

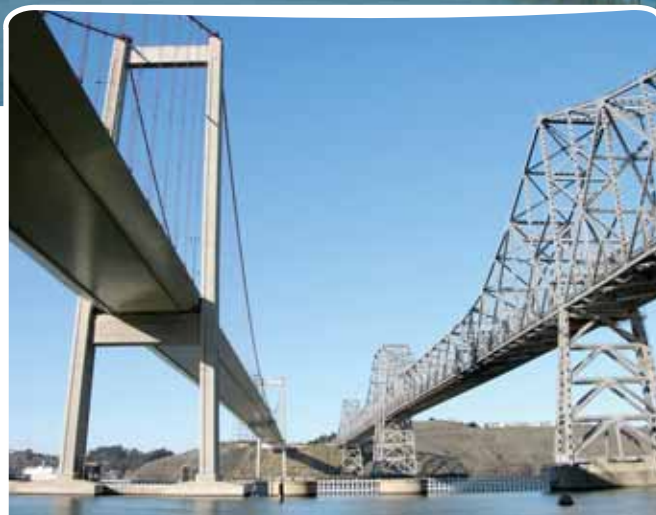
Mosty w Ameryce

Wiszący most Carquinez

Krzysztof Dąbrowiecki



Widok mostów Carquinez od strony południowej, fot. K. Dąbrowiecki



Mosty Carquinez z 1958 i 2003, fot. K. Dąbrowiecki

Oddany do użytku pod koniec 2003 r. wiszący most Carquinez, stanowiący część transkontynentalnej autostrady I-80 łączącej San Francisco z Nowym Jorkiem, jest pierwszym tego typu mostem zbudowanym w rejonie zatoki San Francisco od postawienia Golden Gate w 1937 r. Jest jednocześnie pierwszym mostem wiszącym w Stanach Zjednoczonych o przęśle powyżej 700 m od czasu budowy Verrazano Narrows (1964). O niezwykłości i innowacyjności tego rozwiązania świadczy fakt, że ta nowa konstrukcja z aerodynamicznym w kształcie pomostem oparta jest na dwóch betonowych pylonach i spełnia wymagania Kalifornijskiego Departamentu Transportu (Caltrans) dla mostów w rejonach sejsmicznych.

W latach 90. Caltrans, biorąc pod uwagę potencjalnie wysokie ryzyko zagrożenia sejsmicznego w tym rejonie, zlecił ewaluację istniejących wspornikowych mostów Carquinez wybudowanych w 1927 i 1958 r. Na podstawie wyników badań przyjęto, że ze względu na postępujący proces zmęczenia i korozji kratownic starszego mostu i nieprzystosowanie do wyższych standardów sejsmicznych oraz brak pobocza na moście, koszty modernizacji będą tak wysokie, iż korzystniejsze jest opracowanie nowego wariantu mostu. Wytypowano zespół trzech firm – De Leuw, Cather & Co. z San Francisco, Steinman Boynton Gronquist & Birdsall z Nowego Jorku i OPAC Consulting Engineers z San Francisco – do opracowania właściwie dwóch typów mostów: trójpylonowego, wantowego mostu podwieszono oraz mostu wiszącego opartego na dwóch pylonach. Ostatecznie, kierując się istotnymi przesłankami, takimi jak bezpieczniejsze funkcjonowanie w tamtejszych warunkach sejsmicznych (bliskie uskoki San Andres, Hayward i Franklin), krótszy termin budowy, mniejsze ryzyko kolizji statków z fundamentami pylonów oraz lepsza estetyka, wybrano projekt mostu wiszącego. Trzeci z kolei most przecinający cieśninę Carquinez (oficjalnie nadano mu nazwę Alfred Zampa Memorial) zastąpił konstrukcję Dawida Steinmana i Charlesa Derletha z 1927 r., która w kilka lat po oddaniu do ruchu nowego mostu wiszącego została całkowicie rozebrana.

Wiszący most Carquinez ma 1056 m długości, mierzonej pomiędzy filarem południowym a północnym zakotwieniem.



Mosty od strony północnej, fot. K. Dąbrowiecki

Przy szerokości 27 m pomiędzy głównymi kablami nośnymi, ma cztery pasy ruchu, pobocza po obu stronach oraz ścieżkę dla pieszych i rowerzystów. Rozpiętość pomiędzy pylonami, których wysokości wynoszą odpowiednio 123,4 i 128,4 m, osiąga 728 m. Przeszło po stronie północnej ma 182 m długości, po południowej 147 m. Każdy z betonowych pylonów stoi na betonowej platformie o wymiarach 18 x 22 x 6 m, podpartej sześcioma trzmetrowej średnicy słupami. Słupy platformy zabetonowane są w wywierconych w podwodnych skałach otworach na głębokość 43 m. Do montażu podpór zastosowano metodę podwodnego wiercenia dużej średnicy otworów z wykorzystaniem polimerowego utwardzacza gruntu i rur osłonowych.

Portalowe pylony, zbliżone kształtem do litery A, zostały wykonane ze zbrojonego betonu. Każdy z pylonów, o wymiarach u podstawy maksymalnie 4,7 x 5,5 m, jest zbudowany z czterech betonowych narożnych kolumn o średnicy 1,0 m, spiętych ze sobą betonowymi ścianami o grubości 0,5 m. Pylony połączone są dwoma betonowymi ryglami. Na szczycie każdego z pylonów posadowiono dwa siedziska, stalowe odlewy dla dwóch głównych kabli nośnych. Zdaniem projektantów, komorowe rozwiązanie wykazuje najlepsze właściwości w warunkach oddziaływań sejsmicznych, spełniając również wysokie wymagania estetyczne.

Główny kabel nośny o 37 splotach i 8584 drutach, ma średnicę 0,512 m. Zastosowany cynkowany drut ze stali węglowej



Zamocowanie kabla do pomostu w najniższym punkcie, fot. K. Dąbrowiecki

o średnicy 4,11 mm wytrzymuje rozciąganie 1570 N/mm² przy roboczym obciążeniu 690 N/mm². Kable nośne są ściśnięte i owinięte 2,90 mm cynkowanym drutem stalowym zabezpieczonym poliuretanową, wodoodporną pastą i akrylowo-polimerową farbą.

Pomost mostu złożony jest z 24 zamkniętych, stalowych, profilowanych po obu stronach paneli skrzynkowych o szerokości 29 m i wysokości 3 m. Błachy pomostu mają grubość



Ścieżka dla pieszych i rowerów, fot. K. Dąbrowiecki



Filar tranzytowy, fot. K. Dąbrowiecki



Rodzaj zamocowania wieszaków i barierek linowych, fot. K. Dąbrowiecki



Barierka mostu, fot. K. Dąbrowiecki



Górny rygiel pylonu, fot. K. Dąbrowiecki



Zakotwienie północne, fot. K. Dąbrowiecki

16 mm. Pomost, a także podpierający go dolny rygiel pylonów, pochylone są o 2% w kierunku zachodnim w celu zmiany kąta natarcia wiatru. Wyprofilowane, opływowe krawędzie pomostu znacznie poprawiają stabilność konstrukcji będącej pod działaniem wiatru i eliminują występowanie zjawisk galopowania czy falowania pomostu.

W badaniach modelowych zachowania się konstrukcji pod wpływem ruchu powietrza wykorzystano tunel aerodynamiczny, stopniując poziom jego przepływu do 70 m/s. Testy modelowe konstrukcji mostu wiszącego, stojącego w sąsiedztwie dwóch wspornikowych mostów, pozwoliły na określenie dynamicznych właściwości przepawy dla przewidywanych warunków silnego wiatru, w czasie jednej godziny przy sile 170 km/h i w czasie 10 minut przy średniej prędkości 252 km/h.

Elementy pomostu zostały sprefabrykowane i wykonane w Japonii w firmie Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI), a następnie przetransportowane na statku przez Pacyfik do miejsca montażu. Proces składania mostu był tak skoordynowany, że dostarczone sekcje pomostu były podwieszane do wieszaków linowych prosto ze statku, a następnie łączone poprzez ich spawanie.

Autorzy projektu z wielką starannością przeprowadzili obliczenia i badania całego modelu oraz posadowienia mostu. Obiekt został zaprojektowany dla dwóch poziomów wymagań sejsmicznych, Bezpiecznej Oceny Trzęsienia (*Safety Evaluation Earthquake* – SEE) i Funkcjonalnej Oceny Trzęsienia (*Functional Evaluation Earthquake* – FEE). Zgodnie z SEE, wszelkie uszkodzenia mostu muszą być łatwo naprawione bez ograniczania ruchu. Zgodnie z FEE, szkody nie wymagają naprawy. Most ma wytrzymać trzęsienie ziemi o sile 7,1 stopnia w skali Richtera. Kryteria wykonawcze zostały określone poprzez zminimalizowanie poziomów odkształ-



Ogranicznik pomostu, fot. K. Dąbrowiecki



Wejście na most od strony południowej, fot. K. Dąbrowiecki



Zakotwienie po stronie południowej, fot. K. Dąbrowiecki



Ruchome rusztowanie do konserwacji pomostu, fot. K. Dąbrowiecki

ceń w betonie, zbrojeniu i elementach stalowych. W badaniach sejsmicznych, wykorzystując metodę elementów skończonych, poddano komputerowy model mostu działaniu nieharmonicznych fal powstających podczas trzęsienia ziemi, zweryfikowano wydłużenia i naprężenia stalowych i betonowych elementów. Przeanalizowano i porównano ruch sejsmiczny okolicznych uskoków San Andreas, Hayward oraz Franklin i stwierdzono, że uskok Franklin jest najbardziej niebezpieczny dla mostu i dlatego do obliczeń przyjęto jego parametry. Na podstawie badań skał w warunkach naturalnych przeprowadzono komputerową symulację zachowania się mostu podczas trzęsienia ziemi w programie Adina. W analizie uwzględniono części konstrukcji i ich połączenia, np. pomostu, kolumn i fundamentów pylonów. Ich analiza dała obraz reakcji mostu i wpłynęła na udoskonalenie projektu.

Projekt mostu Cartiquinez przyczynił się do ustanowienia nowych standardów bezpieczeństwa sejsmicznego w projektowaniu nowoczesnych mostów wiszących w Stanach Zjednoczonych. Niektóre z jego elementów dotyczą kryteriów dopuszczalnego obciążenia mostów wiszących o długich przęsłach, dopuszczalnych naprężeń w drutach kabla nośnego, połączeń spawanych czy zastosowania analizy elementów skończonych w obliczaniu naprężeń płyt, kolumn i pylonów.

Budowa mostu trwała trzy lata i kosztowała 200 mln dolarów.

Literatura

1. Mathur R., Orsolini G., Ketchum M.A., Spoth T.: *Making Earthquakes Tremble*. "Roads & Bridges" 2002, vol. 40, no 5.
2. Materiały informacyjne California Department of Transportation.
3. Materiały informacyjne OPAC Consulting Engineers.



Połączenie mostu wiszącego z wiaduktem, fot. K. Dąbrowiecki



Przejazd przez most, fot. K. Dąbrowiecki