



Most Golden Gate, fot. K. Dąbrowecki

Dwustuletnia historia rozwoju nowoczesnych mostów wiszących, cz. 1. **Wiek XIX**

tekst: KRZYSZTOF DĄBROWIECKI

Któż nie słyszał o mostach Golden Gate (1937) w San Francisco czy Brooklyn (1883) w Nowym Jorku? O tych wyjątkowych ikonach inżynierii, samorzutnie kojarzonych ze swoimi miastami, wielokrotnie opisywanych w książkach, uwiecznianych w filmach oraz na obrazach reprodukowanych w niezliczonych reklamach na całym globie? Obie konstrukcje jako znakomite projekty bijące rekordy długości na trwałe weszły do historii nie tylko budownictwa mostowego, ale stały się także częścią dziedzictwa światowej kultury, fascynując pokolenia pisarzy, malarzy, fotografów oraz miliony turystów.

Mosty wiszące to szczególny typ wśród czterech głównych kategorii konstrukcji mostowych. Pozostałe trzy to mosty belkowe, łukowe i podwieszane. Badając historię rozwoju mostów wiszących, trudno jest przyjąć konkretną datę ich pojawienia się. Jak każda koncepcja inżynierska, podlegała zmianom i udoskonaleniom z upływem czasu. Ta ewolucja związana była z rozwojem wiedzy inżynierskiej, technologii materiałowej, metod budowlanych, narzędzi i modeli obliczeniowych. Jako początek ery współczesnych konstrukcji wiszących przyjmuję datę wydania w Stanach Zjednoczonych w 1810 r. dla Jamesa Finleya patentu, w którym opisane zostały główne cechy mostu wiszącego.

Zaczął się w Anglii

Główna zasada działania tej nieskomplikowanej w gruncie rzeczy konstrukcji jest łatwa do zrozumienia. Problemy jednak narastają wraz ze wzrostem długości przęseł, zmianą przenoszonego obciążenia, oddziaływania warunków atmosferycznych i geologicznych. Śledząc rozwój tych konstrukcji w ciągu ostatnich 200 lat, można zauważyć, jak wiele z nich na początku ulegało zniszczeniu. Mimo to po wprowadzeniu kolejnych udoskonalień w projektowaniu i technikach budowlanych ponownie były wznoszone.

W San Francisco w pobliżu centrum informacyjnego mostu Golden Gate znajduje się model mostu w skali 1:500, który w wyśmienity sposób obrazuje zachowanie się mostu wiszącego poddanego działaniu wiatru lub trzęsieniu ziemi. Inżynieria projektowania mostów ma dziś do dyspozycji nie tylko tunele aerodynamiczne, w których testowane są modele zarówno całych mostów, jak i wybranych krytycznych elementów, ale potężny aparat symulacyjny programów komputerowych bazujących na metodzie elementów skończonych (MES). Umożliwiają one wnikliwą analizę konstrukcji przed jej wybudowaniem, a dobierając odpowiednie parametry konstrukcyjne – na optymalizację planowanego rozwiązania.

Kraje zachodnie zainteresowały się mostami wiszącymi po wprowadzeniu do użytku kutego żelaza. W Anglii łańcuchy z kutego żelaza zastosowano po raz pierwszy na dużą skalę do produkcji łańcuchów kotwicznych dla statków, a wkrótce w budowie mostów wiszących. Prawdopodobnie pierwszy most łańcuchowy w Anglii został zbudowany w Middleton-in-Teesdale w 1741 r. Był dość prymitywny w konstrukcji, właściwie była to pieszka kładka o szerokości 0,6 m, znana również jako Wynch Bridge, która zawaliła się w 1802 r. Bardziej ambitny konstrukcyjnie most został zbudowany w Tweed w 1820 r. przez kapitana marynarki wojennej Samuela Browna. W tym przypadku po raz pierwszy zostały wykorzystane pręty oczkowe. Most, znany jako Union Bridge, miał całkowitą rozpiętość 133,5 m i szerokość 3,6 m. Został zniszczony podczas burzy po sześciu miesiącach od jego ukończenia. Mniej znany, ale wcześniej wybudowany most łańcuchowy zaprojektowany przez Johna Renniego i Adama Smitha przez rzekę Humber w Hookstown miał rozpiętość 39 m i kamienne pylony. Został on zbudowany w 1807 r., jednak ostateczny jego los jest niezany.

Patent Finleya

W Stanach Zjednoczonych zasługę budowy pierwszego żelaznego mostu wiszącego przypisuje się Jamesowi Finleyowi (1762–1828). Ten irlandzki emigrant, będący sędzią w Fayette



Model mostu Golden Gate, fot. K. Dąbrowecki

w stanie Pensylwania, w 1801 r. zbudował pierwszy most łańcuchowy przez Jacob's Creek. W 1810 r. otrzymał patent na konstrukcję mostów wiszących. W liście do amerykańskiego urzędu patentowego tak opisał konstrukcję, która zapoczątkowała erę nowoczesnych, metalowych mostów wiszących: „W 1801 r. wybudowałem pierwszy most takiej konstrukcji nad Jacob's Creek zgodnie z kontraktem pomiędzy Fayette i Westmoreland (...) o przęśle 21 m długim, 3,8 m szerokim, z gwarancją na 50 lat (...). Jestem ciekaw, czy istnieje inna metoda, która konstrukcyjnie jest tak lekka, wytrzymała, długotrwała, łatwa w budowie, w naprawie i wymianie części”. Wniosek patentowy zawierał listę pięciu charakterystycznych cech wynalazku: zakotwienie łańcuchów i pylony, oddzielenie łańcuchów nośnych od ustroju nośnego, jednakowe kąty łańcuchów z obu stron pylona, pręty wieszakowe podczipione do łańcuchów i połączenie ustroju nośnego wieszakami prętowymi. Do 1810 r. w Ameryce wybudowano ok. 40 podobnych konstrukcji. Wzniesione przeprawy mostowe były ogromnym sukcesem Finleya, gdyż umożliwiały łatwą, tanią komunikację i wygodny transport między brzegami rzek czy stronami przełęcz. Jednak entuzjazm wywołany tym wynalazkiem nie trwał zbyt długo. Okazało się bowiem, że mosty jego konstrukcji w krótkim czasie po oddaniu do użytku ulegały zniszczeniu. Jak podkreśla wielu autorów książek o mostach tamtego okresu, przyczyny były różnorodne. Głównie z powodu niskiego poziomu wiedzy inżynierskiej w projektowaniu i budowaniu, a także niskiej jakości materiałów konstrukcyjnych. Można przypuszczać, że również brak odpowiedniej konserwacji był przyczyną krótkiej żywotności pierwszych konstrukcji.

Ostatnim projektem Finleya był most Lehigh Gap o długości głównego przęsła wynoszącej 48 m, przęseł bocznych 24 m i szerokości 4,8 m. Po jego powstaniu już nigdy więcej w Ameryce Północnej nie wzniesiono żelaznych mostów łańcuchowych według pomysłu Finleya. Był on jednak pierwszym budowniczym, który rozbudził nadzieję na łatwiejszą komunikację w miejscach trudnych do przebycia i potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań mostowych.

Traktat o mostach wiszących

W Europie koncept budowy mostów wiszących został w znacznym stopniu rozpowszechniony dzięki książce Thomasa Popa *A Treatise on Bridge Architecture*,



Raport Naviera o mostach wiszących [5]

opublikowanej w 1811 r. Pierwszy tego typu most wiszący o długości 33,6 m wybudowano w 1816 r. w szkockim mieście Galashiels przez rzekę Gala Water, a następnie Kings's Meadows (L = 33,5 m) i Dryburgh Abby (L = 79,2 m) w 1817 r. Właściwie były to kładki piesze, gdyż ich szerokość wynosiła zaledwie 1,2 m. Uległy one zniszczeniu wywołanymi dużymi oscylacjami konstrukcji.

Claude-Louis Navier (1785–1836), francuski inżynier,

był pod ogromnym wrażeniem budowanych mostów w Anglii, kiedy w latach 1820–1821 na prośbę rządu francuskiego kilkakrotnie podróżował do Anglii, przyglądając się wznoszonym konstrukcjom. Po podróży opublikował obszerny *Rapport et Mémoire sur les Ponts suspendus* (1823). Był to traktat o teorii konstrukcji mostów wiszących, składający się z trzech części. Pierwsza zawierała przegląd historyczny i opis mostów budowanych w Anglii, druga poświęcona była rozwiązaniom różnego typu problemów związanych z naprężeniami i odkształceniami występującymi w mostach wiszących. Navier badał ugięcia mostów poddanych działaniu sił równomiernie rozmieszczonych wzdłuż przęsła oraz sił skoncentrowanych, dochodząc do wniosku, że efekt ich oddziaływania zmniejsza się wraz ze zwiększoną długością i ciężarem konstrukcji. Do podobnych wniosków doszedł, badając wibracje powstałe w wyniku działania skoncentrowanej siły obciążenia. W konkluzji stwierdził, że długie i ciężkie mosty wiszące zachowują się pod względem elastyczności konstrukcji odmiennie niż mosty lekkie i krótkie. W trzeciej części Navier podał przykłady konstrukcji mostu wiszącego i akweduktu.

Publikacja ta była pierwszą teoretyczną pracą na temat mostów wiszących i przez wiele następnych lat była vademecum inżynierów budownictwa lądowego. Wartość opracowania została wysoko oceniona przez francuskich naukowców, którzy wkrótce przyznali Navierowi członkostwo we Francuskiej Akademii Nauk. W tym czasie zaproponowano mu też budowę pierwszego, 155-metrowego mostu wiszącego przez Sekwanę. Navier pisał o tej propozycji tak: „Nie ma pilnej konieczności budowy mostu do Pól Elizejskich: nie ma obowiązku budowania mostu wiszącego w Paryżu. Ale jeśli jest to pożądane,

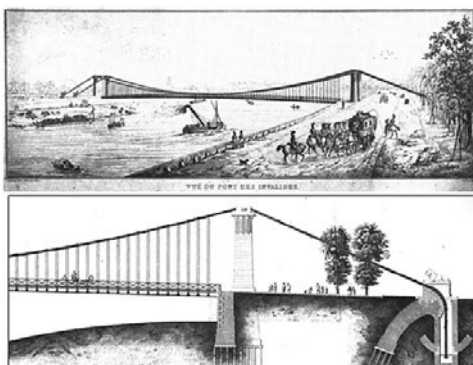
wtedy zostanie on zbudowany, niech on stanie się pomnikiem”. W 1826 r., krótko przed zakończeniem budowy, podmyty brzeg, na którym stał jeden z pylonów, został mocno osłabiony i pojawiły się pęknięcia na przyporach konstrukcji zakotwienia łańcuchów. Eksperci, którzy od początku twierdzili, że konstrukcja mostu została źle zaprojektowana, wykorzystali ten fakt i pod wpływem ich opinii nieoddany jeszcze do użytku, został ostatecznie rozebrany. W drugim wydaniu raportu Navier przeanalizował ponownie projekt i stwierdził, że ciężary bloków użytych do kotwienia kabli były nieodpowiednie, co spowodowało ich przesunięcie i pęknięcie. Honoré de Balzac w opowiadaniu *Le Curé de village* zrywał się z administracji Paryża, że na pocieszenie za błąd w budowie uhonorowała Naviera członkostwem w Radzie Generalnej.

Warto w tym miejscu pokrótce przybliżyć sylwetkę Claude'a-Louisa Naviera, który bardziej jest znany z równania Naviera – Stockesa dotyczącego lepkości przepływających płynów niż jako budowniczy pierwszego mostu wiszącego w Paryżu. Po ukończeniu École Polytechnique Polytechnique i École Nationale des Ponts et Chaussées przez kilka lat pracował w Corps des Ponts et Chaussées, gdzie jego wuj był naczelnym inżynierem. Fascynował się matematyką, szczególnie pracami i metodami obliczeń Jeana-Baptiste'a Fouriera. Umiejętnie połączył wiedzę teoretyczną, wykładając mechanikę w École des Ponts et Chaussées, z wiedzą praktyczną, pracując jednocześnie jako inżynier. Interesował się mechaniką, wprowadził do obliczeń wytrzymałościowych moduł sprężystości jako właściwości materiałowej, współzależności odkształcenia i naprężenia w materiale. Sformułował podstawy teorii sprężystości materiałów. Stephen Timoshenko w książce *History of Strength of Materials* wiele miejsca poświęca pracom Naviera w dziedzinie wytrzymałości materiałów, problemom zginania prętów, łuków, płyt i kratownic. Zdolność syntezy zaowocowała stworzeniem przez Naviera pierwszego matematycznego modelu obliczeniowego dla mostów wiszących. Polegał on na graficznym rozmieszczeniu sił działających na poszczególne elementy konstrukcji i matematycznym opisie, a następnie ich rozwiązaniu dla określonych warunków granicznych. Wspomniana książka, raport o mostach wiszących, zawiera dobrze znane równania do opisanie równowagi sił w łańcuchach i opis krzywej łańcuchowej parabolicznej, opartej na równaniach różniczkowych. W pracy tej wykorzystał dość oryginalny aparat szeregów Fouriera do rozwiązania zdefiniowanych równań. Jego nowatorskie, ale przede wszystkim naukowe podejście do obliczeń mostów wiszących stanowiło kontrast do metod stosowanych

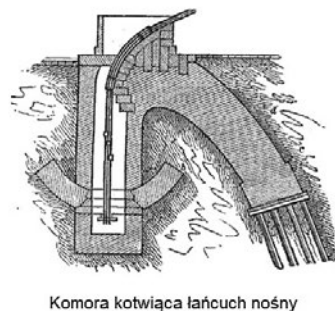
ad hoc przez amerykańskich i angielskich budowniczych, którzy w tamtym czasie bazowali głównie na wiedzy praktycznej, prostych obliczeniach i eksperymentach.

Most w Ozimku przez Małą Panew

W Anglii niewątpliwie najbardziej znaną konstrukcją z tamtego okresu jest istniejący do dzisiaj most wiszący Menai w północnej Walii. Zaprojektowany przez Thomasa Telforda (1757–1834) i wybudowany w latach 1818–1826 stał się prototypem dla wielu następnych konstrukcji wiszących. Główne przęsło o długości



Projekt mostu wiszącego Naviera w Paryżu [5]



Komora kotwiąca łańcuch nośny



Most wiszący Menai, fot. Colin & Linda McKie, Adobe Stock

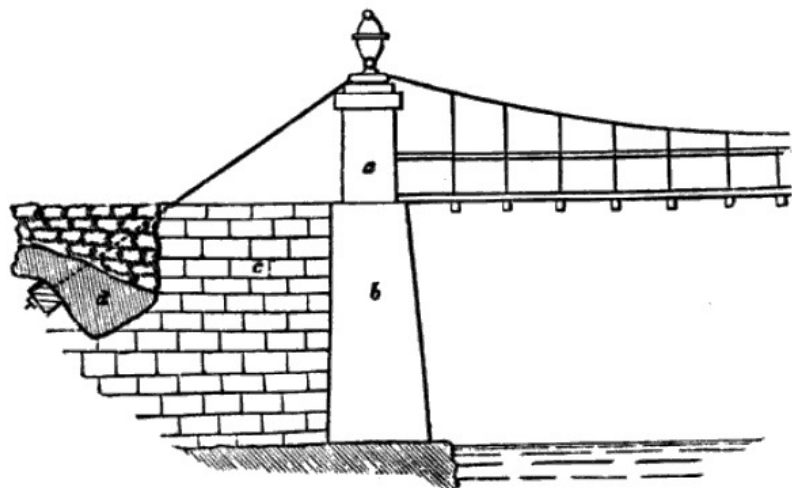
174 m zostało zawieszone na płytowych, zakończonych oczkami łańcuchach. Do nich został podczepiony ustrój mostowy o całkowitej szerokości 8,4 m dla dwóch jezdni i promenady. Konstrukcję wyróżniają architektonicznie oryginalne, murowane pylony i łukowe przęsła po obu stronach rzeki. Ze względu na niedosztywnienie dźwigara most ten nie uchronił się od nadmiernych drgań i falowań w okresie burz i porywistych wiatrów, dlatego wielokrotnie ulegał awariom. Najpoważniejsze uszkodzenia miały miejsce w 1839 r., a następnie w 1892 r., po którym przebudowano most. Konstrukcja po wymianie łańcuchów w 1938 r. przetrwała do dziś i stanowi lokalną atrakcję turystyczną. Niedostatecznie analizowane oscylacje mostów wiszących powstające pod wpływem wiatru były zignorowanym przez projektantów i budowniczych mostów ostrzeżeniem, preludem dotkliwej w inżynierii mostów tragedii, która miała wydarzyć się 100 lat później (Tacoma-Narrows Bridge, 1940).

W tym samym okresie powstał pierwszy w Europie żeliwno-stalowy, łańcuchowy most wiszący (1825–1827) w Ozimku przez rzekę Mała Panew. Zaprojektowany został przez Carla Schotteliusa, inspektora istniejącej na tym terenie od 1754 r. huty żelaza. Cztery łańcuchy po każdej ze stron, wykonane z odlewanych, oczkowych prętów, podtrzymują 37,5-metrowej długości i 6,6-metrowej szerokości jednoprzęsłowy, nieusztywniony ustrój nośny. Kratownicowe, stalowe pylony o wysokości 6,7 m, zwężające się ku górze, połączone są łukowymi, ażurowymi trawersami. W 2017 r. obiekt ten został wpisany na polską listę pomników historii.

Wiązki drutów zamiast łańcuchów

Pomimo licznych niepowodzeń w pierwszych latach budowy mostów wiszących, nie

zaprzestano jednak w Europie prowadzenia dalszych eksperymentów i udoskonalień tej konstrukcji. Francuski inżynier Marc Seguin (1786–1875) wraz z bratem Camille'em (1793–1852), promując te rozwiązania, po raz pierwszy zastosował w 1823 r. wiązki drutów zamiast łańcuchów nośnych. Przeprowadzone przez nich modelowe eksperymenty potwierdziły ich przekonanie przedstawione w liście do francuskiego ministerstwa budowy dróg i mostów: „Zastosowanie drutu jest łatwiejsze, a także bezpieczniejsze. Testy mechaniczne wymagane dla kabla łańcuchowego nie są wymagane dla kabla wykonanego z drutu, ponieważ wada materiałowa lub produkcyjna w jednym elemencie drutu nie naraża na zerwanie kabla jako całości, dodatkowo, trzeba wziąć pod uwagę fakt, że drut jest dwa razy mocniejszy niż pręt i wymagane testy są wykonane podczas procesu formowania na zimno” (1824). W odpowiedzi ministerstwo zaleciło podległym jednostkom administracyjnym



Rysunek mostu Seguina



Most Clifton, fot. Will, Adobe Stock



Płytowe łańcuchy mostu Clifton [14]

rozważenie zastosowania rozwiązania Seguina, uzasadniając: „Bez wątplenia łańcuch z prętów był sukcesem w zwiększeniu rozpiętości przęsła i zwiększenia obciążenia. Nie jest problemem użycie brytyjskiej metody w konstrukcji i obliczeniach, jak to udowodnił prof. Navier. Ale kable z drutu, które proponują zastosować bracia Seguin w konstrukcji mostu przez rzekę Rodan, będą wyraźnie redukować czas budowy, koszty i będą łatwiejsze w konstrukcji. Ponadto sztywność mostu wiszącego nie będzie zmniejszona” (1825).

Pierwszy most wiszący przez rzekę Rodan Marc Seguin wybudował w 1825 r. Pont de Tournon miał dwa przęsła o długości 85 m i szerokości 4 m, rozdzielone środkowym, murowanym pylonem. Każda ze stron miała kabel nośny, składający się ze 112 drutów o średnicy 3 mm. Budowa była wielkim osiągnięciem propagandowym, technicznym i ekonomicznym. Był to pierwszy od 500 lat most wybudowany na odcinku 200 km między Lyonem i Orange. Koszt budowy wynosił jedną trzecią kosztu budowy murowanego mostu łukowego. Kilka lat później (1831) wydane przez ministerstwo zalecenie mówiące o rozważeniu zastąpienia promów rzecznych mostami wiszącymi spowodowało istny boom budowlany. Bracia Seguinowie w tym czasie zaprojektowali i wybudowali ponad 100 mostów. Jak podaje Arne Arthur Jakkula w *History of Suspension Bridges in Bibliographical Form* (1941), we Francji w latach 1830–1860 zbudowano 200 mostów wiszących, podczas gdy w tym samym okresie w Anglii i Stanach Zjednoczonych nie więcej niż kilkadziesiąt.

Metoda Vicata

Kolejne udoskonalenia w budowie mostów wiszących proponował inny francuski inżynier, Louis-Joseph Vicat (1786–1861). Jest on głównie znany w profesjonalnej literaturze jako wynalazca cementu, betonu i zaprawy murarskiej. Kiedy Marc Seguin poprosił go o poprowadzenie budowy pont Marie w Argentat, zakwestionował on metodę budowy kabli nośnych braci Seguinów, sugerując wprowadzenie kołowrotka do rozciągania pojedynczych drutów i układanie ich w wiązki. Tak opisywał pomysł: „Gdy pomosty, pylony i zakotwienia mostu wiszącego zostaną ukończone i kotwiczenia do zamocowania kabli będą gotowe, przygotowane zostaną dwa zestawy szpul drutów o równej długości, a następnie drut zostanie rozciągnięty za pomocą przeciągacza, który przechodząc po pętli, połączy jeden szczyt pylonu z drugim. To urządzenie działa jak pompa łańcuchowa i działa szybciej niż metoda wykorzystująca ludzi ciągnących zwoje drutu po ziemi (...) (liczba drutów do przeciągnięcia równocześnie może wynosić 2, 4 lub 6...)”. (1831). Metoda Vicata eliminowała prefabrykację wiązek drutu, w których część równoległych drutów, pozostając luzem, miała mniejsze naprężenia. Zastosowanie kołowrotka przeciągającego drut pomiędzy pylonami bardzo usprawniło proces montażu kabli nośnych. Pomimo znaczących zalet metoda Vicata nie od razu została przyjęta przez francuskich inżynierów. Z kilkoma tylko wyjątkami większość mostów wiszących zbudowanych w tym czasie we Francji wykorzystywała środkowy pylon do skrócenia rozpiętości, korzystając z prefabrykowanych wiązek drutu.

Kres mostów łańcuchowych

Rewolucja przemysłowa w XIX w. w Anglii nie byłaby możliwa bez takich ludzi, jak m.in. Isambard Kingdom Brunel (1806–1859). Ten wybitny inżynier projektował statki parowe, koleje, tunele i oczywiście mosty. W historii mostownictwa został zapamiętany przede wszystkim jako autor mostu wiszącego Clifton w Bristolu, ikony brytyjskiego mostownictwa. Historia projektu i budowy mostu jest pełna zawirowań i zwrotów. Konstrukcja rozpoczęta w 1831 r., ostatecznie została zrealizowana pięć lat po śmierci Brunela, w 1864 r. Most, rozciągając się na wysokości ponad 75 m nad rzeką Avon, o całkowitej długości 412 m i szerokości 9,4 m, miał najdłuższą rozpiętość wiszącego przęsła (214 m) spośród istniejących w tamtym czasie obiektów mo-

stowych na świecie. Nieusztyniony dźwigar jest podwieszony za pomocą żelaznych prętów do trzech płytowych łańcuchów, zakotwionych w tunelach po obu stronach skalnego wąwozu. Charakterystyczne dla tej konstrukcji portalowe, zwężające się ku górze pylony o wysokości 26 m, przypominające nieco egipskie budowle, zostały wzniesione z surowego kamienia. Most Clifton po ponad 150 latach nadal jest w użyciu i jak wiele oryginalnych, starych konstrukcji, ale też dzięki wyjątkowemu położeniu stanowi dzisiaj atrakcję turystyczną.

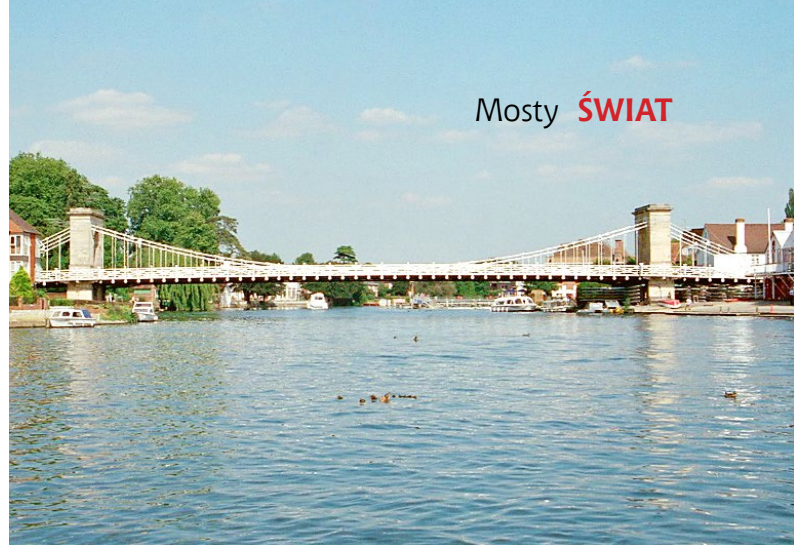
W tym samym czasie na Węgrzech powstała inna, piękna przeprawa mostowa, które połączyła dwa miasta, Budę i Peszt, 375-metrowej długości mostem łańcuchowym przez Dunaj. Autorem projektu konstrukcji o 202-metrowym, centralnym, wiszącym przęśle był angielski inżynier William Clark (1783–1852), a budowniczym szkocki inżynier Adam Clark. Otwarty w 1849 r. był blisko trzykrotnie powiększoną wersją innego mostu Williama Clarka – mostu Marlow (1832) przez Tamizę, którego środkowe przęsło wynosi 72 m. Oba mosty po naprawach i rekonstrukcjach do dzisiaj są w użyciu.

W Anglii okres projektowania i wznoszenia mostów łańcuchowych zakończył się z chwilą oddania do użytku mostu Clifton. Problemy niekontrolowanych drgań i oscylacji, które w efekcie doprowadzały do uszkodzeń lub zniszczeń, występowały niemal we wszystkich dużych konstrukcjach mostów wiszących tamtego okresu. Potrzeba dosztywnienia ustrojów nośnych, a tym samym przeciwdziałania wibracjom, szczególnie w mostach kolejowych, zrodziła projekty Roberta Stephensa (1803–1859). Były to konstrukcje o ciężkiej, kratownicowej, „tunelowej” strukturze, takie jak most Britannia. Rozwiązanie Stephensa m.in. z powodów ekonomicznych szybko jednak zostało przez inżynierów zarzucone.

Działalność braci Seguinów

Kontynuacja dalszego rozwoju konstrukcji wiszących wymagała nowego podejścia w projektowaniu i nowej technologii wykonawczej. Progresywny trend przedstawiony we Francji przez braci Seguinów miał kontynuację w projekcie Josepha Chaleya (1795–1861) w Szwajcarii. Chaley we Fryburgu zaprojektował most wiszący Grand Pont Suspendu (1834) o rekordowej długości 266 m, wykorzystując metodę budowy Seguina i rozwiązanie Vicata w montażu kabli nośnych. Tym niemniej trendowi temu brakowało jakiegoś spektakularnego osiągnięcia i rozgłosu, szczególnie w Stanach Zjednoczonych, które przekonałoby inżynierów do zastosowania udoskonalonej metody francuskiej.

Tym brakującym ogniwem w projektowaniu, łączącym francuską metodę z ogromnym zapotrzebowaniem w dziedzinie mostownictwa w Stanach, okazały się prace Charlesa Elleta (1810–1862). Po dwuletnich studiach w Paryżu i powrocie do Ameryki, będąc pod wpływem dopiero co zdobytej wiedzy inżynierskiej, zgłosił się do konkursu ogłoszonego w 1832 r. przez Kongres na projekt 300-metrowego mostu wiszącego przez rzekę Potomak. Nie wygrał konkursu, bo przedstawione przez niego rozwiązanie zostało uznane przez amerykańskich inżynierów i budowniczych za zbyt nowoczesne i niesprawdzone. Dopiero dekadę później Ellet zaprojektował i wybudował swój pierwszy 109-metrowy most wiszący, w pełni wykorzystując francuską metodę budowy, w tym kabie nośne wykonane z wiązek drutu. Konstrukcja mostu przez



Most Marlow

rzekę Schuylkill w Filadelfii okazała się wielkim sukcesem, przynosząc Elletowi rozgłos i zlecenia na kolejne projekty, w tym kontrakt na budowę mostu Wheeling przez rzekę Ohio o długości przęsła 308 m. Ellet zaprojektował portalowe, murowane pylony wspierające kabie nośne z sześcioma wiązkami drutu po każdej ze stron. W budowie zaadaptował metodę Josepha Chaleya. Oddany do użytku w 1849 r. most osiągnął niekwestionowany światowy rekord długości przęsła pomiędzy pylonami. W połowie XIX w. długość przęsła najdłuższych mostów wiszących nie przekraczała 300 m, most Menai miał 177 m długości, most we Fryburgu 266 m. Niestety most Wheeling podzielił los swoich poprzedników, kiedy kilka lat po oddaniu podczas sztormu uległ zniszczeniu. W 1860 r. zarząd mostu powołał na stanowisko inżyniera mostu odpowiedzialnego za naprawę uszkodzonej konstrukcji Johna Augustusa Roeblinga (1806–1869). W tym czasie Roebling miał już na swoim koncie sukces związany z budową wiszącego mostu kolejowego przez Niagarę.

Pierwszy kolejowy most wiszący

Jeszcze w trakcie budowy mostu Wheeling zarządy kolei amerykańskich i kanadyjskich rozesały zapytanie do kilku przodujących inżynierów w Ameryce, czy możliwe jest wybudowanie mostu kolejowego przez Niagarę. Niewielu odpowiedziało pozytywnie, wśród nich znaleźli się Charles Ellet, John Augustus Roebling, Samuel Keefer i Edward W. Serrel. Ellet pisał: „Most przez Niagarę poniżej wodospadu może być zbudowany, będzie bezpieczny i całkowicie przystosowany do potrzeb kolei. Będzie bezpieczny dla lokomotyw i transportowanych ładunków, i innych potrzeb, dla których może mieć zastosowanie (...) nie ma bezpieczniejszych mostów niż te, które oparte są na zasadach mostów wiszących”. W 1847 r. zarządy kolei zleciły Elletowi zaprojektowanie kolejowego mostu wiszącego. Zgodnie z kontraktem, miał on być zbudowany 3 km poniżej wodospadu Niagara i przystosowany do przejazdu pociągów i powozów. Długość przęsła wiszącego miała wynosić 244 m, całkowita szerokość 8,5 m, podzielona na dwie drogi o szerokości 2,28 m każda, dwa 1,2-metrowe chodniki i tor kolejowy o szerokości 1,5 m. Budowa rozpoczęła się wiosną 1848 r. Wkrótce pomiędzy brzegami rozwieszono kładkę konstrukcyjną o szerokości 2,7 m, która po wzmocnieniu okazała się tak atrakcyjna, że Ellet, bez zgody zarządów, postanowił wykorzystać ją dla zwykłego ruchu pieszych, pobierając przy tym opłatę za przejazdy. W tym też roku zainstalował pomiędzy brzegami podwieszoną na linie gondolę dla czterech osób, która podobnie jak kładka, cieszyła się ogromnym powodzeniem,



Most Brookliński, fot. SeanPavonePhoto, Adobe Stock

transportując ludzi pomiędzy brzegami. Narastający konflikt między Elletem i zarządami kolei doprowadził do zwolnienia Elleta z funkcji budowniczego mostu pod koniec 1848 r. Budowa została zawieszona na kilka lat, do czasu, aż John Augustus Roebling został powołany na stanowisko głównego budowniczego i dokończył, udoskonaloną przez siebie, konstrukcję pierwszego na świecie kolejowego mostu wiszącego. Oficjalnie most został otwarty dla ruchu drogowego i kolejowego w marcu 1855 r.

Roebing i epoka dominacji Amerykanów

W 1854 r. nastąpiło w budownictwie mostowym wydarzenie, które niestety powtórzy się w kolejnej fazie rozwoju tej konstrukcji. Po pięciu latach od oddania do użytku runął most Wheeling. Przyczyną zawalenia się była słabość konstrukcji i jej niska sztywność. Autorytet i reputacja Elleta jako budowniczego nowoczesnych mostów upadła wraz z mostem Wheeling. Czasopismo inżynierskie w kilku lakonicznych słowach podsumowało wypadek: oto po raz kolejny sztorm zniszczył most. W tamtym okresie w Ameryce tylko jeden inżynier rozumiał przyczynę powstających uszkodzeń i zniszczeń i mógł im przeciwdziałać. Był nim naturalnie John Augustus Roebling. Historia jego życia i pracy jest fascynująca, pełna romantycznych przygód i dramatów, jak pisze David Steinman w książce *Bridges and Their Builders*. Dobrze opisuje charakter Roebinga cytat z krótkiej notki biograficznej, zamieszczonej przez Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Budownictwa Lądowego (ASCE): „Stwierdzenie, że przedsięwzięcie jest niewykonalne, nie będzie już zgodne z duchem obecnego wieku. Nic nie jest niewykonalne, jeśli mieści się w granicach praw natury”. Dokonania Roebingów zostały przedstawione w artykule *Most Brookliński – dzieło życia Roebingów*, opublikowanym w „NBI” (2011).

Triumf oddanego do użytku w 1883 r. mostu Brooklińskiego, a jednocześnie pojawienie się w tym czasie tak znakomitych inżynierów i budowniczych mostów, jak Gustav Lindenthal, Theodore Cooper, William Burr, Leffert L. Buck, Ralph Modjeski, Othmar Ammann, Leon Moisseiff, Charles Ellis czy David Steinman, przy równoczesnym wprowadzeniu

nowych teorii obliczeniowych rozpoczęły ponad 70-letni okres amerykańskiej świetności i dominacji w dziedzinie budowy mostów wiszących.

Literatura

- [1] Buonopane S.G., Billington D.P.: *Theory and History of Suspension Bridges Design from 1823 to 1940*. „Journal of Structural Engineering” 1993. Vol. 119, Issue 3, pp. 954–977.
- [2] Kawada T.: *History of the Modern Suspension Bridge. Solving the Dilemma between Economy and Stiffness*. ASCE Press, 2010.
- [3] Dąbrowiecki K.: *Mosty Tacoma Narows*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2010, nr 5, s. 66–70.
- [4] Peters T.F.: *Transitions in Engineering*. Birkhauser Verlag, 1987.
- [5] Navier C.L.: *Rapport à Monsieur Becquey et Mémoire sur les Ponts Suspendus*. Imprimerie Royale. Paris 1823.
- [6] Brown D.J.: *Bridges – Three Thousand Years of Defying Nature*. MBI Publishing Company, 2001.
- [7] Kurrer K.E.: *The History of Theory of Structures*. Ernst & Sons, 2008.
- [8] Timoshenko S.: *History of Strength of Materials*. Dover Publications, 1983.
- [9] Kranakis E.: *Constructing a Bridge. An Exploration of Engineering Culture, Design and Research in Nineteenth-Century France and America*. MIT Press, Cambridge, MA, 1997.
- [10] Cannone M., Friedlander S.: *Navier: Blow-up and Collapse*. „Notices of the American Mathematical Society” 2003, No. 1, pp. 7–13.
- [11] Petroski H.: *Engineers of Dreams. Great Bridge Builders and the Spanning of America*. Vintage Books, 1996.
- [12] Dąbrowiecki K.: *Most Brookliński – dzieło życia Roebingów*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2011, nr 5, s. 74–78.
- [13] Materiały Institution of Civil Engineers.
- [14] Materiały filmowe Jamie Lowe Explores, Bumpkin’s Drones and JdMediaFilm.



POBIERZ APLIKACJĘ MOBILNĄ NBI

*Czytaj, gdzie chcesz
i kiedy chcesz*



NOWOŚĆ



AKTYWNE ŁĄCZA



GALERIE ZDJĘĆ



PLIKI WIDEO

*Dzięki aplikacji otrzymujesz dostęp do bieżących oraz wybranych, archiwalnych wydań czasopisma **NOWOCZESNE BUDOWNICTWO INŻYNIERYJNE**, wzbogaconych o interaktywności.*



ANDROID APP ON
Google Play



Available on the iPhone
App Store