



Zakończony montaż łuków i rygli mostu, fot. J. Stillings

Most nad zaporą Hoovera

■ Krzysztof Dąbrowiecki



Zapora Hoovera na rzece Kolorado znajduje się w odległości 50 km od Las Vegas, przy trasie prowadzącej do Wielkiego Kanionu. Dla milionów turystów odwiedzających stolicę światowego hazardu stała się lokalną atrakcją turystyczną w drodze do jednego z siedmiu cudów natury.

Wybudowana w latach 30. ubiegłego wieku (1931–1936) była w czasach kryzysu ekonomicznego znaczącym projektem budowlanym, sponsorowanym przez rząd federalny USA. Ze względu na kolosalne rozmiary zaistniała w świadomości amerykańskiej jako symbol nowoczesnej myśli inżynierskiej, podobnie jak jej rówieśnik – most Golden Gate w San Francisco. Obie budowle są czymś więcej niż tylko ikonami inżynierii amerykańskiej tamtego okresu. Stały się pomnikami czasów, które zmieniły krajobraz Stanów tak fizycznie, jak i społecznie. Dzięki dogodnemu połączeniu brzegów zatoki i rzeki, możliwości gromadzenia wody pitnej oraz generowania energii elektrycznej przyczyniły się do napływu ludzi na niezasiedlone tereny, powstania nowych miast i osiedli.

Zapora, projekt architektoniczny Gordona Kaufmana, do dziś fascynuje wielkością i masą betonu, przegradzając wąski Black Canyon. Zadziwia uderzającym kontrastem pomiędzy łagodnym, płynnym kształtem i jasnym kolorem łuku konstrukcji w stylu art déco a rdzawymi, surowymi i postrzębionymi skałami stromych zboczy wąwozu.

Budowla, od czasu wybudowania 75 lat temu, spełnia kilka istotnych dla kraju funkcji. Produkuje energię elektryczną dla sąsiadujących stanów Nevady, Arizony i Kalifornii, wykorzystu-

jąc 17 turbin o całkowitej mocy 2,08 GW. Dostarcza wodę pitną dla dużych aglomeracji miejskich, takich jak Las Vegas i Los Angeles, jak również wodę do nawadniania terenów rolniczych. Jest znaną atrakcją turystyczną dla milionów turystów. Do końca 2010 r. była także mostem transportu drogowego w sieci krajowych autostrad północ – południe (US 93).

Po latach studiów i licznych analiz agencje rządowe CFL (Central Federal Lands) i FHA (Federal Highway Administration), stawiając sobie za cel poprawę w tym rejonie rosnącego ruchu drogowego, a przede wszystkim bezpieczeństwa znaczącego obiektu jakim jest zapora, podjęły decyzję o konieczności budowy nowej przeprawy mostowej, omijającej tamę. Projekt roboczo nazwano obwodnicą zapory Hoovera (Hoover Dam Bypass Corridor).

Podstawowym warunkiem, który musiała spełniać przyszła budowla, była zasada jedności estetyki z efektywnym rozwiązaniem inżynierskim, mająca na celu dorównanie architektonicznej świetności zapory Hoovera, powszechnie uznawanej za jedno z największych osiągnięć budownictwa lądowego XX w. Dlatego CFL, biorąc pod uwagę wyjątkowość miejsca przyszłej konstrukcji mostu, powołał do życia grupy doradcze DAP (Design Advisory Panel) i SMG (Structural Management Group).



Montaż pomostu, fot. J. Stillings

Zadaniem zespołów było ustalenie jasnych kryteriów projektu, udzielanie pomocy w fazie projektowania i kwalifikacja rozwiązań przyszłej przeprawy.

We wstępnej fazie projektowania biura konstrukcyjne przedstawiły pięć konstytutywnych koncepcji mostów: kratowniowego, wspornikowego o dźwigarze skrzynkowym, podwieszono-wiszącego i łukowego. W zależności od rodzaju mostu lokalizacja obwodnicy w stosunku do zapory była różna. Po analizie do dalszego szczegółowego rozpracowania przyjęto wersję mostu łukowego, po stronie południowej. Projekt obwodnicy składa się z mostu, nowo wytyczonych tras dojazdowych po obu stronach kanionu, estakad i parkingu. Łączna długość objazdu wynosi 5,6 km. Kierując się zasadą „forma podąża za funkcją”, zaprojektowano na trasach dojazdowych rozwiązania tworzące z otaczającym pustynnym środowiskiem spójny i skoordynowany charakter. Zbocza, mury oporowe i konstrukcje niedaleko

zapory Hoovera otrzymały inżyniersko zaprojektowaną formę, podczas gdy dojazdy bardziej naturalny wygląd.

W przyjętym wariantie opracowano sześć wersji konstrukcyjnych mostu łukowego. Zespoły DAP i SMG, kierując się kryteriami techniczno-architektonicznymi, wyselekcjonowały rodzaj betonowo-stalowej budowli, żelbetowy łuk i podpory podtrzymujące stalowe dźwigary pomostu. Trzy biura projektowe: HDR Engineering, T.Y. Lin i Jacobs Engineering, otrzymały zamówienie na wykonanie dokumentacji projektowej i wykonawczej. Most zlokalizowano w niewielkiej odległości od zapory (500 m).

Żelbetowe mosty łukowe mają długą historię, ale ze względu na niską wytrzymałość betonu na rozciąganie, dużą odporność na ściskanie i znaczny ciężar własny, ich użycie było i jest ograniczone do stosunkowo krótkich łuków. W mostach łukowych paraboliczny łuk przenosi jednolite obciążenie przez czyste



Prace przy zamykaniu łuków mostu, fot. J. Stillings



Wznoszenie łuków od strony stanu Arizona, fot. J. Stillings



Most i zapora, fot. J. Stillings

ściskanie osiowe, które powstaje tylko wtedy, gdy przyczółki stanowiące podparcie fundamentów konstrukcji są wystarczająco wytrzymałe. Zapobiegają one ruchom pionowym i przesunięciom poziomym, powstającym od ciężaru własnego mostu (obciążenie stałe) i ruchu drogowego, śniegu i wiatru (obciążenie ruchome zmienne). Dlatego budowanie mostów o długich łukach, w których pomost znajduje się ponad łukiem, jest możliwe tylko na mocnym, skalistym podłożu. Strome skaliste kaniony w takiej sytuacji są najlepszą lokalizacją.

Konstrukcja mostu nad Black Canyon, o całkowitej długości 579 m, złożona jest z pomostu i dwóch równoległych do siebie, parabolicznych, żelbetonowych łuków, spiętych ośmioma stalowymi konstrukcjami rygli. Fundamenty obu łuków wtopione są w maszyną podstawę profilowanych, betonowych, wysokich na 90 m kolumn głównych, zakotwionych w ścianach kanionu. Na łukach, o przekroju 6 m x 4,2 m i grubości ścianek 0,35 m, w regularnych odstępach ustawionych jest osiem par różnej wysokości betonowych słupów, stanowiących podparcie dźwigarów pomostu szerokiego na 26 m. Rozpiętość łuku pomiędzy kolumnami głównymi mostu wynosi 320 m, co zalicza tę konstrukcję do jednej z najdłuższych tego rodzaju na świecie. Wybór żelbetonu zamiast stali do konstrukcji łuków i kolumn podpierających podyktowany został względami ekonomicznymi. Zdecydował tańszy materiał i tania w przyszłości eksploatacja obiektu. Stal do konstrukcji łuków została wykorzystana do wcześniejszych przepraw mostowych przez rzekę Kolorado, kratownicowych mostów łukowych zapory Glen (1958) i mostów Navajo (1929, 1994).

Wznoszenie mostu nad zaporą Hoovera w trudnych terenowych i pustynnych warunkach klimatycznych stanowiło dla budowniczych niemałe techniczne wyzwanie. Latem temperatura powietrza w kanionie przekraczała 40 °C, stąd powsta-

wały trudności z dostarczaniem betonu na miejsce wylewania fundamentów, jak również z zalewaniem nim form konstrukcyjnych. Jedną z metod dostosowania betonu do wymaganych warunków termicznych było schładzanie go ciekłym azotem. Do budowy łuków mogły być zastosowane z praktycznego punktu widzenia dwie metody, wspornikowo-podwieszona, przy użyciu tymczasowych pylonów i podczepianych do lin dostawianych segmentów, lub wspornikowo-kratownicowa. Ze względu na możliwość lepszej kontroli i korekty geometrii łuków, przy każdej kolejnej dodawanej części oraz większą elastyczność przy zamknięciu łuku, bez wpływu na umiejscowienie podpór i pomostu, zdecydowano się na wybór pierwszej z nich. Dla zwiększenia ekonomiczności i skuteczności montażu mostu, nad kanionem na czas budowy rozciągnięto transportowe kolejki linowe kursujące pomiędzy brzegami wąwozu. Przy ich pomocy na platformach przewożono ludzi, materiały i dostar-



Tablica pamiątkowa z nadaną nazwą mostu, fot. K. Dąbrowiecki



Widok zapory Hoovera z nowego mostu, fot. K. Dąbrowiecki

czano na miejsca montażu sprefabrykowane wcześniej części konstrukcji mostu.

Obwodnicę zapory Hoovera, o wartości 240 mln USD, po ośmiu latach budowy oddano do użytku w październiku 2010 r. Mostowi oficjalnie nadano nazwę Mike O'Callaghan – Pat Tillman Memorial Bridge. Uczczono w ten sposób dwie osoby: Mike'a O'Callaghama (1924–2004), weterana wojny koreańskiej, byłego gubernatora stanu Arizona i lokalnego polityka, oraz Pata Tillmana (1976–2004), byłego zawodnika NFL (National Football League), który w 2004 r. zginął w Afganistanie.

Przy okazji otwarcia mostu nad zaporą Hoovera warto wspomnieć, że w Europie prekursorem, innowatorem i pionierem metody budowy mostów z wykorzystaniem zbrojonego betonu był Robert Maillart (1872–1940). Był on autorem wielu unikatowych, doskonale wpisujących się w naturalne środowisko

Alp przepraw mostowych. Przykładem wyjątkowej harmonii budowli z otoczeniem mogą być mosty: Zuoz (1901), Salginatobel (1930), Tavanasa (1928) czy Schwandbach (1930). To w dużej mierze dzięki jego pracom (wybudował 47 mostów i wiele, jak na tamte czasy, osobliwych budynków) współczesny mu ruch propagujący twórczość artystyczną uznał inżynieria za rodzaj sztuki.

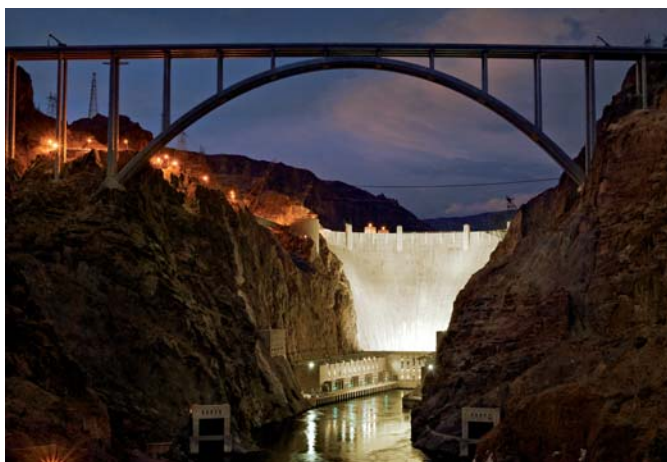
W USA w latach 30. XIX w. Charles Purcell (1883–1951) wybudował serię betonowych mostów łukowych na drodze pomiędzy Monterey i San Simeon w Kalifornii, z których najbardziej znane są Bixby Creek (1932), Rocky Creek (1932) i Big Creek (1937). Ze względu na wyjątkową lokalizację, prostotę i harmonię z naturalnym środowiskiem nadbrzeżnych kanioniów i oceanu stały się malowniczą wizytówką kalifornijskiego wybrzeża.

Przytoczone przykłady mostów Maillarta i Purcella nie dorównują jednak wielkością imponującej konstrukcji nad zaporą Hoovera.

Literatura

1. Goodyear D., Klamerus B., Turton R.: *New Colorado River Arch Bridge at the Hoover Dam*. "Pittsburg Engineers" 2005, p. 12.
2. Billington D.P.: *The Tower and the Bridge. The New Art of Structural Engineering*. Princeton 1985.
3. Kurrer K. E.: *The History of the Theory of Structures. From Arch Analysis to Computational Mechanics*. Berlin 2008.
4. Materiały Hoover Dam Bypass Project, Arizona and Nevada Departments of Transportation.

ZDJĘCIA: JAMEY STILLINGS, KRZYSZTOF DĄBROWIECKI
WWW.BRIDGEATHOOVERDAM.COM



Most na tle zapory, fot. J. Stillings