



Most Aizhai [22]

Dwustuletnia historia rozwoju nowoczesnych mostów wiszących, cz. 3. Wiek XXI

tekst: KRZYSZTOF DĄBROWIECKI

W ciągu ostatnich 30 lat Chińska Republika Ludowa (ChRL) wdrożyła największy na świecie program projektowania i budowy dróg i mostów. Skoncentrował się on głównie w trzech strategicznych regionach kraju, w środkowym i dolnym biegu rzeki Jangcy, środkowym i dolnym biegu Rzeki Perłowej oraz w deltach obu tych rzek. Nowe konstrukcje stały się ważnymi kanałami ekspansji ekonomicznej i społeczno-technologicznego rozwoju tych regionów.

Maorun Feng, były główny inżynier ministerstwa transportu ChRL, uważa, że chiński rozwój mostownictwa, uwarunkowany ogromnym zapotrzebowaniem, zmienił się zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Tak więc lata 80. XX w. to okres nauki i nadrobienia zaległości w dziedzinie budowy mostów, lata 90. to śledzenie rozwoju i ulepszanie konstrukcji, stosowanych materiałów i technologii, natomiast początek XXI w. to okres innowacji konstrukcyjno-materiałowych i zastosowania unikatowych rozwiązań w trudno dostępnych miejscach. Analizując wykaz najdłuższych mostów wiszących świata, łatwo można zauważyć, że z dziesięciu budowli o najdłuższych

przęsłach środkowych sześć zostało wybudowanych w ChRL. Jak żaden inny kraj na świecie, Chiny podjęły się budowy mostowych przepraw morskich o niespotykanej dotychczas skali. Przeprawy wodne, takie jak most Donghai, Hangzhou [1] czy Hongkong – Zhuhai – Makau [2], budzą podziw nie tylko przeciętnego obserwatora i użytkownika, ale w równej mierze ekspertów z branży konstrukcji mostowych.

Ogromny skok konstrukcyjno-technologiczny Chin jest widoczny niemalże we wszystkich kategoriach budowanych przepraw mostowych: most wiszący (Yangsigang Yangtze River, 1700 m), podwieszony (Sutong, 1088 m), o stalowych łukach

(Chaotianmen, 552 m, Lupu, 550 m [3]), o betonowych łukach (Wanxian, także Wanzhou, 425 m) i o dźwigarach wykonanych ze sprężonego betonu (Shibanpo, 330 m). Szczególnie interesujące pod względem technicznym są osiągnięcia chińskich inżynierów w budowie mostów w górzystych terenach zachodnich prowincji Guizhou, Hubei, Yunnan i Chongqing. Właśnie na granicy prowincji Guizhou i Yunnan znajduje się najwyższy most podwieszony na świecie – Duge (2016). Jego pomost o rozpiętości przęsła 720 m między betonowymi pylonami wznosi się 564 m ponad powierzchnią rzeki. Natomiast w miejscowości Yesanguanzhen w prowincji Hubei znajduje się most wiszący przez rzekę Sidu (2009). Jego główne przęsło o rozpiętości 900 m znajduje się 496 m nad lustrem wody.

Transformacja z pomocą Zachodu

Sukces pierwszych mostów podwieszonych w latach 90. XX w. zachęcił suwerennie rządzące się prowincje chińskie do realizowania kolejnych przepraw mostowych, a chińskim inżynierom dał szansę na urealnienie coraz to odważniejszych pomysłów projektowych. Przedstawiciele prowincji zaczęli odwiedzać kraje zachodnie i zapraszać zagraniczne firmy do udziałów w nowych programach, zlecając usługi konsultingowe. Wśród zapraszanych znalazły się m.in. takie znane firmy, jak amerykańska Tung-Yen Lin (TY Lin) International Group, japońska Chodai czy niemiecka Leonhardt. Za pośrednictwem przedstawicielstw i firm doradczych kupowano specjalistyczny sprzęt w Niemczech, Wielkiej Brytanii, Włoszech i we Francji. Masowo sprowadzano dźwigi, szalunki ruchome do odlewania betonu, duże złącza przesuwne, tłumiki drgań czy zaawansowane urządzenia do montażu pylonów. Równocześnie z rozbudową infrastruktury wyposażano instytuty naukowo-badawcze w nowoczesne oprogramowanie, kupowane od takich firm, jak Ansys (USA), Midas (Korea), TDV (Austria) czy Lukas (Wielka Brytania). Nowe, zaawansowane oprogramowanie stało się niezbędne w powstałych instytutach do przeprowadzania obliczeń wytrzymałościowych projektowanych konstrukcji. W przypadkach skomplikowanych projektów zatrudniano światowej renomy firmy do wykonania studiów przedprojektowych, uczestnictwa w fazie projektowania, do udziału w budowie lub prowadzenia nadzoru w trakcie budowy. W ten sposób partnerami w wielu przedsięwzięciach stały się m.in. takie firmy, jak Orup, MacDonald, COWI czy Dorman Long Technology. Z tego powodu, nie umniejszając osiągnięć chińskiej myśli techniczno-technologicznej, trzeba mieć świadomość aktywnego udziału i pomocy wielu krajów świata we wszystkich fazach procesu technicznej transformacji mostownictwa w Chinach.

Most Runyang w Chinach

Most przez Jangcy w mieście Jiangyin w prowincji Jiangsu, ukończony w 1999 r., był pierwszym mostem wiszącym w dolnym biegu rzeki Jangcy i pierwszym mostem zbudowanym w Chinach o długości przęsła ponad 1000 m. Miał on wówczas rekordową długość 1385 m. Zastosowanie ortotropowego dźwigara o szerokości 32 m i głębokości 3 m oraz betonowych pylonów ukazuje wyraźny wpływ europejskiej koncepcji projektowania mostów o długich przęsłach. Pomyślne zakończenie tej budowy przyspieszyło rozwój mostów wiszących w innych regionach Chin. Do końca 2008 r. oddano do użytku 20 mostów

wiszących o rozpiętości przęsła głównego ponad 600 m, w budowie było kolejnych 10 konstrukcji przekraczających 1000 m.

Oddana do użytku w 2005 r. przeprawa Runyang przez Jangcy w prowincji Jiangsu składa się z dwóch mostów. W północnej odnodze rzeki został wybudowany podwieszony most wantowy o rozpiętości głównego przęsła 406 m, w południowej – most wiszący o nowej, rekordowej rozpiętości przęsła 1490 m. Betonowe pylony o wysokości 215 m są postawione na fundamentach 70 x 50 x 29 m. Stalowy, ortotropowy ustrój nośny o szerokości 39 m i głębokości 3 m podtrzymywany jest przez dwie liny nośne o średnicy 0,868 m. Usytuowanie pylonów na lądzie umożliwiło podprowadzenie do nich z obu stron wiaduktów. Jest to więc pierwszy most wiszący o długim przęsle, w którym pionowe liny wieszakowe wspierają tylko przęsło środkowe. Projektanci udowodnili możliwość zastosowania trzymetrowej głębokości dźwigara, mimo że rozpiętość mostu wiszącego została zwiększona powyżej poprzednich limitów. Niels J. Gimsing, profesor Technical University of Denmark, w książce *Cable Supported Bridges. Design and Concept*, przywołując liczne przykłady, potwierdza, że użycie mniejszej głębokości profilowanego dźwigara skrzynkowego ma ogromną zaletę, zmniejszając znacząco opór wiatru w rejonie pomostu. Jednak aby uniknąć inżynierskiego błędu Moisseiffa i powtórki z historii mostu Tacoma-Narrows, nieodzowne są zintensyfikowane badania i weryfikacja modeli. Dlatego współczesna inżynieria mostowa przywiązuje ogromną wagę do testów i wyników badań modelowych, na podstawie których dobierane są optymalne rozwiązania i definiowana jest prędkość krytyczna wiatru.

Most Xihoumen w Chinach

W 2009 r. ukończono budowę mostu Xihoumen w archipelagu wysp Zhoushan w południowej części zatoki Hangzhou w układzie rozpiętości przęsła 578 + 1650 + 485 m. Projekt ten ustanowił kolejny rekord długości głównego przęsła. Most Xihoumen znajduje się na obszarze intensywnych tajfunów, charakteryzujących się dużą prędkością i złożonymi warunkami hydrometeorologicznymi. Rygorystyczny wymóg prędkości projektowej wiatru dla początkowej fazy trzepotania wyniósł 78,7 m/s, dlatego projekt wymagał wnikliwych badań modelowych i obliczeń związanych z geometrią i sztywnością dźwigara. Na etapie badań modelowych zbadano i porównano trzy konfiguracje dźwigarów: podwójne dźwigary skrzynkowe



Most Xihoumen [27]

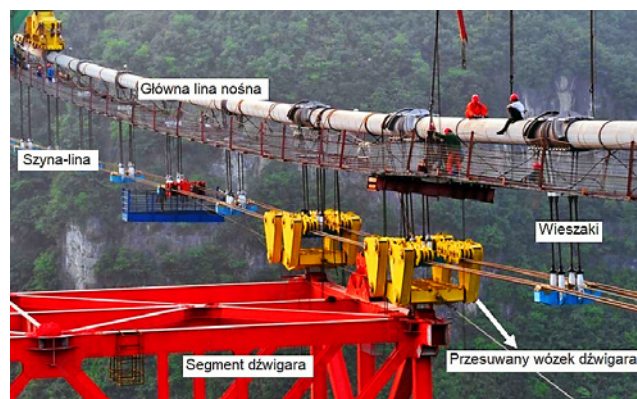
rozdzielone w środkowej części, podwójne sekcje skrzynkowe z otwartym, kratowym odstępem i pojedynczy dźwigar skrzynkowy, odpowiednio o głębokościach 3,5 m, 3,5 m i 5 m. Na podstawie badań aerodynamicznych wybrano rozwiązanie podwójnych, rozdzielonych w środku dźwigarów skrzynkowych. Przeprowadzono również symulację odstępów pomiędzy dźwigarami, biorąc pod uwagę odpowiednio odległości 5 m, 6 m i 6,5 m. Wybrano odstęp 6 m. Tak więc ostatecznym rozwiązaniem dla stalowego pomostu była konstrukcja złożona z dwóch dźwigarów skrzynkowych z odstępem o szerokości 6 m. Każdy z dźwigarów był o szerokości 15 m i głębokości 3,5 m. Dzięki takiemu rozwiązaniu konstrukcji prędkość wiatru została ustalona w granicach 88 m/s i była wyższa od wymaganej. Ciągły, stalowy pomost o rozpiętości 2428 m ustanowił nowy rekord dla najdłuższego dźwigar skrzynkowego w Chinach.

Most Taizhou w Chinach

W odległości 66 km od mostu Runyang została zbudowana kolejna przeprawa, która wzbudziła zainteresowanie wielu inżynierów mostownictwa. Wiszący most Taizhou jest pierwszą trójpylonową konstrukcją o rozpiętościach dwóch głównych przęseł dłuższych niż 1000 m. Całkowita długość przy konfiguracji przęseł 390 + 1080 + 1080 + 390 m wynosi 2940 m. Środkową podporę stanowi stalowy pylon o wysokości 203 m w kształcie odwróconej litery Y. Jego konstrukcja, ustalona na podstawie badań i obliczeń, odzwierciedla optymalny rozkład działających sił i momentów. Interesujący jest fakt, że skrajne, betonowe pylony są o 20 m niższe od środkowego. Poważnym wyzwaniem inżynierskim było wykonanie i zainstalowanie fundamentu pylonu w środku nurtu rzeki. Do budowy wykorzystano keson o wymiarach u podstawy 58 x 44 m i wysokości 76 m. Dla dogodnego posadowienia w nurcie rzeki został on podzielony na dwie części, po 38 m każda. Dolna część jest konstrukcją betonową o podwójnych ściankach stalowej powłoki, natomiast górna konstrukcją żelbetową. Keson został zatopiony w wodzie na głębokości 19 m i w warstwie osadu o grubości 55 m. Wykorzystano tutaj doświadczenia z montażu kesonów mostu Jiangyin, zbudowanego dekadę wcześniej.

Most Aizhai w Chinach

Przykładem konstrukcji wiszącej w trudno dostępnych górskich rejonach jest most Aizhai w prowincji Hunan o rozpiętości przęśla 1146 m, wzniesiony 330 m ponad dolinę. Innowacją w tym projekcie jest zastosowanie linowej techniki poziomego przesuwania (*rail-cable-shifting-girder* – RCSG) i instalowania do głównych lin nośnych segmentów stalowego dźwigar kratownicowego. Ze względu na trudne warunki transportu dużych elementów konstrukcji w rejonach górzystych oraz braku dostępu do żeglownych rzek, części dźwigar były montowane po obu stronach pylonów, a następnie podczipione do specjalnych wózków i przeciągane do miejsca końcowego montażu. System transportu sekcji dźwigarów składał się z dwóch torów kablowych po każdej ze stron głównych lin nośnych. Liny torów kablowych zostały zakotwiczone w skałach po obu stronach doliny i na całej długości podtrzymywane były przez pionowe wieszaki głównych kabli mostu. Ruchome wózki z gotowymi sekcjami kratownicy, poruszając się po torach kablowych, przeciągane były przez wciągarki do miejsca montażu



Most Aizhai [Google Map]

do lin głównych. Według autorów publikacji Uniwersytetu w Changsha *Pseudo-Static Analysis on the Shifting-Girder Process of the Novel Rail-Cable-Shifting-Girder Technique for the Long Span Suspension Bridge* [4], nowa metoda jest bardziej ekonomiczna od tradycyjnych i bardziej efektywna przy montażu K-typu kratownicowych dźwigarów długich przęseł w warunkach górskich. Okres montażu dźwigarów o długości 1000 m mostu wiszącego Aizhai trwał zaledwie 2,5 miesiąca. Dla weryfikacji obliczeń teoretycznych transportowanych segmentów dźwigar, reakcji pylonów i lin nośnych pod obciążeniem w Centrum Konstrukcji Uniwersytetu Changsha wybudowano model mostu w skali 1:33 o całkowitej długości 48,43 m. Przesuwane ciężary wykorzystano do symulacji ruchu i położenia dźwigu poprzecznego, ciężaru własnego wózka z obciążeniem oraz transportu i położenia segmentów dźwigar. Uzyskane wyniki odchylenia pylonów, sił i ugięcia kabli głównych, sił i ugięcia w linach kabla szynowego porównano z obliczeniami teoretycznymi. Rozbieżności były mniejsze niż 5%, a więc w dopuszczalnych granicach. Pozytywne wyniki testów spełniły wymóg praktycznego zastosowania inżynierskiego, akceptując metodę RCSG do budowy mostów nad głębokimi dolinami górskimi.

Most Yi Sun-sin w Korei Południowej

Innym przykładem nowoczesnej konstrukcji, która przyczyniła się do rozwoju inżynierii lądowej w Korei Południowej i dokonała znaczącego wkładu w rozwój regionu, był wybudowany w 2012 r. most Yi Sun-sin. Łączy on rejon przemysłowy Yeosu z portem morskim. Rozpiętość głównego przęśla wynosi 1545 m i jest rekordowa dla konstrukcji koreańskich. Betonowe pylony o wysokości 270 m są jednymi z najwyższych na świecie



Most Yi Sun-sin [Google Map]

i były wykonane metodą przesuwaną form. Zgodnie z nowym trendem, zaprojektowany dźwigar usztywniający w postaci podwójnej, stalowej konstrukcji skrzynkowej zapewnia dużą stabilność aerodynamiczną w strefie tajfunów. Główne liny nośne zostały złożone z drutów o wytrzymałości 1860 MPa, co stanowiło w tamtym czasie najwyższą wytrzymałość materiałów na świecie stosowanych w kablach mostów wiszących. W kontekście projektowania i budowy mostu Yi Sun-sin można zaobserwować ciekawą światową tendencję. Niektóre istotne części konstrukcji są tak projektowane, aby nawiązywały do patriotycznych dat lub narodowych symboli. W przypadku tego mostu nie tylko nazwa, ale i długość przeszła – 1545 m – nawiązują do bohatera narodowego z okresu wojen i batalii morskich z Japonią, admirała Yi Sun-sin, który urodził się w 1545 r.

Most Hardanger w Norwegii

W Europie na szczególną uwagę zasługuje wybudowany w Norwegii (2013) most Hardanger. Przeprawa ta o całkowitej długości 1380 m zastąpiła istniejące połączenie promowe między Bruravik i Brimnes i znacznie skróciła czas przejazdu między Oslo a Bergen. Prześło główne mostu ma długość 1310 m i jest o 30 m dłuższe od przęsła Golden Gate w San Francisco. Mała różnica między długością a rozpiętością wynika z tego, że ze względu na strome zbocza fiordu betonowe pylony zostały umiejscowione blisko skał. Liny nośne o średnicy 0,6 m, przechodzące przez pylony o wysokości 200 m, podtrzymują pomost o dwóch pasach ruchu dla samochodów (2 x 4,5 m) i 3,25-metrowy pas przeznaczony dla pieszych.



Most Hardanger [Google Map]



Most Hardanger – montaż sekcji pomostu [Google Map]

Stalowy dźwigar skrzynkowy osiąga szerokość 20 m i wznosi się 55 m ponad poziomem wody. Całkowity projekt, oprócz mostu, objął drążenie tunelu o długości 2,4 km i połączenie drogowe między tunelem a mostem. Norweska konstrukcja mostowa jest przykładem zastosowania zintegrowanej komputerowej procedury projektowania dużego mostu wiszącego. Norweski zarząd dróg, Statens Vegvesen, we współpracy z TDV z Grazu w Austrii, dostawcą pakietu oprogramowania RM2006, nadzorował prace projektowe i wykonawcze. TDV na przykładzie tej konstrukcji przedstawił procedurę projektowania obejmującą znalezienie optymalnego kształtu mostu, symulację montażu i szczegółową analizę z uwzględnieniem geometrycznej nieliniowości i obciążeń dynamicznych, takich jak wibracje wywołane wiatrem w tym wyjątkowym miejscu.

Most Yavuz Sultan Selim w Turcji

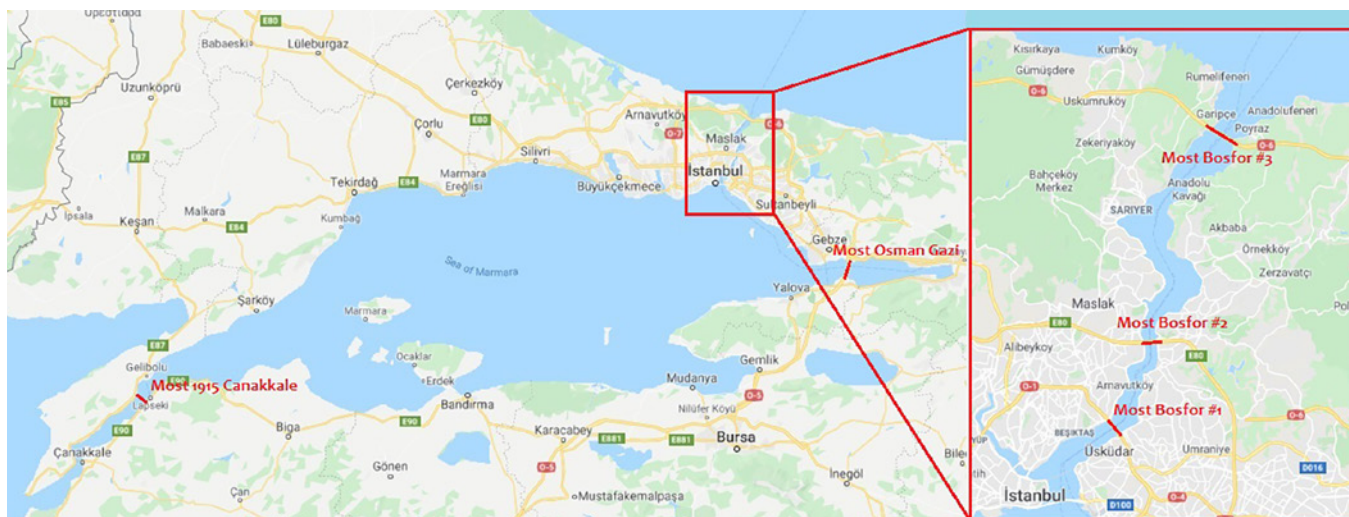
W zakresie znaczących osiągnięć inżynierii mostowej rok 2016 należał do zdecydowanie do inżynierów i wykonawców tureckich, aktywnie wspomaganym przez zachodnioeuropejskie i koreańskie firmy. W tym roku oddano do użytku dwie rekordowej wielkości inwestycje: most wiszący Yavuz Sultan Selim (most Selima Groźnego, tzw. trzeci most bosforski) i Osman Gazi. Infrastruktura transportowa w rejonie Istambułu i basenie morza Marmara odgrywa kluczową rolę w społeczno-ekonomicznym rozwoju Turcji. Metropolia Istambułu, licząca 18 mln mieszkańców, łączy w tym rejonie dwa kontynenty – Europę i Azję. W wyniku stałego wzrostu ludności, a w konsekwencji zwiększonego ruchu, budowa dogodnego i szybkiego połączenia ma w tym regionie duże znaczenie. W ostatnich 50 latach w obrębie miasta i jego okolicach wybudowano cztery mosty wiszące: 15 July Martyrs (pierwszy most bosforski, 1973), Fatih Sultan Mehmet (most Mehmeda Zdobywcy, drugi most bosforski, 1988), Yavuz Sultan Selim (most Selima Groźnego, trzeci most bosforski, 2016) i Osman Gazi (2016). W trakcie budowy jest piąty most, Çanakkale 1915 (2022), przez cieśninę Dardanele.

Dwie pierwsze konstrukcje, zaprojektowane przez brytyjskie biuro inżynierskie Freeman Fox & Partners, przypominają pod względem architektonicznym mosty Humber i Severn. Stalowe pylony w kształcie zmodyfikowanej litery A, o wysokości odpowiednio 110 m i 165 m, podtrzymują aerodynamiczne, skrzynkowe dźwigary. Głębokość ustrojów nośnych wynosi 3 m przy szerokości odpowiednio 34 m i 39 m i rozpiętości przęsła między pylonami w granicach 1100 m.

Trzeci most bosforski nazwany imieniem Selima Groźnego został zaprojektowany na podstawie koncepcji dwóch



15 July Martyrs [Google Map]



Lokalizacja mostów w rejonie morza Marmara [Krzysztof Dąbrowiecki]

inżynierów, Michela Virlogeux i Jeana-François Kleina, którzy wygrali ogłoszony na ten projekt konkurs. Koncepcja osobliwej przeprawy spełniała ważny warunek postawiony przez ministerstwo transportu Turcji, a mianowicie, że most ma być przeznaczony dla ruchu drogowego i kolejowego odbywających się na jednym poziomie. Powstała więc bardzo niekonwencjonalna, hybrydowa konstrukcja mostu wiszącego, nazwana HRSB (*highly rigid suspension bridge*). W ogólnym zamyśle konstrukcyjnym przypomina nieco most Brooklyński, jednakże w trzykrotnie większej skali. Projekt obejmuje dwa systemy wsparcia pomostu i mocowania lin, wantowy jak w mostach podwieszonych i wiszący z pionowymi wieszakami w części środkowej. Co ciekawe, środkowe, stalowo-ortotropowe przęsło podczipione jest na całej długości do głównych lin nośnych w osi podziału układu drogowo-kolejowego oraz częściowo do lin podwieszonych mocowanych na krawędziach pomostu. Betonowe przęsła boczne podtrzymywane są przez liny wantowe i mocowane równolegle do pomostu blisko osi przęsła. Jest to obecnie najszerszy drogowy, a w przyszłości, gdy zainstalowane zostaną kolejowe torowiska, najdłuższy kolejowy most wiszący na świecie. Konstrukcja mostowa o całkowitej długości 2164 m jest wsparta betonowymi pylonami o wysokości 322 m. Układ drogowy ma cztery pasy ruchu w każdym kierunku. Jest on oddzielony pasem przeznaczonym na dwutorową linię kolejową. Główne przęsło wisząco-podwieszone ma rozpiętość 1408 m.

Most Osman Gazi w Turcji

Kolejny most, Osman Gazi, o całkowitej długości 2907 m i przęśle środkowym 1550 m, jest obecnie najdłuższym mostem wiszącym w Turcji i drugim, po Great Belt, w Europie. Stanowi on fragment nowej autostrady Gebze – Orhangazi – Izmir, przechodzącej przez zatokę Izmir na morzu Marmara w północnej Turcji. Zaprojektowany został przez duńskie biuro inżynieryjne COWI. Budowę rozpoczęto w 2013 r. i ukończono w rekordowym czasie 38 miesięcy, w 2016 r. Trójprzęsłową konstrukcję wspierają zwężające się ku górze stalowe pylony w kształcie litery H o całkowitej wysokości 252 m. Postawione są na betonowych fundamentach, których podstawa zanurzona jest w morzu na głębokości ok. 40 m. Ustrój nośny o szerokości 30 m i głębokości 4,75 m został zaprojektowany dla trzech standardowych pasów ruchu w obu kierunkach. Aerodynamiczny kształt pomostu od wewnątrz został wzmocniony elementami kratownicy. Jak we wszystkich tego rodzaju konstrukcjach, przeprowadzono drobne badania modeli w tunelach aerodynamicznych, symulując zachowanie się mostu w warunkach wznoszenia

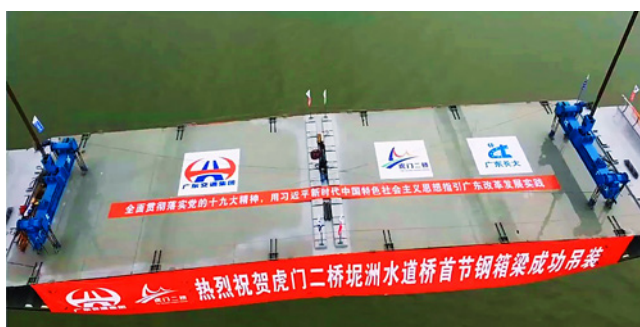
i eksploatacji. Model pomostu w skali geometrycznej 1:65 został przetestowany w laminarnym i turbulentnym przepływie w laboratorium FORCE Technology w Danii. W testach badano stabilność aerodynamiczną, wibracje indukowane przez wiry powietrza, statyczny współczynnik obciążenia i aerodynamiczne pochodne części pomostu z różnymi typami barier w zmiennych warunkach ruchu drogowego. Testy badanego modelu potwierdziły obliczenia projektowe. Dla tych samych warunków przetestowano aerodynamiczny model pylonu w skali 1:70 w BLWTL (Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory) w Kanadzie. Natomiast pełen model mostu w skali 1:220 był badany w laboratorium Politechniki Mediolańskiej we Włoszech. Bazowa prędkość wiatru 25,4 m/s została przyjęta na podstawie zmierzonych prędkości wiatru z trzech stacji meteorologicznych w pobliżu miejsca budowy. Krytyczna, modelowa prędkość wiatru dla niestabilności pomostu mierzona w poszczególnych testach wyniosła 58 m/s dla poziomego wiatru, a więc znacznie powyżej bazowej.

Most Nizhou Waterway w Chinach

W 2018 r. w wywiadzie dla chińskiego TransFORM Maorun Feng stwierdził, że dzięki 40-letniej praktyce i akumulacji wiedzy chińska inżynieria mostów stopniowo przekształciła się z „Made in China” do „Created in China”. Przeszła modernizację technologiczną i dokonała skoku technicznego od eksportu półfabrykatów do projektowania i udzielania konsultacji w tej dziedzinie. Dlatego jest zdania, że „chińska technologia mostów dogoniła międzynarodowy, zaawansowany poziom rozwoju, stając się potęgą w mostownictwie na skalę światową”. Niewątpliwym potwierdzeniem opinii Fenga są oddane do użytku w 2019 r. kolejne znaczącej wielkości mosty wiszące: Nizhou Waterway i Yangsigang Yangtze River. Obie konstrukcje mostowe mają zbliżoną długość przęsła środkowego, osiągając odpowiednio 1688 m i 1700 m. Różnią się jednak zasadniczo w koncepcji zaprojektowanego ustroju nośnego. Wydaje się, że chińskie biura projektowe i laboratoria tuneli aerodynamicznych nadal eksperymentują, poszukując optymalnego rozwiązania dla mostów o długich przęsłach. Europejskie rozwiązanie płytkiego, opływowego dźwigara skrzynkowego jest w dalszym ciągu poddawane modyfikacji i udoskonaleniom. Według opinii wielu autorów opracowań i analiz, nie do końca jest pewne, czy koncepcja wielopoziomowego dźwigara dla dużego natężenia ruchu w obrębie wielomilionowych aglomeracji miejskich nie jest najlepszym rozwiązaniem dla mostów o rozpiętości przęsła w granicach 2000 m.



Most Nizhou – montaż sekcji pomostu metodą DLT [28]



Most Nizhou – podnoszenie sekcji pomostu metodą DLT [28]

Ukończona w 2019 r. przeprawa Nizhou Waterway w południowych Chinach, nazywana także drugim mostem Humen, stworzyła bardzo potrzebne połączenie między Guangzhou (Kantonem) i Dongguan w rozwijającym się gospodarczo regionie delty Rzeki Perłowej. Rozciągająca się na długości ponad 12 km konstrukcja mostowa przecina drogi wodne, rzeki Dasha i Nizhou, będące częścią delty. Obszar ten jest kluczowym regionem dla handlu zagranicznego i globalnego centrum produkcyjnego. Jest on częścią zaplanowanej wielkiej infrastruktury obszaru zatoki Guangdong – Hongkong – Makao. Wraz z mostem Huangpu na północy i mostem Hongkong – Zhuhai – Makao oraz będącym w budowie mostem Shenzhen – Zhongshan na południu, drugi most Humen wzmocni współpracę gospodarczą miast w rejonie delty. Most wiszący Nizhou o asymetrycznej konfiguracji 658 + 1688 + 522 m jest obecnie trzecim najdłuższym mostem wiszącym na świecie. Żelbetowe pylony mają wysokość 257 m, rozstaw kabli nośnych o średnicy 1,0 m wynosi 42,1 m. Dwa kabłe nośne podtrzymują stalowy, opływowy, ortotropowy pomost skrzynkowy o szerokości 49,7 m i głębokości 4,0 m. Brytyjska firma DLT Engineering, specjalizująca się w projektowaniu i budowie urządzeń dźwigowych, opracowała specjalistyczne urządzenie suwnicowo-dźwigowe do modułowego montażu 500 t sekcji pomostu. Mercedes Ascaso Til, główny inżynier projektu tego urządzenia, podczas prezentacji w Institution of Civil Engineers (ICE) w Londynie szczegółowo omówiła metodę transportu, podnoszenia i montażu wielotonowych modułów dźwigarów mostu wiszącego Nizhou. Warto pokrótce zapoznać się z charakterystyką tej metody, gdyż zostanie ona zastosowana również na budowanym obecnie najdłuższym wiszącym moście świata, Çanakkale 1915 w Turcji, gdzie Mercedes Ascaso Til jest odpowiedzialna za projekt suwnicowego podnoszenia i montażu sekcji pomostu. Modułowa, uniwersalna konstrukcja dźwigowa jest montowana na rozpiętych wcześniej kablach nośnych.

Może podnosić sekcje pomostu w dowolnym miejscu, w tym także w sąsiedztwie pylonów. Uniwersalność metody polega na możliwości jej zastosowania dla różnych rozpiętości pomiędzy głównymi linami i średnicy głównych kabli. Tabela poniżej przedstawia parametry urządzenia podnośnego dla mostu Nizhou. Suwnica przesuwa się po linach głównych, wsparta dwoma parami wózków po każdej ze stron, wyposażonymi w zespół podnośników hydraulicznych umożliwiających przekraczanie opasek wieszaków o długości do 1,9 m i wysokości 0,3 m. Wyprofilowane, dostosowane do średnicy lin głównych nylonowe koła wózków mają średnicę 0,6 m. Na kratownicy suwnicy zlokalizowane zostały kabina sterownicza, generator zasilania i zespół zasilania hydraulicznego. Metoda takiego montażu pomostów może być stosowana, jak podaje DLT, w warunkach atmosferycznych do IP 65 (*ingress protection* 65) i w temperaturach do -10°C . Wszystkie operacje są sterowane komputerowo, co ułatwia obsługę, synchronizację i dużą precyzję podnośników podczas podnoszenia części pomostu i w trakcie ich montażu.

Tab. 1. Parametry urządzenia podnośnego dla mostu Nizhou

Bezpieczne robocze obciążenie	500 t
Odległość pomiędzy punktami podnoszenia	34,6 m
Max. długość sekcji pomostu	12,8 m
Max. szerokość sekcji pomostu	49,7 m
Max. wysokość sekcji pomostu	4 m
Odległość pomiędzy osiami lin głównych	42,1 m
Max. kąt nachylenia lin głównych	26°
Prędkość podnoszenia	35 m/h z obciążeniem
Prędkość opuszczania	70 m/h bez obciążenia
Prędkość przesuwania	30 m/h

Most Yangsigang Yangtze River w Chinach

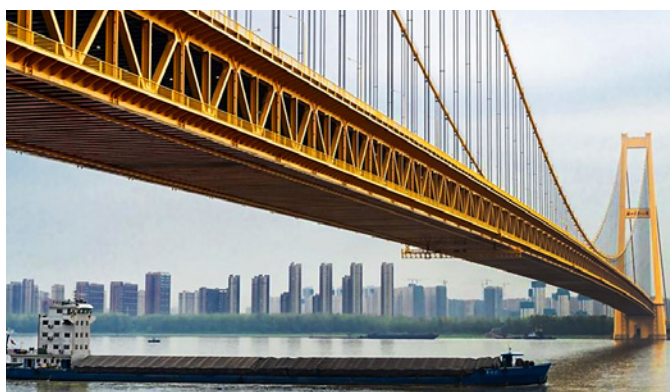
Most Yangsigang Yangtze River przez Jangcy znajduje się w Wuhan w chińskiej prowincji Hubei. Jest to dwupoziomowa konstrukcja wisząca z kratownicowym przęsłem o głębokości 10 m i rozpiętości 1700 m. Xu Gongyi, zastępca głównego inżyniera China Railway Bridge i główny projektant tej przeprawy,



Most Yangsigang Yangtze River przez Jangcy [19]



Pomost mostu Yangsigang Yangtze River [19]



Kratownica mostu Yangsigang Yangtze River [19]

objaśnił w wywiadzie dla China News, że most o całkowitej długości 2,2 km został zaprojektowany dla szybkiego ruchu samochodowego jak na autostradach dla zwiększenia komunikacyjnej przepustowości. Dwa poziomy mają po sześć pasów ruchu każdy. Dodatkowo po obu stronach obiektu znajdują się również pasy dla niezmotoryzowanego ruchu i ścieżki dla pieszych, ponadto przewidziano osiem miejsc rekreacyjnych – platform widokowych. Jest to pierwszy dwupoziomowy most autostradowy przez Jangcy i – co więcej – konstrukcja o najbardziej kompletnej funkcji użytkowania w środowisku wielomilionowej aglomeracji miejskiej, jak również najdłuższy dwupoziomowy i drugi po względem długości przęsła środkowego most wiszący na świecie. W fazie projektowania przeprowadzono serię testów modelu przęsła w tunelu aerodynamicznym w Research Center for Wind Engineering w Southwest Jiaotong University. Wykazały one, że przy rozpiętości 1700 m występuje interferencja aerodynamiczna między górnym i dolnym poziomem drogowym. W porównaniu z podobnymi konstrukcjami mniejsza masa, sztywność i niższe tłumienie sprawiają, że konstrukcja jest wrażliwa na działanie wiatru. Pod jego wpływem mogą powstać znaczne przemieszczenia, a taki problem, jak trzepotanie i niestabilność aerostaticzna, może wpłynąć na bezpieczeństwo konstrukcji. Poza tym wibracje indukowane wirami wiatru (*vortex-induced vibrations – VIV*) i buforowanie mogą mieć wpływ na komfort użytkowników mostu. Dlatego dla zredukowania negatywnych skutków działania wiatru zaproponowano zainstalowanie pionowych stabilizatorów pod dolnym dźwigarem kratownicy mostu, które na podstawie ponownych testów istotnie poprawiły zachowanie się konstrukcji. Luo Ruihua, kierownik projektu Yangsigang Yangtze River Bridge, w wywiadzie dla TRANSFORM powiedział, że wybudowa

wana konstrukcja oprócz dużej rozpiętości przęsła głównego i przepustowości wprowadza nowe rozwiązania pozwalające na zwiększenie obciążenia projektowego, nowe materiały oraz inicjuje nową funkcję użytkową i nową technologię budowlaną. Kable nośne zostały zaprojektowane dla obciążenia 65 tys. t każdy, natomiast liny wieszakowe dla obciążenia 500 t na każdą linę. Konstrukcje pylonów o wysokości 241 m zostały ukończone w 300 dni, montaż kabli nośnych o średnicy 1,07 m z 271 wiązkami drutu ukończono w 82 dni. W ciągu 36 dni podczepiono 49 sekcji 1000-tonowych części dźwigara. Według projektantów, kolor złotej, jesienniej żółci konstrukcji nawiązuje do nowo otwartego Muzeum Mostów w Wuhan.

Zaplanowany do oddania w 2020 r. dwupoziomowy, drogowo-kolejowy wiszący most Wufengshan Yangtze River jest kolejnym przykładem potwierdzającym zaangażowanie się chińskiej inżynierii w dynamiczny rozwój mostownictwa zintegrowanego. Górny poziom z ośmioma pasami jest przeznaczony dla ruchu samochodowego o maksymalnej prędkości 100 km/h, dolny z czterema torami dla ruchu kolejowego dla pociągów o prędkości do 250 km/h. Rozpiętość przęsła wiszącego pomiędzy betonowymi pylonami wynosi 1092 m. Jest to pierwsza tego rodzaju konstrukcja mostowa wznoszona w Chinach.

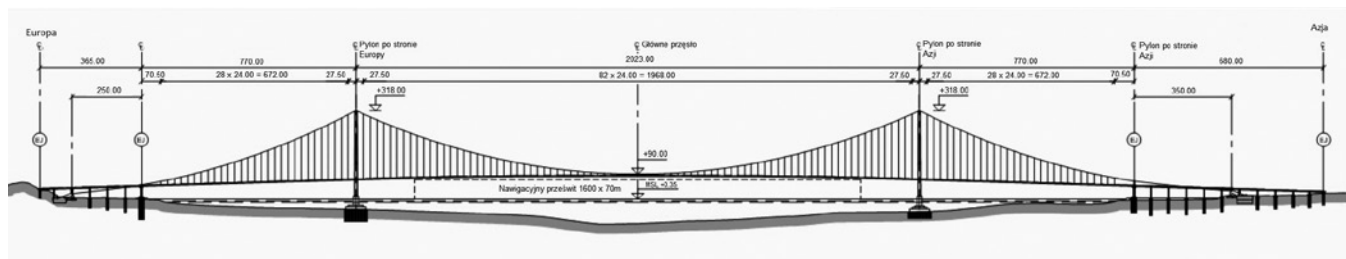
Most Çanakkale 1915 w Turcji

Wkrótce będziemy świadkami pobicia po raz kolejny światowego rekordu długości przęsła środkowego dla mostów wiszących. Ponad 20-letni rekord japońskiego mostu Akashi Kaikyō zostanie pobity o 32 m. Stanie się to za sprawą będącego w budowie tureckiego mostu Çanakkale 1915. Przeprawa ta jest częścią komunikacyjnej strategii rządu Turcji w obrębie morza Marmara, w ramach której budowany jest most przez cieśninę Dardanele. Połączenie to zapewni bezpośredni i szybki dostęp do południowo-zachodniej części Turcji. Przyspieszy rozwój gospodarczy w regionie zachodnim kraju i jednocześnie zmniejszy obciążenie ruchu w zatłoczonym Istantule. Lokalizację mostu w okolicach miejscowości Lapseki, po stronie azjatyckiej, wyznaczono w niewielkiej odległości od starożytnej Troi z *Iliady* Homera. Przez dogodniejszy dostęp do ruin i prowadzonych wykopaliisk zbudowany most z pewnością przyczyni się do jeszcze większej popularności miejsca uwięzienia pięknej Heleny i mitycznego konia trojańskiego.

Projekt mostu na zamówienie turecko-koreańskiego konsorcjum, wspartego przez 25 instytucji finansowych z 10 krajów,



Budowa mostu Çanakkale 1915 [10]



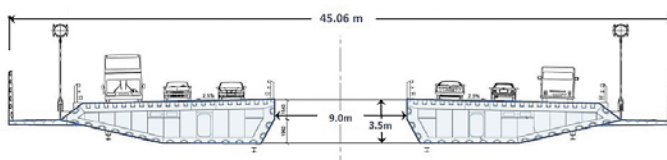
Most Çanakkale 1915 – przekrój wzdłużny [16, Krzysztof Dąbrowiecki]

został przygotowany przez COWI, duńskie biuro projektowo-konsultacyjne, wspólnie z koreańskim PEC (Pyunghwa Engineering Consultants Ltd). Konstrukcja o całkowitej długości 4608 m zaprojektowana jest w konfiguracji przęseł 770 + 2023 + 770 ze stalowymi pylonami o wysokości 318 m. Wymiary przęśla 2023 m i pylonu 318 m mają dla narodu tureckiego symboliczne znaczenie, gdyż w 2023 r. Turcja będzie obchodzić setną rocznicę powstania republiki, natomiast 18 marca 1918 r. stanowi ważną datę w historii państwa nawiązującą do zakończenia I wojny światowej i Dnia Pamięci poległych w bitwie o cieśninę Dardanele w latach 1915–1916. Nazwa mostu odwołuje się do walk narodowo-wyzwoleńczych w okolicach Çanakkale w okresie I wojny światowej. Niewątpliwie wybudowany most Çanakkale 1915 stanie się turecką wersją mostu Golden Gate dla Istambułu. Planowany termin oddania obiektu do użytku to marzec 2022 r. Prace są już mocno zaawansowane przy budowie dróg dojazdowych i wznoszeniu pylonów. Konstrukcja pomostu o całkowitej szerokości 45 m jest podzielona na dwa opływowe, zintegrowane dźwigary o głębokości 3,5 m z dziewięciometrowym odstępem między nimi. Szerokość dźwigarów umożliwia poprowadzenie trzech pasów ruchu w każdą ze stron. Główne liny nośne, o średnicy 0,945 m każda, są wykonane w systemie prefabrykowanych, równoległych wiązek drutu (*prefabricated parallel wire strand* – PPWS), mających najwyższą wytrzymałość materiałową dotychczas stosowaną (1960 MPa) w budowie mostów. Związujące się ku górze dwa pylony w czerwonym kolorze z białymi, profilowanymi ryglami nawiązują do kolorów flagi tureckiej, co jeszcze bardziej podkreśla patriotyczny charakter przeprawy. Użyte kolory wraz z długim i płytkim dźwigarem nadają konstrukcji wyraz wizualnej lekkości.

Inger Birgitte Kroon, dyrektor projektu z firmy COWI, w prezentacji przedstawionej podczas konferencji Teknologidagene 2019 w Trondheim w Norwegii, zwróciła uwagę



Model mostu Çanakkale 1915 podczas testów [10]



Most Çanakkale 1915 – przekrój poprzeczny [16, Krzysztof Dąbrowiecki]

na szereg technicznych uwarunkowań i wyzwań, które musiały być rozwiązane w trakcie projektowania. Zaliczyła do nich słabe podłoże glebowe po obu stronach cieśniny, silnie aktywny sejsmicznie teren, obciążenie ruchome mostu, kolizje żeglugowe, warunki atmosferyczne oraz – co często się zdarza przy wielkich budowach – napięty plan projektu i wykonania. Konstrukcyjne rozwiązanie mostu w pełni odzwierciedla współczesne tendencje dla długich mostów wiszących, optymalizowane na podstawie badań w tunelach aerodynamicznych. W przypadku mostu Çanakkale 1915 testy w tunelu aerodynamicznym przeprowadzono w trzech miejscach, uwzględniając konkretne cechy projektu. Badanie przekroju modelu pomostu w skali 1:60 przeprowadzono w Kanadzie (BLWTL), modelu pylonu w skali 1:80, pełnego modelu pylonu w skali 1:225 oraz modelu etapowego montażu w skali 1:225 w Danii (FORCE). Testy pełnego modelu mostu w skali 1:190 i badanie etapowego montażu sekcji dźwigara przeprowadzono w Chinach (RCWE). W opracowaniu wyników testów zalecono wzmocnienie części dźwigara oraz zastosowanie buforów i stoperów hydraulicznych na pylonach. Wybudowanie i oddanie do użytku mostu Çanakkale 1915 będzie praktycznym potwierdzeniem inżynierskich zdolności techniczno-technologicznych w budowie mostów wiszących o rozpiętości powyżej 2000 m. Magiczna, nieosiągalna do tej pory granica dla mostów wiszących 2000 m zostanie przekroczona i Çanakkale 1915 (2022) przejdzie wkrótce do historii mostownictwa, podobnie jak w swoim czasie Menai (1826), Brooklyn (1883), Golden Gate (1937), Verazzano-Narrows (1964) czy Akashi Kaikyō (1998).

Epoka mostów wiszących nie przemija

Kończąc przegląd dwustuletniej historii mostów wiszących, zasadne jest pytanie o przyszłość i kierunek dalszego rozwoju tych konstrukcji. Z pewnością tragedie związane z wadami projektowo-konstrukcyjnymi, materiałowymi czy awariami podczas eksploatacji przyczyniały się do wprowadzania udoskonaleń, nowych i bezpieczniejszych rozwiązań. Wymusiły na inżynierach wprowadzenie poszerzonej analizy modelowo-projektowej, w tym z wykorzystaniem komputerowych, parametrycznych modeli elementów skończonych dla weryfikacji obliczeniowej całości lub części konstrukcji.

Tab. 2. Ważniejsze mosty wiszące w XXI w. z długością głównego przęsła powyżej 1000 m [Krzysztof Dąbrowiecki]

Nazwa mostu		Tsing Ma	Jiangyin	Runyang	Xihoumen	Taizhou
Rok budowy		1997	1999	2005	2009	2012
Kraj		ChRL (Hongkong)	ChRL	ChRL	ChRL	ChRL
Główny projektant		M. MacDonald	Cleveland Bridge	Construction Commanding Department of Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge	China Communications Construction Company	China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co.
Długość głównego przęsła	m	1377	1385	1490	1650	2 x 1080
Całkowita długość mostu	m	2160	3071	2600	2713	2940
Szerokość pomostu (rozstaw lin głównych)	m	41	33,8	39	2 x 15	39,1
Liczba pasów ruchu		6 + 2	6	6	4	6
Wysokość pylonów	m	206	186/183	215	211	194
Średnica liny nośnej	mm	1100	866	868		767
Całkowity ciężar konstrukcji stalowej	t	49 000	34 800	34 000	65 000	33 600

Wydaje się, że epoka konstruowania mostów wiszących nie przeminęła, obierając wraz z rozwojem inżynierii, technologii i materiałów nowe kierunki, inicjując nowatorskie trendy. Najlepszym przykładem są oryginalne rozwiązania inżynierów z wielu krajów, takich jak np. Anglia, Dania, Norwegia czy Chiny, Japonia i Korea. Jest wiele jeszcze miejsc na ziemi, których połączenie mostem pozostaje w sferze marzeń inżynierów. Należy sądzić, że wraz ze wzrostem globalnej integracji gospodarczej mosty łączące brzegi zatok, cieśnin, szerokich kanałów czy wysp ze stałym lądem staną się najdogodniejszym rozwiązaniem komunikacyjnym. Chińscy inżynierowie zapoczątkowali np. nurt budowy mostów morskich, takich jak Donghai, Hangzhou Bay, Hongkong – Zhuhai – Makao czy będący w budowie Shenzhen – Zhongshan.

Wiele przesłanek wskazuje na to, że kontynuowany będzie kierunek budowy dwupoziomowych, zintegrowanych, drogowo-kolejowych wiszących mostów w obrębie dużych aglomeracji miejskich czy ruchliwych szlaków komunikacyjnych. Mosty Nizhou Waterway, Osman Gazi czy w budowie Çanakkale 1915 potwierdzają możliwość stosowania optywowych i płytkich dźwigarów, obecnie o ponad 2000-metrowej rozpiętości. Istnieją wstępne opracowania firm inżynierskich przedstawiające techniczne możliwości budowy mostów wiszących o przęsłach sięgających znacznie powyżej magicznej granicy w takich miejscach, jak Cieśnina Gibraltarska, Cieśnina Mesyńska czy Cieśnina Hajnańska (Qiongzhou Haixia).

Dlatego podziwiając i opisując dziesiątki pięknych konstrukcji mostów kolejnych już generacji w ciągu 200 lat, warto na zakończenie sparafrazować wciąż aktualne słowa Richarda S. Hobbsa, autora książki *Catastrophe to Triumph: Bridges of the Tacoma Narrows*. **Mosty wiszące, dzieła lat prób, błędów, tragedii i wytrwałości, są znakomitym przykładem triumfu ludzkiego umysłu, ducha i bezgranicznej inżynierskiej innowacyjności w dziedzinie projektowania konstrukcji, rozwoju materiałów i technik wykonania.**

Literatura

- [1] Dąbrowiecki K.: *Most Hangzhou – najdłuższy transoceaniczny most świata*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2011, nr 1, s. 26–29.
- [2] Dąbrowiecki K.: *Morska przeprawa mostowa Hongkong – Zhuhai – Makau*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2019, nr 2, s. 12–17.
- [3] Dąbrowiecki K.: *Mosty Szanghaju – miasta transformacji*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2010, nr 3, s. 54–57.
- [4] Pan Q., Yi Z., Yan D., Xu H.: *Pseudo-Static Analysis on the Shifting-Girder Process of the Novel Rail-Cable-Shifting-Girder Technique for the Long Span Suspension Bridge*. „Applied Sciences” 2019, Vol. 9, p. 5158.
- [5] Feng M.: *China's Major Bridges*. Shanghai 2009.
- [6] Lai D., Honhwei S., Quig Z., Benhui Z.: *Design of steel box girder for Taizhou Yangtze River Highway Bridge*. Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute. Nanjing 2011.
- [7] *Monitoring System of Suspension Bridges in Turkey*. Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communication of Turkey, 2018.
- [8] Yang Y-B., Ge Y.: *The Statics, Dynamics, and Aerodynamics of Long-Span Bridges*. „Engineering” 2017, Vol. 3, Issue 6, p. 779.
- [9] Zhang R.: *Development of Construction Technology and Equipment for Marine Bridges*. „Strategic Study of Chinese Academy of Engineering” 2019, Vol. 21, Issue 3, pp. 5–11.
- [10] *Çanakkale 1915*. Countdown Chronicle, Turkey, June 2019.
- [11] Janjic D., Bokan H., Sorsky H., Stampler J.: *Computer Aided Design & Erection of Long Suspension Bridges*. Conference proceedings of the *Improving Infrastructure Worldwide*, IABSE Symposium, Weimar, 19–21.09.2007, pp. 386–389.
- [12] Wang H., Li A., Guo T., Tao T.: *Establishment and Application of the Wind and Structural Health Monitoring System for the Runyang Yangtze River Bridge*. „Shock and Vibration” 2014, Vol 6, pp. 1–15.

Yi Sun-sin	Nanjing Fourth Yangtze	Hardanger	Yavuz Sultan Selim	Osman Gazi	Nizhou Waterway	Yangsigang Yangtze River	Çanakkale 1915
2012	2013	2013	2016	2016	2019	2019	2022
Korea Pofudniowa	ChRL	Norwegia	Turcja	Turcja	ChRL	ChRL	Turcja
Yooshin Corporation	Zhongjiao Highway Planning & Design Institute	O. Sovik, State Highways Authority, Forum Arkitekter	J. Klein, M. Virlogeux, T-ingénierie, Greisch	COWI A/S, Dissing & Weitling	CCCC Highway Consultants Co, Chelbi Engineering Consultants	Xu Gongyi, China Railway Major Bridge Engineering	COWI A/S, PEC, Arup, Aas Jacobsen
1545	1418	1310	1408	1550	1688	1700	2023
2260	2476	1380	2164	2907	2868	2630	3563
27	38	20	58,4	36	49,7	32,5	45
4	6	2	6	6	6	12	6
272	229	202	322	236	257	244	318
700	783	600	720	781	1000	1070	945
24 000	35 000	15 000	57 000	37 500	52 000	65 000	162 000

- [13] Han Y., Liu X., Wei N., Li D.: *A Comprehensive Review of the Mechanical Behavior of Suspension Bridge Tunnel-Type Anchorage*. „Advances in Materials Science and Engineering” 2019, Vol. 1, pp. 1–19.
- [14] Ge Y.: *Aerodynamic challenge and limitation in long-span cable-supported bridge*. Proceedings of the 2016 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM16), Jeju Island, Korea, August 28 – September 1, 2016.
- [15] Liu Y.: *Hunan Aizhai Suspension Bridge. One of the Longest Suspension Bridges in the World – The Construction of the 1176 m Long Suspension Bridge*. 26th ICTPA Annual Conference Recent Transportation Developments, Challenges and Solutions in North America and Asia, May 24–26, 2013, Tampa, Florida, USA.
- [16] Kroon I.B.: *1915 Çanakkale Bridge. A world record span suspension bridge*. Conference Teknologidagene 2019, 23 October 2019.
- [17] Sun Y., Liao H., Li M.: *Experimental Study on Flutter Performance of a 1700 m Long Truss Girder Suspension Bridge*. Proceedings of the 2016 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM16), Jeju Island, Korea, August 28 – September 1, 2016.
- [18] Ge Y., Xia J., Zhao L., Zhao S.: *Full Aeroelastic Model Testing for Examining Wind-Induced Vibration of a 5,000 m Spanned Suspension Bridge*. „Frontiers in Built Environment” 2018, Vol. 4, pp. 58–69.
- [19] *Yangsigang Yangtze River Bridge*. News of the state council the People’s Republic of China, 2019.
- [20] Apaydin N., Bas S.: *Long-Span Orthotropic Steel Deck Bridges of Turkey*. „IOP Conference Series Materials Science and Engineering” 2018, Vol. 419, 9th International Symposium on Steel Bridges, 10–11 September 2018, Prague, Czech Republic.
- [21] Gimsing N.J., Georgakis C.T: *Cable Supported Bridges. Concept and Design, Third Edition*. Department of Civil Engineering Technical University of Denmark. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [22] Sakowski E: *Welcome to HighestBridges.com* (online). Dostępny w Internecie: www.highestbridges.com/ (dostęp 27 sierpnia 2020).
- [23] Materiały firmy DLT, 2018.
- [24] Materiały firmy COWI, 2019.
- [25] Materiały firmy PEC, 2019.
- [26] Materiały firmy AAS-Jakobsen.
- [27] www.youtube.com/watch?v=8zjgx51x1yc – *China is the father of the world bridge*.
- [28] www.ice.org.uk/eventarchive/insight-into-deck-erection-gantries-middlesbrough
- [29] <https://mth.com/Our-Projects/Hardanger-bridge>
- [30] <https://www.youtube.com/watch?v=8l4STmQiQyA> – *CCTV10 Yangsigang Yangtze River*.
- [31] www.youtube.com/watch?v=T7vx18GqT8g – *Humen 2nd bridge*.
- [32] https://www.youtube.com/watch?v=duF_3lrj5Lo – *Shenzhen – Zhongshan Bridge 2018*.
- [33] www.youtube.com/watch?v=-XL2oTRuSGM – *Shenzhen – Zhongshan Bridge Animation*.
- [34] www.youtube.com/watch?v=v4WigHvkcXY&t=103s – *Taizhou Bay Bridge Animation*.
- [35] www.youtube.com/watch?v=8eo1hVqy-Gs – *Siduhe Bridge Animation*.
- [36] www.youtube.com/watch?v=8LdZf_Qw8gA – *CCTV4 Super Bridges in China*.
- [37] www.youtube.com/watch?v=78ysAYEBcHc – *Yangtze River Bridges in Wuhan City*.
- [38] www.youtube.com/watch?v=qECDTpoAZnk – *Aizhai Bridge Engineering Marvel*.
- [39] www.youtube.com/watch?v=onvqjOvmGIY – *Gebze – Orhangazi – Izmir motorway: Osman Gazi Bridge construction time lapse*.
- [40] www.youtube.com/watch?v=6h7M4sMwKJE&feature=emb_rel_end – *1915 Çanakkale Bridge*.

