoptymalizowany



Ryc. 4. Stanowisko montażowe i część wysuniętego rusztu



Ryc. 5. Walce do wysuwania rusztu nośnego pomostu



Ryc. 6. Widok wysuwanej konstrukcji z lotu ptaka

zgodnie z docelowo pełnionymi funkcjami. Na poszczególnych etapach budowy, kiedy konstrukcja jeszcze nie była kompletna, pojawiły się problemy związane z powstawaniem niezwykle obciążających. Ze względu na to starannie opracowywano kolejność wykonywania poszczególnych robót oraz rozważano cały szereg wariantów, zanim wybrano optymalny. W celu podjęcia odpowiednich decyzji analizowano różne kryteria, z których główne to: solidność wykonania konstrukcji i eliminacja ryzyka powstałego ze złej jakości wykonania oraz opóźnień w realizacji, opłacalność i liczba tymczasowych konstrukcji pomocniczych, ograniczenie niekorzystnego wpływu podnoszącego się poziomu wody w Wełtawie, możliwość wykorzystania ograniczonej przestrzeni na placu budowy.

Po szczegółowej analizie zdecydowano, że w pierwszej kolejności zostanie wykonana płyta pomostowa, z której następnie będzie montowany stalowy łuk z wieszakami.

Płyta mostowa składa się z prefabrykowanych poprzecznic, płyty monolitycznej i stalowo-betonowego ciągła łuku. Poprzecznic są zawieszane na stalowej części ciągła łuku przy pomocy elementów stalowych i złączy śrubowych. Ze względu na konstrukcję płyty pomostowej trzeba było zaprojektować pięć podpór tymczasowych. Pomost został następnie usztywniony tymczasową konstrukcją kratownicową. Na holeszowickim brzegu zorganizowano stanowisko montażowe (ryc. 4), na którym stopniowo montowano tymczasową konstrukcję kratową, stalową część ciągła łuku oraz prefabrykowane poprzecznicę. W ten sposób powstała konstrukcja rusztowa, którą stopniowo wysunięto na drugi brzeg rzeki.

Tymczasowa konstrukcja stalowa kratownicowa składa się z pasa dolnego i krzyżulców. Górny pas tworzy stalowa część ciągła łuku. Montaż na stanowisku montażowym rozpoczął od połączenia pasa dolnego tymczasowej konstrukcji kratowej z krzyżulcami. Na betonowe podpory wykonane na stanowisku montażowym ustawiano zawsze po cztery prefabrykowane poprzecznicę. Na koniec instalowano stalową część ciągła, na którą przykręcano śrubami prefabrykowane poprzecznicę i krzyżulce. Powstawały w ten sposób konstrukcje o standardowej długości 16 m, które były kolejno wysuwane. Montaż był nadzwyczaj trudny ze względu na konieczną precyzję w celu zachowania wymaganego kształtu konstrukcji oraz aby umożliwić dokładne ustawienie wszystkich połączeń śrubowych. Dlatego też wygodniej było wykonywać wszystkie te operacje na stanowisku montażowym na holeszowickim brzegu rzeki. Pozycja poprzecznic została precyzyjnie ustawiona z użyciem urządzeń hydraulicznych.

Przy wysuwaniu konstrukcja rusztowa była ciągnięta za pomocą prętów sprężających. W sumie przewidziano osiem prętów, ale w praktyce wykorzystano w większości tylko z czterech. Każdy pręt był ciągnięty przez walec hydrauliczny o mocy 60 t (ryc. 5). Przednia część konstrukcji została ustawiona za pomocą krótkiego kratowego awanbeku (ryc. 6), który zapewniał płynny najazd na łożyska przesuwne. Łożyska przesuwne zostały uproszczone w celu zredukowania liczby pracowników wykonujących wysuwanie konstrukcji. Na łożyskach umieszczono płyty, po której bezpośrednio wysuwano dolny pas konstrukcji kratowej. Odpadła więc kwestia blach nierdzewnych i stopniowe przesuwanie płytek teflonowych między łożyskiem a wysuwaną konstrukcją. W ten sposób zmniejszono również ryzyko błędów przy wkładaniu płytek. Siły wysuwające

były starannie mierzone, dzięki czemu osiągnięto bardzo małe wartości tarcia (1–3%). Cała konstrukcja o długości 200 m była wysuwana przez ok. dwa i pół miesiąca wiosną 2011 r.

W dalszym etapie wykonano betonowanie końcowych poprzecznic mostu. Jeszcze przed tym trzeba było osadzić stalowe podstawy łuku, które miały być zespawane z poprzecznicą końcową (ryc. 7). Stalowe stopki zostały osadzone na konstrukcji stalowej, przez co stały się częścią końcowej poprzecznicy. Deskowanie końcowych poprzecznic o skomplikowanym kształcie podparto rusztowaniem stałym. Po zabetonowaniu końcowych poprzecznic kontynuowano stopniowe betonowanie płyty pomostowej, znów w odcinkach po 16 m. Deskowanie płyty pomostowej za każdym razem po stężeniu betonu było opuszczane na łodzie i przewożone na następny odcinek, gdzie ponownie ustawiano je we właściwej pozycji. Deskowanie zakotwiono do kotew zabetonowanych w prefabrykowanych poprzecznicach. Zaraz po betonowaniu poszczególnych odcinków pomostu aktywowano sprężenie poprzeczne. Po zakończeniu betonowania płyty pomostowej wykonano etapami betonowanie zespolonego stalowo-betonowego ciągu łuku. Sprężenie podłużne pomostu i ciągów łuku aktywowano w trzech krokach. Pierwsza część sprężenia podłużnego została wykonana po zakończeniu betonowania całej płyty pomostowej głównego przęsła mostu. W ten sposób powstała konstrukcja, która miała już nośność wystarczającą do montażu łuku. Wysoką sztywność konstrukcji osiągnięto zwłaszcza dzięki pomocniczej konstrukcji kratowej, współdziałającej z całą docelową płytą pomostową i ciągnem łuku.

Podstawy łuku są najbardziej obciążoną częścią konstrukcji. Przenoszą siły łuku na pomost i ciągną, są w nich również zakotwione wielkie 37-splotowe kable, podłużnie sprężające ciągną łuku. Sama konstrukcja stalowa podstaw wymagałaby dużej ilości zbrojenia do przeniesienia lokalnego napięcia. Ilość zbrojenia zredukowano dzięki wypełnieniu stalowych podstaw łuku betonem samozagęszczającym o wysokiej wytrzymałości, klasy C80/95, który rozprasza lokalne naprężenia.

Na gotowej płycie pomostowej postawiono wieże konstrukcji podporowej z materiału PIZMO, które służyły do montażu łuku mostu. Jednocześnie w miejscu przyszłej linii tramwajowej zbudowano tymczasowe tory, po których przewożono poszczególne elementy łuku, a następnie spawano w większe całości. Do przewożenia stalowych elementów wykorzystywano wózki sterowane hydraulicznie. Poszczególne elementy konstrukcji stalowej łuku były spawane w zestawy o długości zbliżonej do 1/3 łuku. Montaż pierwszej części łuku rozpoczął się od strony Troi, gdzie wzniesiono łuk u podstawy i połączono ze sworzniem konstrukcji pomocniczej przy podstawie. Następnie element ten był podnoszony wolnym końcem do wymaganej wysokości (ryc. 8a, 8b), po czym przyspawano podstawę łuku, by wreszcie konstrukcję pomocniczą ze sworzniem zdemontować. Podobnie wzniesiono część łuku po hołszowickiej stronie mostu (ryc. 9). Jako ostatni podnoszono środkowy element łuku. Wszystkie operacje podnoszenia przeprowadzono przy pomocy wieszaków prętowych oraz walców hydraulicznych (ryc. 10). Ciężar skrajnych części łuku wynosi ok. 720 t, środkowy element waży natomiast ok. 680 t.

Kiedy łuk zostanie całkowicie zespawany, stanie się konstrukcją samonośną i będzie można zdemontować wieże podporowe, po czym nastąpi instalacja wieszaków. Wieszaki będą po zain-



Ryc. 7. Osadzanie podstawy łuku



Ryc. 8a. Skrajna część łuku w pozycji transportowej



Ryc. 8b. Skrajna część łuku osadzona na sworzniu

stalowaniu napinane ze stosunkowo małą siłą ok. 5–10 % nośności, aby ograniczyć ich ugięcia pod ciężarem własnym i tym samym wyeliminować nieliniową sztywność wieszaków. Będą instalowane grupami w pięciu etapach, tak aby przy instalacji i sprężaniu nie dochodziło do nadmiernej, niesymetrycznej deformacji łuku. Po instalacji wszystkich wieszaków dolny pas pomocniczej konstrukcji kratowej zostanie przerwany, nastąpi aktywacja drugiego z trzech etapów sprężenia podłużnego i całe główne przęsło mostu zostanie opuszczone z łożysk przesuwnych na podporach tymczasowych – będzie opierać się jedynie na łoż-