



ANDRZEJ STAŃCZYK

Politechnika Warszawska
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

„Wrota Australii” – Sydney Harbour Bridge

Sydney – piękno krajobrazu i piękno budowli inżynierskich

Monumentalny most łukowy przekraczający zatokę portową w Sydney rozpoznają nawet ci, którzy nie znają jego nazwy. Każdy noworoczny przekaz telewizyjny rozpoczyna się imponującym widokiem wystrzelianych zeń sylwestrowych fajerwerków, zanim zmiana czasu dotrze do kolejnych krajów. Gdy powstał, był „Wrotami Australii” i witał przybyszów podobnie jak Statua Wolności w porcie nowojorskim; lotnictwo pasażerskie nie było wtedy jeszcze powszechne, więc rzesze imigrantów przyływały statkami.

Miejsce, gdzie go wzniesiono jest jednym z najpiękniejszych w świecie. Zatoka oceaniczna stanowiąca naturalny port wciną się głęboko w ląd i mackami mniejszych zatoczek wnika między brzegi. Błękit wód, wysepki, poszarpane cyple. Choć wydaje się niemożliwe, by pejzaż ten można jeszcze bardziej upiększyć – dokonano tego dziełami inżynierii. Ze wzniesień spiętrzonych nad zatoką można dziś podziwiać nie tylko labirynt wód, ale też miejską zabudowę z wieżowcami city i górującą nad nimi smukłą wieżą Sydney Tower. Wcześniej, wkrótce po I wojnie światowej, między cyplami zatoki, w jej najciaśniejszym przewężeniu przerzucono Most Portowy – najpiękniejszą wówczas budowlę Sydney, a niespełna pół wieku później, na sąsiednim półwyspie wzniesiono gmach opery – kolejną ikonę Sydney. Budowle te różni wszystko: tworzywo, kanony estetyczne, w których powstały,

przeznaczenie, nawet „zabarwienie” obiegowych porównań: operę przyrównuje się górnolotnie do „surrealistycznych łabędzi z betonu i stali zrywających się do lotu” lub „gęstwiny wydętych przez wiatr żagli”, natomiast most zwą tu zwyczajnie – „wieszakiem”. Mimo to nie tworzą one dysonansu i dopełniają otoczenie tak udanie, że trudno dziś rozsądzić co jest motywem wiodącym: naturalny krajobraz czy kolejne dzieła inżynierskie.

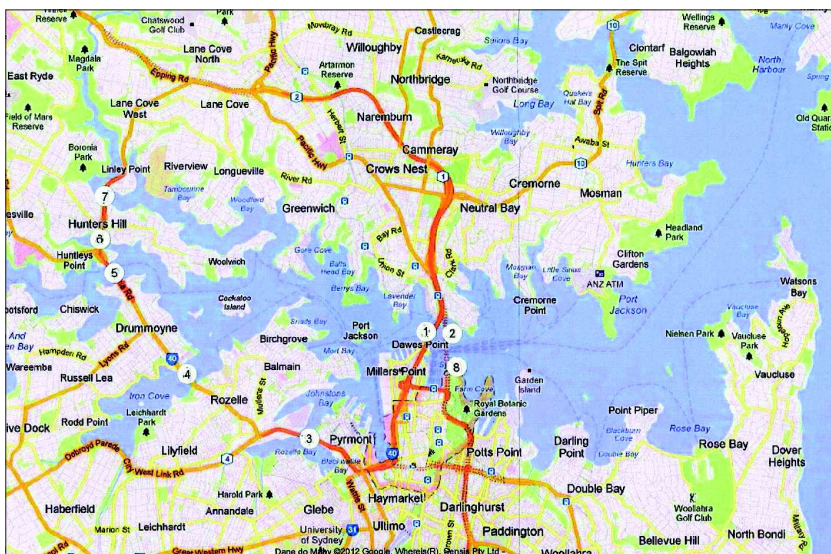
A niewiele brakowało, by nie powstały w tak doskonałej formie: i most zespalający przeciwległe półwyspy, i kopuły dachów opery.

Powstanie miasta i mostu

Australia była jednym z najpóźniej odkrytych przez Europejczyków kontynentów, mimo że istnienie lądu w tym miejscu podejrzewano na długo wcześniej, zanim w XVIII w. brytyjski żeglarz James Cook przybił do jego brzegów. Pierwsi kartografowie umieszczali go na mapach, choć nigdy go nie widzieli. Po Brytyjczykach osiedli tu Francuzi, lecz rodacy odkrywców powrócili ponownie, gdy po przegraniu amerykańskiej wojny o niepodległość szukali miejsca do zsyłki skazańców z przepelnionych więzień w Anglii. Dzisiejsze Sydney powstało wtedy jako kolonia karna nad zatoką nazwaną Port Jackson, a pierwszymi jego mieszkańcami było siedem i pół setki więźniów oraz dwustu żołnierzy – strażników. Flotyła ich statków wpłynęła tu 26 stycznia 1788 r. i z czasem data ta stała się hucznie świętowanym Dniem Australii. Gdy po pół wieku, w 1840 r. przyplłynął ostatni statek ze skazańcami, Sydney było już kwitnącym osiedlem, przyciągającym wolnych osadników.

W połowie XIX w. doprowadzono linię kolejową z południa do przystani promowej przy Milsons Point na północnym brzegu. Miasto rozrastało się wokół portowej zatoki, która teraz utrudniała szybkie przemieszczanie mieszkańców i towarów. By przewieźć ciężkie ładunki na przeciwny brzeg, okrążano jej rozgałęzione macki dużym nakładem drogi. W połowie 1880 r. drogę tę skrócono, budując pięć mostów przecinających mniejsze zatoczki w Pyrmont, Gleb Island, Iron Cove, Gladesville i Fig Tree (rys. 1). Powstały wówczas propozycje przekroczenia zatoki w największym miejscu – między Milsons Point i Dawes Point: a to ogromnym mostem wiszącym, a to mostem pontonowym, bądź tunelem tramwaju ciągniętego liną, a nawet usypania grobli, lecz żadnej z nich nie zrealizowano.

W 1900 r. rząd prowincji Nowa Południowa Walia rezydujący w Sydney ogłosił konkurs na



Rys. 1. Położenie mostów i budowli nad zatoką w Sydney: 1 – Sydney Harbour Bridge, 2 – Sydney Harbour Tunnel, 3 – Anzac Bridge, 4 – Iron Cove Bridge, 5 – Gladesville Bridge, 6 – Tarban Creek Bridge, 7 – Fig Tree Bridge, 8 – gmach opery

most. Nadeszły 24 prace z Ameryki, Europy i Australii, rozdano nagrody, jednak żaden z projektów nie został przyjęty do realizacji. Rok później ponownie rozważono opłacalność przedsięwzięcia i ogłoszono kolejny konkurs. W 1903 r. rozpoczęto badania dna zatoki, by określić sposób posadowienia podpór mostu. Prowadzono je w kesonach opuszczanych w muł leżący na dnie. Ta nowatorska wówczas metoda pociągnęła pierwsze ofiary. W tym samym roku, spośród dwunastu nadesłanych prac, jury konkursu wybrało w drugiej turze projekt trójprzęsłowego mostu kratowego, odrzucając propozycje mostów łukowych jako zbyt masywnych. Rząd prowincji zaakceptował wybór, lecz wkrótce zmienił decyzję i wycofał się z zamierzenia budowy, ku zaskoczeniu wszystkich zaangażowanych.

Problem komunikacyjny nabrzmiewał. W 1908 r. przez zatokę przeproważano się promami 13 mln pasażerów, a w kolejnych latach liczba ta ulegała zwiększeniu. Budowa przeprawy stała się konieczna. Decyzję przyspieszyła tragedia, która wydarzyła się w 1927 r. – w kolizji promu ze statkiem parowym straciło życie 36 osób.

„Wizjoner”

Osobą, która w istotny sposób przyczyniła się do budowy mostu był John Job Crew Bradfield – syn imigranta urodzony w 1867 r. w Brisbane. Studia inżynierskie ukończył w Sydney i wkrótce, pracując w liniach kolejowych prowincji Queensland, zaprojektował swą pierwszą kładkę dla pieszych nad torami. W czasach recesji zatrudnił się w Wydziale Robót Publicznych w Sydney jako kreślarz, lecz szybko awansował na coraz wyższe funkcje, a jednym z wczesnych jego zadań była ocena projektów konkursowych mostu przez zatokę Port Jackson oraz zaprojektowanie kilku kolejowych mostów stalowych między West Mainland i South Gratton. Mieszkając po północnej stronie zatoki, codziennie dojeżdżał pociągiem do Milsons Point, by przeproważać się promem do pracy w centrum miasta i doświadczać niedogodności takiej komunikacji. Z czasem awansował na stanowisko głównego inżyniera budowy kolei miejskiej i mostu przez zatokę, a w 1913 r. złożył projekt stalowego mostu kratowego łączącego najbardziej wysunięte ku sobie końce półwyspów Dawes i Milsons. Most miał pomieścić cztery tory kolejowe, szosę i chodniki dla pieszych. Gdy wydawało się, że budowa mostu w tym kształcie jest przesądzona, władze prowincji Nowa Południowa Walia wysłały Bradfielda w podróż do Ameryki Północnej i Europy, gdzie miał poznać nowe osiągnięcia w budowie kolei podziemnych oraz mostów o długich przęsłach i wysokich podporach. Podczas pobytu w Nowym Jorku, wielkie wrażenie wywarła na nim budowa mostu Hell Gate („Wrota Piekła”) przez East River na Manhattanie – stalowego mostu łukowego o rekordowej wówczas rozpiętości 298 m. Dalszy wyjazd do Kanady zbiegł się z zakończeniem prac komisji badającej przyczyny katastrofy pierwszego mostu wspornikowego przez zatokę Św. Wawrzyńca w Quebecu w Kanadzie, która wydarzyła się 29 sierpnia 1907 r. W tym czasie w Australii zmieniły się władze prowincji; nowa koalicja rządząca była przeciwna budowie mostu i zdecydowała odwołać Bradfielda do Sydney. Uprzedzony przez swą sekretarkę, nie czekał na oficjalne powiadomienie, lecz natychmiast wyjechał do Anglii,

gdzie zastał go wybuch I wojny światowej. 47-letni wówczas inżynier zgłosił się ochotniczo do wojska, lecz został odrzucony przez werbujących. Wrócił więc do Sydney i zaangażował się w kilka projektów militarynych, m.in. utworzenie szkoły pilotów wojskowych w Nowej Południowej Walii.

Podczas pobytu Bradfielda w Anglii, znana firma mostowa Cleveland Bridge & Engineering Company z Darlington zwróciła się doń o pozwolenie na startowanie w konkursie na most w Sydney z projektem mostu łukowego, który jak twierdzili tamtejsi inżynierowie, przy użyciu nowoczesnej stali byłby lżejszy i tańszy w wykonaniu od wcześniej rozważanych projektów. Bradfield spotkał się też z Georges'em Imbaultem, wykonawcą stalowego mostu łukowego przy wodospadach Wiktorii nad rzeką Zambezi w Afryce. Montaż tego mostu, zaprojektowanego i wytworzonego w częściach przez wspomnianą firmę z Darlington, a następnie przetransportowanego do Afryki, wykonano wspornikowo z dwóch brzegów, po utwierdzeniu połówek łuków w wezłowiach linami zakotwionymi w skalnych tunelach. Imbault przekonywał, by w podobny sposób wykonać most w Sydney. Bradfield zapoznał się też z pozytywnymi opiniami na temat mostu Hell Gate w Nowym Jorku, ukończonego w 1916 r., który oglądał i badał w czasie budowy. W efekcie zmienił zdanie na temat swej koncepcji mostu i wysłał telegram do Sydney, by do konkursu dopuszczono projekty mostów łukowych. W drodze powrotnej przez ocean pracował nad specyfikacjami wykonania mostu. Obliczył, że nowe rozwiązanie oszczędzi 400 tys. ówczesnych funtów. W tym czasie nowy rząd prowincji forsował ustawę, by wykonanie mostu zostało opłacone z przyszłego myta za przekroczenie mostu. Takie rozwiązanie było nie do przyjęcia przez firmy, które Bradfield odwiedził, lecz na szczęście mieszkańcy północnego wybrzeża, częściowo za jego namową, zgodzili się na ustanowienie dodatkowego podatku na sfinansowanie połączenia mostowego. 24 listopada 1922 r. parlament zatwierdził rozpoczęcie budowy, więc gdyby rząd wstrzymał teraz prace nad mostem, poniósłby odpowiedzialność za zwłokę przed opodatkowaną ludnością.

Zwycięska koncepcja

Zagrożenie powstania mostu w obecnym kształcie przyszło nieoczekiwanie. Na cztery miesiące przed zakończeniem konkursu, z powodu śmierci swego głównego dyrektora wycofała się firma Cleveland Bridge Company, przygotowująca projekty mostów łukowych. Wówczas Ralph Freeman, inżynier z tejże firmy, zaangażowany w konkursowy projekt już od kilku miesięcy, zwrócił się do swego kierownictwa o pozwolenie przeniesienia dalszych prac do przedsiębiorstwa Dorman Long & Co Ltd. z Middlesbrough. Pozwolenie uzyskał, a w nowym przedsiębiorstwie przyjęto go entuzjastycznie.

Do zamknięcia konkursu w dniu 16 stycznia 1924 r., nadeszło 20 projektów z 6 przedsiębiorstw mostowych. W ciągu kolejnego miesiąca Bradfield przestudiował dokładnie każdą z propozycji i zarekomendował rozwiązanie proponowane przez firmę Dorman Long: stalowy most łukowy o niespotykanej w tamtym czasie rozpiętości 503 m nad zatoką, z 5 przęsłami dojazdowymi z każdej strony, przyległymi doń na lądzie (rys. 2a koncepcja A3 i rys. 2b). Była to druga naj-

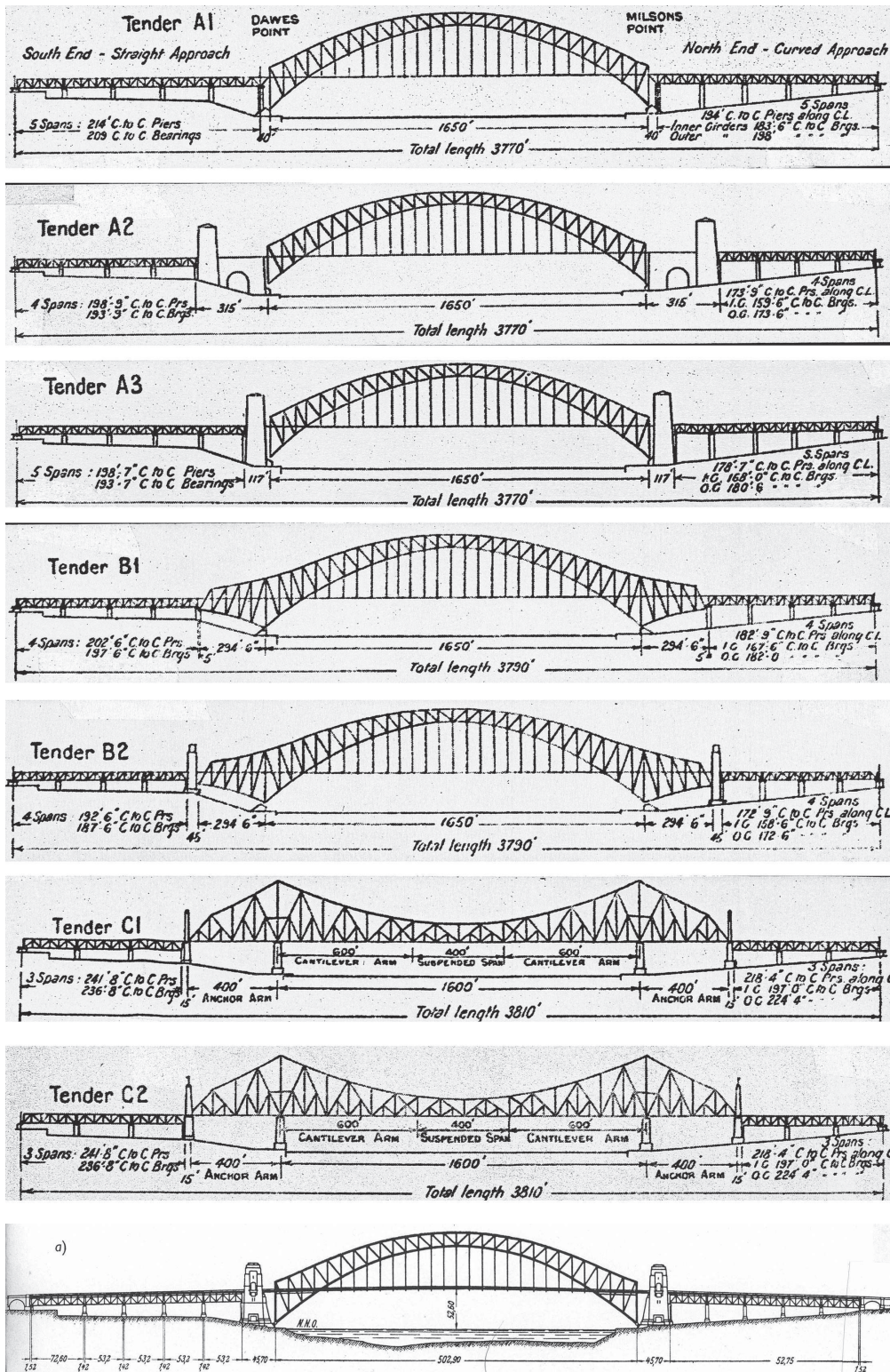
tańsza propozycja, a koszt jej oceniono na 4,2 miliona ówczesnych funtów. Według warunków kontraktu podpisanego 24 marca 1924 r., rysunki konstrukcyjne miały być wykonane przez biuro Dorman Long w Anglii. Wkrótce po podpisaniu umowy, Bradfield w towarzystwie dwóch innych inżynierów pojechał do zwycięskiej firmy, by sprawdzić obliczenia i sfinalizować szczegóły projektu.

Most miał pomieścić cztery tory, jezdnię samochodową, chodniki pieszych i ścieżkę dla rowerzystów.

Podstawowe wymiary mostu:

- długość 1149 m
- szerokość pomostu 49 m
- rozpiętość głównego przęsła 503 m
- wyniesienie zwornika łuku 134 m
- wysokość wież przy wjazdach 89 m
- prześwit pod mostem 52 m.

W chwili rozpoczęcia budowy, główne przęsło mostu miało mieć największą rozpiętość łuku na świecie, a prymat w dzie-



Rys. 2. Koncepcje mostu przedstawione przez firmę Dorman Long & Co i wariant wybrany do realizacji

dzinie budowy wielkich mostów, który w tym czasie dzierżyli Amerykanie, wróciłby do inżynierów europejskich [1].

Budowa mostu

Wymagane w konkursie uniesienie pomostu na 50 m dla skrajni statków, stwarzało konieczność doprowadzenia długich dojazdów drogowych i kolejowych na obu brzegach. Dlatego budowę poprzedziło przejście terenów pod prześła dojazdowe i rozbiórka budynków na znacznej powierzchni obu brzegów.

- 28 lipca 1923 r., na 6 miesięcy przed zamknięciem konkursu, rozpoczęto pierwsze roboty. Odbyło się to w miejscu, gdzie dziś znajduje się stacja kolejowa North Sydney. Wyburzonych zostało około 800 domów wynajmowanych głównie przez robotników. Rekompensaty dla ich mieszkańców były mizerne.
- 1924 r., maj – trwały wykopy tunelu kolejowego.
- 1926 r., kwiecień – otwarto zakłady konstrukcji metalowych przedsiębiorstwa Dorman Long na Milsons Point.
- 1926 r., grudzień – 1928 r., wrzesień – budowa prześel dojazdowych na obu brzegach.
- 1926 r., luty – wykopy pod fundamenty łuku po stronie południowej, na Dawes Point.
- 1927 r., maj – ustawienie pierwszego z czterech łożysk łuku po wschodniej stronie podpory na Dawes Point; każde z łożysk miało szerokość 7,3 m, wysokość 4,25 m i masę 300 t.
- 1928 r., marzec – betonowanie wieży po południowo-wschodniej stronie prześła głównego .
- 1928 r., maj – montaż dźwigów na południowej wieży, w poziomie pomostu.
- 1928 r., październik – montaż pierwszej sekcji łuku na Dawes Point. Wcześniej wykonano tunele w kształcie podkowy, schodzące z upadem 45° w dół, poniżej poziomu lustra zatoki. Zakotwiono w nich 128 kabli, każdy złożony z 217 pojedynczych drutów; łączna długość drutów – 25 600 km. Kable zamocowano w płytach stalowych. Taki sposób utwierdzenia wspornikowo budowanych odcinków łuku, zaproponowany przez Georges'a Imbaulta i Ralpha Freemana, był sprawdzony przez nich w moście na Zambezi w Afryce.
- 1929 r., maj – osadzenie drugiego przedziału łuku.
- 1929 r., sierpień – montaż czwartego przedziału łuku od strony południowej, na Dawes Point (fot. 1a).
- 1929 r., listopad – budowa łuków od wezglowi na brzegu północnym, na Milsons Point.
- 1930 r., styczeń – maj – montaż łuków; gotowe segmenty transportowano barkami z wytwórni i podnoszono dźwigami umieszczonymi na końcach wsporników pół-łuków (fot. 1b).
- 1930 r., 19 sierpnia – połączenie obu połówek łuku w zworniku (fot. 1c).
- 1930 r., od października – montaż pomostu.
- 1932 r., luty – most gotowy; próbné obciążenie w styczniu i lutym 1932 r. z użyciem 96 parowozów.

Budowę rozpoczęto 28 lipca 1923 r., ukończono w lutym 1932 r. a otwarto 19 marca 1932 r. Prace trwały przez cały okres Wielkiego Kryzysu (1923–1932), co niewątpliwie miało

wpływ na niespieszny postęp prac. W efekcie zaprzepaszczone szansę na ustanowienie rekordu rozpiętości prześła przez Australijczyków, bowiem w latach 1928–1931 powstał stalowy most łukowy Bayonne w Nowym Jorku o rozpiętości łuku 503,60 m – większej o 60 cm! Jednak tamten most przenosi znacznie mniejsze obciążenia drogowe, dzięki czemu masa jego łuku (16 520 t) jest ponad dwukrotnie mniejsza niż masa łuku mostu w Sydney (38 390 t).

Całkowita masa stalowej konstrukcji Sydney Harbour Bridge wynosi 53 tys. ton, przy czym 79% wytworzono w Anglii, w przedsiębiorstwie Dorman Long, a w 21% pochodzi z wytwórni australijskich. Do połączenia stalowych elementów użyto około 6 mln nitów. Koszty budowy zwiększyły się do 10 mln ówczesnych funtów i spłacono je całkowicie dopiero w 1988 r.

W pierwszym roku po wybudowaniu mostem przejechało 29 mln pojazdów i liczba ta rosła w kolejnych latach, aż w 1990 r. osiągnęła 66 mln. Zmalała po 1992 r., kiedy w po-



Fot. 1. Etapy montowania łuku – zdjęcia plansz wystawionych w muzeum mostu: a) utwierdzenie łuku na czas budowy liniami kotwionymi w tunelach, b) stan montażu na początku 1930 r., c) zwiarcie łuku w sierpniu 1930 r.



Fot. 2 Widok mostu portowego z różnych miejsc: z lądu i wody

blizu otworzono tunel pod zatoką (rys. 1), lecz po następnych kilkunastu latach ponownie osiągnęła dawną wartość.

Dziś Sydney Harbour Bridge (fot. 4) jest najszerszym mostem na świecie i piątym pod względem rozpiętości stalowym mostem łukowym. Prowadzi sześć pasów ruchu samochodowego na pomoście głównym i dwa dodatkowe po stronie wschodniej, w miejscu dawniejszych torów tramwajowych, chodnik dla pieszych po stronie wschodniej oraz dwa tory kolejowe i ścieżkę rowerową po stronie zachodniej. Na grzbiecie wschodniego łuku otwarto w 1988 r. ścieżkę dla zwiedzających, z której rozpościera się niezapomniany widok na zatokę, most, operę i miasto.

Spór o autorstwo dzieła

Współpraca twórców mostu trwająca kilkanaście lat, licząc od pierwszych kontaktów w Londynie, aż po uroczyste jego otwarcie, układała się zrazu zgodnie. Jednak w miarę jak ostateczny sukces stawał się coraz bliższy, ujawniały się napięcia – Bradfield i Ralph Freeman starli się na tle praw autorskich do projektu mostu w Sydney, co znalazło odbicie w brytyjskiej prasie. Firma Dorman Long oświadczyła nawet, że będzie skarżyć rząd Nowej Południowej Walii, jeżeli nazwisko Bradfielda jako głównego projektanta zostanie uwiecznione na tablicy pamiątkowej na moście.

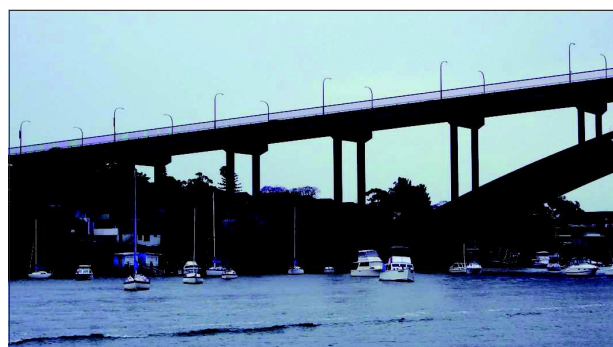
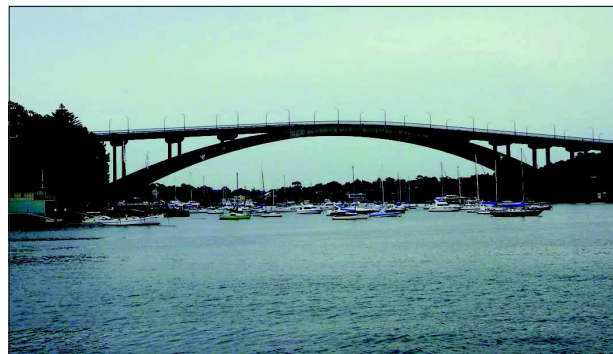
Przytoczę zatem końcowe zdania z książeczki [2], którą można nabyć w istniejącym przy moście muzeum – wystawie fotogramów dokumentujących historię budowy, na podstawie

której powstał niniejszy opis. Z oczywistych względów podkreśla ona rolę miejscowego inżyniera, która rzeczywiście wykraczała poza obowiązki „Inspektora Nadzoru Inwestorskiego”

„...Podczas gdy Bradfield wyznaczył specyfikacje przetargu, Freeman, zgodnie z warunkami kontraktu, był odpowiedzialny za projekt, który był następnie sprawdzony przez Bradfielda. Bradfield miał ostateczną decyzję we wszystkich sprawach związanych z mostem. Ustalono, że w razie niepowodzenia w budowie, zawalenia, jedynie on ponosi odpowiedzialność. To jego krytykowano za dekoracyjne, licowane granitem wieże na obu końcach przęsła łukowego (nie mające uzasadnienia konstrukcyjnego). Freeman natomiast udowodnił, że prace nad projektem przęsła łukowego rozpoczął zanim jeszcze włączono je do przetargu”... Nie ma wątpliwości, że przy trzydziestoletnim zaangażowaniu w ten projekt, który z powodów politycznych i technicznych raz miał być realizowany, innym razem był powstrzymywany lub odwołany, most przez zatokę w Sydney istnieje dzięki Bradfieldowi, chociaż nie można umniejszać wkładu Freemana jako autora szczegółów konstrukcji tej monumentalnej i trwałej budowli [2].

W rezultacie napis na tablicy pamiątkowej na moście głosi: „Ogólny projekt i jego specyfikacje były przygotowane oraz całość budowy była nadzorowana w imieniu rządu Nowej Południowej Walii przez J.J.C. Bradfielda D. Sc. (Eng) M.E., M. Inst. C.E., M.I.E. Aust., Główny Inżynier, Ralph Freeman M. Inst. C.E., M. Am. Soc. C.E. był konsultantem i inżynierem z ramienia firmy budowlanej”. Tablica wspomina również udział Lawrence Ennisa – kierownika budowy z firmy Dorman Long.

Mając na uwadze, że nośność i trwałość mostu stalowego zależy nie tylko od samej koncepcji ustroju nośnego, lecz w wielkiej mierze od dopracowania szczegółów, można nie podzielać zacytowanych opinii. Jeśliby spór ten przyrównać do oceny, w kogo wdał się młody, dobrze zapowiadający osobnik: w ojca, matkę, czy może w nauczycieli, kształtujących go w dzieciństwie, to wbrew zacytowanym z [2] sugestiom – „ojcostwo” dzieła przyznałbym Freemanowi, choć wiele wskazuje, że wpływ „matki” był przemożny. Pozycja Bradfielda była tak silna, że prawdopodobnie to właśnie on, zauroczony mostem Hell Gate w Nowym Jorku narzucił koncepcję układu konstrukcyjnego. Kształt głównego przęsła Sydney Harbour Bridge, wieże stojące przy łuku, ich proporcje i wiele innych jego elementów tak dalece przypominają most w Nowym Jorku, że by odróżnić je na zdjęciach, trzeba policzyć wieszaki, których w Hell Gate jest 16, a w Moście Portowym w Sydney – 21 lub porównać układ krzyżulców w środkowym przedziale – w kluczu łuku. Doceniając ten niewątpliwym, a pomijany w opisach wpływ twórcy mostu na Manhattanie, 82-letniego w chwili otwarcia mostu i spornej tablicy – Gustawa Lindenthala, zgódźmy się na nowe określenie ikony Sydney, użyte w tytule – „Wrota Australii”, naśladujące nazwę mostu nowojorskiego – „Wrota Piekieł”.



Fot. 3. Gladesville Bridge

Inne, wyjątkowe budowle nad zatoką Sydney wznoszone wśród protestów mieszkańców

Niemniejsze i niewiele krótsze perypetie towarzyszyły powstaniu gmachu opery. Zaproponowany kształt budowli i rosnące koszty jej wzniesienia wywoływały gorące emocje, a nawet rozruchy. Opera miała być otwarta w 1963 r. i kosztować 7 mln USD, a wykonywano ją 10 lat dłużej za sumę 100 mln USD.

Most Portowy i operę można podziwiać z różnych perspektyw: z lądu, z wysokich budowli – w szczególności ze szczytu wieży mostowej przy południowym węzłowi łuku i z podniebnej ścieżki poprowadzonej po wschodnim łuku mostu, a także ze stateczków pływających po zatoce. Rejs nimi prowadzi wokół opery, pod mostem i w głąb zatoki, aż do linii wspomnianej wcześniej trasy obwodowej z końca XIX w., prowadzącej 5. mostami po zachodniej części zatoki. W drugiej połowie XX w. powstały tam nowe mosty w miejsce wcześniejszych, a dwa z nich są wyjątkowo efektowne. Jednym jest most Gladesville (fot. 3) nad szerokim ujściem rzeki Parramatta do zatoki, drugim – Anzac Bridge, zastępujący dawny Glebe Island Bridge. Ich budowie także towarzyszyły protesty.

Nowy most Gladesville wzniesiono około 300 m na wschód od dawnego – zawieszono nisko nad wodą, wąskiego na dwa tory tramwajowe i po jednym pasie ruchu samochodowego w każdym kierunku, na którym ruch bywał zatrzymywany, by po uniesieniu przęsła ruchomego przepłynęły statki parowe i wysokie żaglowce. Po nowym – wysokowodnym, biegnie sześciopasowa autostrada. Zbudowano go w latach 1959-1964, zapewniając 40,7 m prześwit pod podniebieniem łuku. Długość mostu to 488 m. Rozpiętość łukowego przęsła z betonu – 305 m, była w chwili wybudowania osiągnięciem rekordowym. Łuk utworzono z wielkowymiarowych prefabrykatów betonowych (6,1×6,9 m), transportowanych drogą wodną (barkami) i ustawianych na stalowych krążynach. Sty-

ki prefabrykatów zabetonowano, a następnie uniesiono półki łuku przez rozsuniecie ich prasami hydraulicznymi, jak to niegdyś czynił Eugene Freyssinet. Ten słynny francuski inżynier opiniował projekt mostu Gladesville opracowany przez angielską firmę Maunsell & Partners, a jego rekomendacje przesądziły o rozstrzygnięciu przetargu.

Nowy most Anzac (fot. 4), z najdłuższym w Australii przęsłem podwieszonym rozpiętości 345 m, zastąpił Glebe Island Bridge. Otwarty w grudniu 1995 r. ma 805 m długości, pylony wysokości 120 m i betonowy pomost. Pomost ten wykonywano wspornikowo, podwieszając na cięgnach kolejne odcinki. Po otwarciu mostu ujawniły się drgania cięgien podwieszających, które zanikły po dodatkowym połączeniu ich cienkimi linami. Krytyka nie oszczędziła samej koncepcji mostu, zarzucając twórcom rozrzutność, bowiem w czasie powstawania projektu, zatoka, do której prowadził przestała być odwiedzana przez wysokie statki. Początkowo nowy most nosił nazwę dawnego. Obecną nadano 11 listopada 1998 r. w 80. rocznicę zawieszenia broni po I wojnie światowej. Pochodzi ona od skrótu nazwy połączonych armii – Australian and New Zealand Corps, walczących w tamtej wojnie „ramię w ramię”. Od tej pory szczyty pylonów wieńczą flagi Nowej Zelandii i Australii.

Pierwszy most Iron Cove na szlaku okrężnym prowadzącym na północną stronę zatoki, otwarty w 1882 r., został wykonany z kutego żelaza. W 1939 r. zapadła decyzja jego wymiany. Prace projektowe rozpoczęto w 1942 r., budowę w 1947 r., a most otwarto 30 lipca 1950 r. Obecny most jest kolejnym, ukończonym 30 stycznia 2011 r.

Nowy most Fig Tree otwarty w grudniu 1965 r. nad przemykiem bocznej zatoki, zastąpił most wzniesiony w końcu XIX w., bardziej na zachód. Szeroki jak pozostałe mosty na tej trasie, jest ramownicą opartą na łuku.



Fot. 4. Most Anzac



Fot. 5. Most Tarban Creek

Wkrótce po wykonaniu mostu Gladesville, krytykowane plany budowy Autostrady Północnej zostały zarzucone. Drogi o parametrach autostrady, która objęła i połączyła wszystkie te mosty, nie poprowadzono dalej. Jedynie położony na niej nowy i szeroki most Iron Cove został zbudowany później.

Bibliografia

- [1] D. J. Brown „Mosty – trzy tysiące lat zmagania z naturą”, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2007
- [2] M. Moy „Sydney Harbour bridge – idea to icon”, Wydawnictwo Alpha Orion Press, Ashgrove Australia 2009 ■



WITOLD PALECZEK

Politechnika
Częstochowska
witold.paleczek@wp.pl

Filtracja sejsmogramu w pasmach częstotliwości formantu głównego

Zagadnienie dotyczy analizy drgań określanych w literaturze technicznej jako drgania sejsmiczne. Powszechnie przyjmuje się, że drgania sejsmiczne powstają w wyniku trzęsień naturalnych, które omówiono przykładowo w pracach [6, 7]. Natomiast drgania powstałe w wyniku działalności człowieka określane są mianem drgań parasejsmicznych [1, 3]. W obu przypadkach drgania powierzchni terenu mogą być rejestrowane w postaci sejsmogramów. Z uwagi na sposób rejestracji takich drgań rozróżniane są sejsmogramy przemieszczeniowe, prędkościowe lub akcelerogramy (sejsmogramy przyspieszeniowe). Zdyskretyzowane wartości z wykresu drgań nazywanego sejsmogramem uzyskiwane są z odpowiednią częstotliwością, która nosi nazwę częstotliwości próbkowania. Zatem częstotliwość próbkowania jest taką liczbą informacji zawartych we fragmencie sejsmogramu, którą uzyskuje się w czasie jednej sekundy. Rejestrację elektroniczną drgań można wykonywać przy różnych częstotliwościach próbkowania, a częstotliwość ta powinna być co najmniej dwukrotnie większa od najwyższej analizowanej częstotliwości drgań. Drgania analizowane są najczęściej w dwóch dziedzinach: w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości. Analiza drgań w dziedzinie czasu umożliwia między innymi ich filtrację czasową, analizę przejść przez zero, obliczanie parametrów statystycznych sejsmogramu. Z kolei

analiza widmowa sejsmogramu wykonywana jest na przykład w celu określenia chwilowej mocy drgań. Analizę widmową wykonuje się w dziedzinie częstotliwości. Przejście z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości realizowane jest najczęściej przy zastosowaniu dyskretnej transformacji Fouriera, której odmianą algorytmiczną jest FFT (*Fast Fourier Transform* – szybka transformacja Fouriera). Analiza taka umożliwia uzyskanie informacji o największej energii drgań w tych pasmach częstotliwości, w których energia drgań jest największa. Pasma, przy których występuje największa energia drgań, nazywane także formantami, charakteryzują się proporcjonalnością do iloczynu kwadratów częstotliwości oraz amplitudy drgań [5, 9]. Omawiana zależność wykorzystywana jest w elektroakustyce do uzyskiwania obwiedni charakteryzujących barwę w analizowanym sygnale akustycznym. Poprzez analogię wykresów drgań sejsmicznych (uzyskiwanych z sejsmogramów) do wykresów drgań akustycznych (uzyskiwanych w formie zdyskretyzowanej) można wykorzystać algorytmy bazujące na FFT do analizy formantów w sejsmogramie. Takie badanie numeryczne można przeprowadzić w celu określenia pasma częstotliwości, przy których energia drgań sejsmicznych jest największa [1, 2, 3, 8].

Prezentowane zagadnienie może znaleźć zastosowanie na przykład przy określaniu wyężenia materiału elementów konstrukcyjnych budowli narażonych na obciążenia sejsmiczne, których rozkład energii drgań rozważany jest