

# Mosty Szanghaju – miasta transformacji



© BBB3 - Fotolia.com

Widok na dzielnicę Pudong



## ■ Krzysztof Dąbrowiecki

Szanghaj ma fascynującą przeszłość i intrygującą terażniejszość. Skala i tempo zmian robią ogromne wrażenie. Kontrasty kłują, a zanieczyszczenie szczypie w oczy, jednak nie odbiera to przyjemności bycia świadkiem dokonującej się rewolucji budowlano-konstrukcyjnej w tkance miejskiej tej chińskiej metropolii. Kiedyś nazwana Paryżem Wschodu, dzisiaj nie potrzebuje już takich porównań. Jest jedyna w swoim rodzaju.

Obecny Szanghaj to główny ośrodek finansowo-technologiczno-transportowy Chińskiej Republiki Ludowej. Jeden z dyplomatów dla określenia miejsca tego miasta w strukturze państwa użył trafnego porównania: „Jeśli Chiny wyobrażają dom, to Szanghaj jest jego pokojem gościnnym, a delta rzeki Jangcy jego frontową werandą, reprezentując najlepsze strony Chin”.

Od lat 90. XX wieku Szanghaj jest miejscem strategicznego eksperymentu restrukturyzacji, zmierzającej do ponownej integracji Chin z gospodarką światową. Celem tej strategii jest to, aby stał się nie tylko centrum gospodarki chińskiej, ale także centralnym miejscem handlowym Azji i Pacyfiku, a nawet całego świata. Szanghaj bezsprzecznie jest najbardziej dynamicznym, pełnym energii, nowoczesnym, 18-milionowym miastem w ponadmiliardowej chińskiej populacji. Podążając za koncepcją Deng Xiaopinga otwarcia na świat, od ponad 20 lat przeżywa nieprzerwanie okres ekonomicznego rozwoju.

Nowa dzielnica Szanghaju, Pudong, będąca jednocześnie współczesną wizytówką światowej potęgi ekonomicznej, rozwijająca się w nienotowanym nigdzie na świecie tempie (roczny wzrost 20%) konkuruje o dominację ekonomiczną z Hongkongiem, Tokio i Singapurem. Aż trudno uwierzyć, że teren, na którym znajduje się Pudong, leżący po drugiej stronie rzeki Huanpu, naprzeciwko dawnej międzynarodowej dzielnicy Bund, jeszcze 20 lat temu był terenem rolniczym. Obecnie znajduje się tam 300 z 500 najwięk-

szych firm światowych z listy Fortune. W tym roku Szanghaj jest organizatorem rozpoczynającej się w maju prestiżowej nie tylko dla miasta, ale dla całych Chin, Międzynarodowej Wystawy Expo



2010, pod znaczącym i bardzo obiecującym tytułem *Lepsze miasto – lepsze życie*. Na kilka miesięcy przed jej otwarciem teren miasta, od Bundu przez Pudong do Puxi, jest miejscem wielkiej budowy wieżowców, dróg, parków, mostów i tuneli. Po niedawnej letniej Olimpiadzie w Pekinie jest to drugie światowej rangi przedsięwzięcie organizowane przez Chiny. Nic więc dziwnego, że władze chińskie chcą pokazać Szanghaj, a tym samym kraj, jako progresywne i bezpieczne miejsce wymiany handlowej, wywierając ogromną presję na ukończenie budowy wszystkich zaplanowanych obiektów na czas i stworzenia przyjaznej atmosfery podczas nadchodzącej wystawy.

Przyśpieszony rozkwit Pudongu stał się możliwy m.in. dzięki budowie w krótkim czasie szybkiej komunikacji pomiędzy brzegami rzeki Huangpu, która przepływa przez centrum współczesnego Szanghaju. Władze Rozwoju Pudongu (Pudong Development Authority, PDA) oceniają, że dla właściwego rozwoju nowego centrum ekonomicznego koniecznych będzie 20 połączeń komunikacyjnych łączących go ze starą częścią miasta. Dotychczas wybudowano nad rzeką Huangpu siedem mostów (Nanpu, Yangpu, Xupu, Lupu, Fengpu, Songpu, Minpu) i sześć tuneli pod jej dnem.

W dziedzinie budowy mostów Chiny w ostatnich 20 latach dokonały zdumiewającego skoku techniczno-technologicznego, plasując się w czołówce niemalże wszystkich kategorii budowanych mostów: najdłuższy most wiszący (Xihoumen, 1650 m), podwieszony (Sutong, 1088 m), o stalowych łukach (Chaotianmen, 552 m, Lupu, 550 m), o betonowych łukach (Wanxian, 425 m) i o dźwigarach wykonanych ze sprężonego betonu (Shibanpo, 330 m). Godne podziwu są osiągnięcia chińskich inżynierów w budowie wysokich mostów w górzystych i trudno dostępnych terenach zachodnich prowincji Guizhou, Hubei i Chongqing. W miejscowości Yesanguanzhen w prowincji Hubei znajduje się najwyższy most wiszący na świecie – Siduhe River Bridge (2009). Jego pomost o rozpiętości głównego przęsła 900 m między betonowymi pylonami wisi 472 m ponad lustrem wody rzeki.

Pierwszą z serii przepraw mostowych w Szanghaju przez rzekę Huangpu był most Nanpu (1991, koszt 226 mln USD). Ze względu na rangę budowy (najdłuższy most w Chinach w tamtym czasie) i lokalizację (w samym centrum miasta) otwarcia uroczyste dokonał ówczesny premier kraju Li Peng. Most Nanpu połączył dzielnicę Puxi z Pudongiem. Jest to most podwieszony o całkowitej długości z dojazdami 8346 m. Charakterystyczne dwa białe

pylony w kształcie litery H mają wysokość 150 m. Ich linia profilu przebiega pionowo do pierwszego rygla, a następnie załamuje się, osiągając rygiel dolny podtrzymujący pomost, skąd ponownie załamana w przeciwną stronę niż część ponad pomostem, osiąga fundament. 180 kabli nośnych podtrzymuje sześciopasmowy pomost o szerokości 30 m i o prześle środkowym o długości 423 m (76,5 + 94,5 + 423 + 94,5 + 76,5 m). Kable nośne wykonała chińska firma SPCC (Shanghai Pujiang Cable Co., Ltd, SPCC). Choć z wielką tradycją i doświadczeniem, bo założona w 1988 r., firma SPCC szybko stała się głównym dostawcą kabli dla większości konstrukcji mostowych nie tylko na rynek krajowy, m.in. w grudniu 2009 r. firma dostarczyła kable nośne do będącej w budowie wschodniej części mostu San Francisco – Oakland Bay Bridge. O nowoczesności linii produkcyjnych SPCC może świadczyć fakt, że jest przygotowana do dostawy kabli dla mostów wiszących i podwieszonych o parametrach znacznie przekraczających zbudowane czy nawet planowane dotychczas konstrukcje, m.in. dla mostów wiszących o długości 3000 m głównego przęsła czy dla mostów podwieszonych o długości 1500 m przęsła. Konstrukcja mostu Nanpu była wzorowana na koncepcji mostu Alex Fraser wybudowanego w Kolumbii Brytyjskiej (1986) przez firmę Buckland & Taylor Ltd. Z tego powodu przedstawiciele B&T współpracowali w roli konsultantów z chińskimi projektantami przy budowie tego mostu. Pomysłowym rozwiązaniem konstrukcji, odbiegającym od oryginalnego projektu, a wynikającym głównie z ograniczonej przestrzeni miejskiej dla wjazdu na most, którego wysokość ponad wodą wynosi 46 m, jest wielośladowy drogowy ślimak (3754 m) po stronie Puxi. Most po obu stronach ma ścieżki dla pieszych, do których można się dostać windą. Ścieżki stanowią jednak jedynie rodzaj turystycznej atrakcji, pełniąc funkcję platformy widokowej do oglądania panoramy miasta i ruchliwej komunikacji rzecznej. Wjazd windą na most, co nieczęsto się zdarza, jest płatny. Z niewiadomych przyczyn most jest dostępny dla pieszych tylko do połowy jego długości. Zapewne niepełna dostępność mostu jest przyczyną znikomego ruchu pieszych. Wyjątkowa i dogodna lokalizacja przeprawy w systemie komunikacyjnym miasta sprawiła, że osiągnął on w krótkim czasie maksymalną przepustowość 120 tys. pojazdów dziennie.

W dwa lata po ukończeniu mostu Nanpu, w dolnym biegu rzeki, w odległości 11 km od Nanpu, oddano do ruchu most Yangpu (1993). Podobnie jak Nanpu, jest on również mostem podwie-



Most Lupu nagrodzony przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Inżynierów Mostów i Konstrukcji (IABSE)



Model terenu Expo 2010



Model mostu Lupu



Most Nanpu od strony ślimaka



Most Nanpu – zjazd z mostu na ślimak kołowy

szonym, choć w fazie wstępnej projektu rozpatrywano most wiszący. Jednak miękkie i niestabilne podłoże brzegów rzeki dla postawienia fundamentów kotwiących kable nośne zdecydowało o wyborze koncepcji mostu podwieszono. Całkowita długość konstrukcji wraz z dojazdami wynosi 8354 m, główne przęsło ma 602 m (99 + 144 + 602 + 144 + 99 m). Dwa pylony w kolorze czerwonym w kształcie odwróconej litery Y mają wysokość 223 m. Wachlarzowa konstrukcja 256 kabli podtrzymuje 30-metrowej szerokości sześciopasmowy ustrój przęsła. Ze względu na wysokość mostu (48 m ponad wodą) konstrukcja po obu stronach ma długie, wielokilometrowe wiadukty betonowe. Most został całkowicie zaprojektowany przez Szanghajski Instytut Inżynierijno-Projektowy. Konstrukcję wykonała chińska firma inżyniersko-mostowa Huangpujiang. W 1999 r., w kilka lat po oddaniu mostu do eksploatacji, Shanghai Huang-Pu River Tunnel and Bridges Development Co, firma prowadząca nadzór eksploatacyjny wspólnie z niemiecką firmą Leica, przeprowadziła pomiary ugięcia 620-metrowego przęsła w celu sprawdzenia stabilności konstrukcji. Wykorzystując bardzo precyzyjne urządzenia pomiarowe Leica TCA2003 i rozmieszczając w równych odstępach wzdłuż mostu 22 punkty testowe, przeprowadzono pomiary odkształcania konstrukcji. Na ich podstawie stwierdzono, że przęsło w czasie dnia, poddane pełnemu nasłonecznieniu, podnosi się do góry o 10 cm i wydłuża o 6 cm. Dane te, zweryfikowane i potwierdzone przez inne obliczenia, uznano za wiarygodne, wprowadzając w życie ciągle monitorowanie jednego z najbardziej ruchliwych mostów miasta.

Most Xupu (1996) jest trzecim z kolei mostem podwieszonym wybudowanym w latach 90. ubiegłego stulecia w Szanghaju. Stał się ważną częścią Szanghajskiej Obwodnicy Zewnętrznej. Na podstawie doświadczeń nabytych podczas budowy mostów Nanpu i Yangpu inżynierowie z Szanghajskiego Instytutu Inżynierijno-Projektowego zaprojektowali most Xupu tą samą metodą. Całkowita długość mostu wynosi 4020 m przy wymiarach przęseł  $2 \times 40 + 3 \times 39 + 45 + 590 + 45 + 3 \times 39 + 2 \times 40$  m. Pylony w kształcie litery A mają wysokość 217 m. Pomost o szerokości 35 m zaprojektowany dla ośmiu pasów ruchu i zawieszony 46 m ponad poziomem wody jest podtrzymywany 240 kablami. Kable wykonała i dostarczyła koreańska firma Kiswire.

Most Lupu (2003) zwrócił szczególną uwagę Międzynarodowego Stowarzyszenia Inżynierów Mostów i Konstrukcji (IABSE), które przyznało projektantom i wykonawcom tego obiektu w 2008 r. nagrodę za rekordową rozpiętość łukowo-skrzynkowej konstrukcji, imponującą czystość linii projektowej i innowacyjność podparcia głównego przęsła. Most Lupu jest przykładem pięknego inżynierskiego osiągnięcia. Przemysłany kształt i estetyka formy nadają całości lekkość.

Most ten znajduje się w rejonie wystawy Expo 2010 i zdecydowanie wpłynie na poprawę płynności komunikacji podczas trwania ekspozycji. Jest jednym z najdłuższych mostów łukowych na świecie i podobnie jak pozostałe mosty nad rzeką Huangpu został zaprojektowany przez Szanghajskie Biuro Inżynierijno-Projektowe. Budowa miała pięć zasadniczych faz realizacji: budowę fundamentów, dojazdów do mostu, bocznych przęseł, łuków i dźwigarów pomostu. Ze względu na miękki grunt brzegów rzeki i znaczne obciążenie wynikające z sił pionowych fundamenty łuków zostały oparte na 118 palach. Każdy stalowy pał o średnicy 0,9 m miał długość 65 m. Dla przeciwdziałania siłom poziomym zostały użyte dodatkowo pale betonowe o średnicy 0,7 m. Połączone między sobą zwiększyły integralność podparcia i wzmocniły fundament tymczasowych pylonów, które wykorzystano do instalacji łuków przęsła głównego. Zastosowanie tych samych fundamentów

dla przęsła głównego i tymczasowych pylonów montażowych zredukowało koszty związane z dodatkowym podparciem. Część dojazdowa mostu to betonowe wiadukty podparte w nieregularnych odstępach dla zminimalizowania zakłócenia ruchu w mieście i okolicy podczas budowy. Dźwigary prefabrykowane poza terenem budowy były transportowane na miejsce montażu i ustawiane na wcześniej przygotowanych podporach. Ich wielkość umożliwiała dogodny transport przez ruchliwe ulice miasta. Wiadukty dojazdowe były budowane równocześnie z łukami, skracając czas budowy do trzech lat.

Do budowy łukowego przęsła o rozpiętości 550 m zastosowano metodę podwieszano-wspornikową. W tym celu wybudowano wspomniane tymczasowe pylony, do których były podczepiane kable podtrzymujące montowane, dostarczane barkami z placu prefabrykacji, elementy łuków. Podnoszenie sekcji łuków i ich montaż odbywał się przy pomocy wind-podnośników zainstalowanych na przesuwanych wysięgnikach na końcach wcześniej połączonych sekcji mostu. Elementy łuków o długości 13,5 m były łączone przez ich spawanie. Dla poprawy jakości i bezpieczeństwa spawania można było zwiększyć rozmiary łączonych elementów łuku, ale wtedy ich podnoszenie wskutek znacznego zwiększenia ciężaru byłoby kosztowniejsze. Spawanie mostu, którego podjęła się firma Shanghai Welding Equipment Company (SWEC), znacznie poprawiło smukłość i estetykę konstrukcji. Po ukończeniu łuków zamontowano poziome kable ściągające końce łuków, a następnie dźwigary pomostu, stosując tradycyjną metodę montażu jak dla mostów wiszących, podczepiając je do 56 podwójnych kabli wieszakowych. Instalacja 13,5-metrowych sekcji dźwigarów była prowadzona od środka dwóch łuków równocześnie na obie strony dla zrównoważenia obciążenia konstrukcji. Łuki odchylone są pod kątem 5 stopni w kierunku osi symetrii. Krótko po ukończeniu budowy most przeszedł test obciążenia, który wykazał ugięcie 116 mm przy obciążeniu 1000 t, co mieściło się w granicach dopuszczalnych odkształceń konstrukcji.

Warto też zwrócić uwagę na dopiero co oddany do użytku most Minpu (2009), łączący centrum miasta z międzynarodowym lotniskiem Pudong. Jest to most podwieszony, dwupoziomowy o długości 1212 m (708 m przęsła główne). Całkowita długość wraz z dojazdami wynosi 3610 m. Pomost górny o szerokości 43,8 m ma osiem pasów szybkiego ruchu, dolny, o szerokości 28 m, sześć pasów. Pylony w kształcie litery H liczą 214,5 m wysokości. 176 kabli dostarczyła wspomniana firma SPCC. Unikatowość i wyjątkowość tej konstrukcji polega na tym, że główne dźwigary skrzynkowe zostały przystosowane do podwójnej warstwy kratownic mostu podwieszanego. Elementy mostu w całości są spawane. Kluczowym problemem była stabilność obiektu pod działaniem silnego wiatru. Tunelowe badania modelowe i porównania z innymi tego typu konstrukcjami kratownic wykazały dobre właściwości aerodynamiczne mostu.

Przedstawiony, telegraficzny przegląd potencjału rozwojowego Szanghaju w dziedzinie budowy mostów pozwala przewidywać, że miasto nie powiedziało jeszcze ostatniego słowa w tym segmencie boomu technologicznego.

#### Literatura

1. Juhani Virola: *World's Longest Bridge Spans*.
2. Ellis L.: *Critical Analysis of the Lupu Bridge in Shanghai*.
3. Airong Chen, Rujin Ma, Zhiyong Zhou: *Wind tunnel study of a double-layer deck cable-stayed bridge*.
4. Leica Geosystem: *Monitoring Shanghai's busiest bridge*.

ZDJĘCIA: BOGUMIŁA DĄBROWIECKA, KRZYSZTOF DĄBROWIECKI



Widok z mostu Nanpu na ślimak kołowy



Most Yangpu od strony Pudongu



Most Yangpu – wjazd na most



Pylony mostu Yangpu