

Most Hangzhou – najdłuższy transoceaniczny most świata



■ Krzysztof Dąbrowiecki

W ostatnich trzydziestu latach Chińska Republika Ludowa realizowała największy na świecie program budowy dróg, mostów i autostrad. Przez ten czas Chiny oddawały do użytku średnio 50 tys. km dróg rocznie. W ramach programu Krajowej Sieci Autostrad (National Expressway Network) w następnej dekadzie ich długość zwiększy się z 2,3 mln km w 2010 r. do 3,0 mln km w 2020 r., w tym dróg szybkiego ruchu odpowiednio z 55 tys. km do 85 tys. km.



Wjazd na most jednopylonowy

Gwałtowny i znaczący postęp w technologii i konstrukcji stał się widoczny w projektowaniu i budowie wszystkich rodzajów mostów, a szczególnie morskich i o długich przęsłach. W 1978 r. Chiny miały 128 tys. mostów drogowych o łącznej długości 3200 km. Budując średnio 16 tys. mostów drogowych rocznie, w 2008 r. posiadały ich już ponad 594 tys. o łącznej długości 25 tys. km. W tym czasie szybko wzrastała maksymalna długość przęseł mostów drogowych, od 200 m w 1985 r., przekraczając 400 m w 1991 r., 600 m w 1993 r., 800 m w 1997 r., 1000 m w 1999 r., do ponad 1600 m w 2009 r.

Poligonem doświadczalnym dla mostów o niestandardowych formach i rozmiarach jest trzecia co do długości rzeka świata – Jangcy. Liczy 6380 km długości, w tym 2838 km nadaje się do żeglugi i stąd konieczność budowy tak wielu obiektów mostowych. Dotychczas wybudowano ich 59, a 21 następnych jest w trakcie budowy. W wielu miejscach przepraw powstały tak wspaniałe konstrukcje, jak most Runyang (oddany w 2005 r., ma 36 km długości, w tym most wiszący o długości głównego przęsła 1490 m), most wiszący Jiangyin (1999, główne przęsło 1385 m), most podwieszony Sutong (2008, 8,2 km, w tym główne przęsło 1088 m), most Nanjing (2005, 15,6 km, w tym

most podwieszony z 648-metrowym przęsłem głównym), most Wushan (2005, 460-metrowy most łukowy) czy most Szanghaj Jangcy (2009, 16,5 km, w tym most podwieszony z 750-metrowym przęsłem głównym).

Jednak najbardziej niezwykłym projektem, o niespotykanej dotąd na świecie skali i złożoności pod względem technicznym, hydrologicznym, geologicznym, meteorologicznym oraz logistycznym, jest most przez zatokę Hangzhou. To najdłuższy na świecie most transoceaniczny, o kilka kilometrów dłuższy od poprzedniego rekordzisty, mostu Donghai (2005, posiadający 32 km) i prawie tej samej długości, co podwodna część tunelu pomiędzy Francją i Anglią. Zaprojektowany i wybudowany w kształcie litery S, o długości 36 km, stał się łącznikiem pomiędzy centrum ekonomiczno-finansowym kraju, 18-milionowym Szanghajem, i drugim co do wielkości portem morskim w Chinach (100 mln t rocznego przeładunku), 2,2-milionowym Ningbo. Jest świadectwem przyjętej strategii i ogromnych inwestycji infrastrukturalnych, jakich obecnie podejmują się Chiny, uaktywniając regiony kraju poza strefami wolnego handlu. Jest także potwierdzeniem chińskiego przysłowia: „Jeśli chcesz być bogaty, musisz najpierw zbudować drogi”. Most Hang-

zhou, przecinając z północy na południe łagodnymi łukami zatokę Hangzhou, skraca czas podróży pomiędzy portowymi miastami z 4 do 2,5 godzin (o ok. 120 km) i zdaniem wielu ekspertów stanie się ekonomicznym bodźcem dla regionu o dużym potencjale rozwoju, jakim jest rozległa delta rzeki Jangcy.

Wang Rengui i Fanchao Meng, główni projektanci mostu, zwrócili uwagę na występujące w tym rejonie trudne warunki hydrometeorologiczne, które musiały być wzięte pod uwagę przy projektowaniu tak długiej przeprawy morskiej. Zaliczają do nich duży prąd morski do 5 m/s, wysokie przyływy i odpływy dochodzące do 8 m, huraganowe wiatry do 170 km/h oraz tzw. Silver Dragon – niezwykle fenomen natury i atrakcja turystyczna tego miejsca. Silver Dragon jest zjawiskiem hydrologicznym, w którym ogromne masy wody oceanu, wpływające do zatoki Hangzhou, przeciwdziałając prądom rzeki Qiantang, odwracają jej bieg i tworzą wysoką na 9 m falę, przesuwaną się z prędkością 40 km/h w kierunku wąskiego ujścia rzeki do zatoki. W tym przypadku przy projektowaniu mostu nie chodziło o to, że wysoka fala oceaniczna uszkodzi konstrukcję, lecz aby przeszkoda wodna w postaci mostu nie zniszczyła przynoszącej wielomilionowe dochody atrakcji turystycznej. W tym celu przeprowadzono szereg badań na basenie modelowym, studiując różne warianty kształtu i usytuowania mostu, ich wpływ na przepływy wodne i prędkości prądów morskich. Na podstawie wyników określono umiejscowienie fundamentów, które zminimalizowały wpływ obecności w tym miejscu mostu na przepływy wodne i zharmonizowały go z kształtem fali. W ten sposób dobrano kształt przeprawy (S), który jest odbiciem konfiguracji rozchodzącej się po zatoce fali morskiej i przyczynia się do niezakłóconego przepływu fali pod obiektem.

W ciągu 10 lat przed rozpoczęciem budowy liczne zespoły inżynierów i naukowców przeprowadziły ponad 70 różnych badań w celu naukowej weryfikacji projektu w odniesieniu do warunków geologicznych, planu budowy, bezpieczeństwa i trwałości konstrukcji. Po zatwierdzeniu projektu budowa mostu trwała pięć lat (2003–2008).

Most składa się z kilku zasadniczych części konstrukcyjnych: wiaduktu północnego, dwupylonowego mostu podwieszono kanału północnego, wiaduktu środkowego, jednopylonowego mostu podwieszono kanału południowego, platformy morskiej i wiaduktu południowego.

Wiadukt północny jest niskowodną konstrukcją betonowych dźwigarów o rozpiętości 30–80 m, stanowiących ciągłą belkę podpartą filarami. Całkowita długość wiaduktu wynosi 2563 m.

Żeglugę morską w północnej części zatoki umożliwia dwupylonowy most podwieszony o głównym przęśle 448 m i całkowitej długości 908 m (70 + 160 + 448 + 160 + 70 m). Pylon o wysokości 179 m i szerokości 49 m w kształcie ukośnym (diamond) podpierają dwa trzypasmowe pomosty. Skrzynkowe, stalowe dźwigary mają wysokość 3,5 m.

Wiadukt środkowy tworzy wysoka część o długości 1470 m i niska o długości 9380 m konstrukcji betonowych, skrzynkowych dźwigarów o długości 70 m każdy.

Południowa żegluga jest możliwa dzięki trzyprzęsłowemu mostowi podwieszonemu o długości 578 m (100 + 160 + 318 m). Pylon w kształcie litery A ma wysokość 194 m. Pomost jest zbudowany ze stalowych, skrzynkowych dźwigarów o wymiarach 15 x 37 x 3,5 m.

Południowy wiadukt to wysoka konstrukcja betonowych dźwigarów o całkowitej długości 1400 m, która w rejonie mulistego terenu zalewowego zatoki przechodzi w niską zabudowę na długości 19370 m.



Dwupylonowy most północny



Zjazd z mostu po stronie południowej



Platforma od strony południowej



Łuk wiaduktu południowego w pobliżu platformy



Wysoki południowy wiadukt



Platforma z wieżą obserwacyjną od strony północnej



Pylon mostu południowego

Budowa mostu ze względu na rozmiary, położenie i warunki hydrogeologiczne wymagała wielu innowacyjnych rozwiązań i nowych materiałów, często stosowanych po raz pierwszy na świecie. Obfitowała również w niespodzianki, które mogły uniemożliwić realizację projektu. Największą z nich było odkrycie w osi budowy mostu podmorskich złóż gazu naturalnego. Ich lokalizacja i ciśnienie stanowiły duże zagrożenie w trakcie palowania dużej średnicy rur (2,5 m i 2,8 m). Groziło to wybuchem lub podmyciem fundamentów mostu. Prace zostały zatrzymane do czasu rozwiązania problemu. Po konsultacjach i wielu próbach postanowiono wywiercić niewielkie otwory do kieszeni gazowych, wprowadzić tam małej średnicy rury zaopatrzone w zawory bezpieczeństwa i pod kontrolą opróżnić złoża gazu. Operacja powiodła się i budowę kontynuowano.

Do posadowienia ponad tysiąca betonowych dźwigarów konieczne było wbicie w dno zatoki blisko sześć tysięcy stalowych pali. Każdy 90-metrowej długości pal był wbijany do głębokości 80 m. Przy dużym zasoleniu wody morskiej blacha stalowa uległaby szybko korozji i most nie spełniłby podstawowego warunku, którym jest żywotność konstrukcji przy znikomej inspekcji i naprawie przez co najmniej 100 lat eksploatacji. Właściwe zabezpieczenie rur przed korozją stało się zatem jednym z licznych inżynierskich wyzwań. Dostarczane do hal prefabrykacji blachy o grubości 22 mm były zwijane w rury o średnicy 1,5 m, następnie spawane w osłonie stopu miedzi od wewnątrz, a potem z zewnątrz do długości 90 m. Po oczyszczeniu powierzchni przez piaskowanie, rury były poddawane konserwacji. Do tego celu zastosowano warstwę epoksydową, nakładaną na powierzchnię rur w procesie zwanym *fusion bond epoxy*. Równomierność i dokładność rozprowadzenia *epoxy* wymagały szczegółowej kontroli dystrybucji i grubości warstwy izolacyjnej. Tak nałożona warstwa była utwardzana przez jej suszenie w temperaturze 250 °C. Temperatura była jednym z krytycznych parametrów procesu, dlatego jej kontrola odbywała się przy użyciu czujników podczerwieni.

Most, dla utrzymania budowy w terminie, był wznoszony jednocześnie od północnej i południowej strony zatoki. Palowanie, a następnie ustawianie dźwigarów musiało odbywać się z niezwykle dużą precyzją. Ze względu na odległość między brzegami i często mgliste, deszczowe dni, niemożliwe było zastosowanie tradycyjnych metod pomiarowych. Dlatego posłużono się trzypunktowym namiarowym systemem satelitarnym firmy Trimble (*Global Positioning System*, GPS). Każdy wbity pal miał własny numer identyfikacyjny z dokładnymi współrzędnymi geograficznymi. Młot pneumatyczny o wadze 28 t, znajdujący się na pływającej platformie, był precyzyjnie ustawiany w wyznaczonym przez GPS miejscu, które odpowiadało numerom identyfikacyjnym poszczególnych pali. Wbijanie pala na głębokość 80 m trwało średnio dwie godziny.

Podobnie jak prefabrykacja, również montaż 30–80-metrowych betonowych dźwigarów prowadzono równocześnie z obu stron zatoki. Gotowe zbrojenie z prętów stalowych transportowano do wcześniej przygotowanych form odlewowych, w których były zalewane specjalną kompozycją betonu. Dokładna receptura betonu, objęta tajemnicą, została ustalona na podstawie badania wielu kombinacji różnych składników. Generalnie chodziło o to, aby beton był maksymalnie odporny na działanie wody morskiej, a więc pozbawiony porów i mikropęknięć, przez które woda mogłaby się dostać do zbrojenia, oraz zawierał składniki opóźniające korozję. Wiadomo tylko, że jednym z komponentów był specjalny rodzaj popiołu wulkanicznego. Po wyschnięciu, dźwigary o wadze 2200 t (70 m długości) z placu

prefabrykacji były przewożone i precyzyjnie ustawiane na wcześniej przygotowanych filarach. Do ich transportu z nabrzeża na miejsce montażu po stronie północnej użyto pływającego dźwigu Tian Yihao o wyporności 11 tys. t, dużej mocy silników 4800 KM i wysokości podnoszenia 53 m. Dokładność ustawienia jednostki pływającej w rwącym nurcie wody stanowiło nie lada wyzwanie dla operatorów dźwigu. Po stronie południowej, gdzie wody zatoki przy odpływie odsłaniają warstwy mułu aż do 10 km od brzegu, dźwig pływający nie mógł mieć zastosowania. Dlatego głównym środkiem transportu w tym miejscu był specjalnie skonstruowany pojazd kołowy Te1600, o 640 kołach, po 80 par kół w każdym z czterech niezależnych podzespołów pojazdu. Hydrauliczną koordynacją równomiernego obciążenia automatycznie sterował komputer. Pojazd ten z prędkością 4 km/h dowoził 1430-tonowe dźwigary po wcześniej ułożonych przęsłach na miejsce montażu. Na ostatnim ułożonym przęśle znajdowała się krocząca suwnica LGB1600, która podnosiła dźwigar z pojazdu, przesuwiała i montowała na następnych podporach. W ten sposób przewożono i montowano od dwóch do trzech dźwigarów dziennie. Ta nietypowa, transportowo-krocząca metoda budowania długiego mostu doskonale sprawdziła się w ekstremalnie trudnych warunkach geologicznych.

W pobliżu południowego mostu podwieszono wybudowano platformę o powierzchni 12 tys. m². W czasie budowy spełniała ona funkcję bazy mieszkalnej dla pracowników i podwykonawców, stacji komunikacyjnej, pomiarowej i pierwszej pomocy. Po oddaniu mostu do użytku znalazło się tam miejsce na hotel, restauracje i sklepy. Niezwykle atrakcyjna na platformie jest wysoka na 136 m wieża widokowa, której zwieńczeniem jest przeszklona kula, wyglądająca jak ogromna, barwna perła. Niefortunnie, w marcu 2010 r., część jednego budynku uległa zniszczeniu w wyniku pożaru, który miał miejsce w czasie wykonywania prac renowacyjnych.

Wang Rengui zwrócił uwagę na dwa dodatkowe aspekty: bezpieczeństwo i estetykę, które jako niezwykle ważne, zostały uwzględnione w projekcie mostu. W planie horyzontalnym i pionowym wszystkie krzywe mają kształt płynny i łagodny. Dla bezpieczeństwa i komfortu psychiczno-fizycznego kierowców nie ma długich, prostych, a zarazem monotonicznych odcinków. Kolor i wysokość barierek zmienia się kilkakrotnie na całej długości mostu. Estetyka wyraża się również w zróżnicowanym kształcie i kolorze każdej z części konstrukcji oraz doborze rodzaju oświetlenia. Głównym celem, jak podkreśla Wang, było wybudowanie wielkiego, bezpiecznego i pięknego mostu, pozostającego w pełnej harmonii z otoczeniem.

Literatura

1. Feng M.: *China's Major Bridges*. Shanghai 2009.
2. Wang R., Meng F.: *Hangzhou Bay Bridge. A 36 km Shortcut between Shanghai and Ningbo*. Shanghai 2009.
3. Ge Yao J., Xiang Hai F.: *Bluff Body Aerodynamics Application in Challenging Bridge Span Length*. Milan 2008.
4. Lu Z., Yin B.: *Crossing the Yangtze Delta. The Hangzhou Bay Bridge*. "Pittsburgh Engineer" 2007 (Summer), pp. 28–30.
5. Ge Yao J., Xiang Hai F.: *Great Demand and Great Challenge*. Weimar 2007.

ZDJĘCIA: KRZYSZTOF DĄBROWIECKI



Wiadukt północny w stronę Szanghaju



Wjazd na most dwupylonowy



Pomiędzy pylonami mostu północnego



Wiadukt środkowy

