



foto: Shaikh Mohammad, Adobe Stock

# Most Padma w Bangladeszu

Most nad rzeką Padma w Bangladeszu to wielofunkcyjna przeprawa drogowo-kolejowa z czterema pasami ruchu autostrady oraz torem dla pociągów pasażerskich i towarowych. Konstrukcja mostu wykorzystywana jest również do przeprowadzenia magistrali gazowej wraz z urządzeniami telekomunikacyjnymi. Obiekt znajduje się w ciągu najdłuższej azjatyckiej trasy autostradowej AH1, która mierzy ponad 20,5 tys. km. Korytarz kolejowy TAR łączy Dhakę (stolicę Bangladeszu) z Kalkutą w Indiach.

Padma jest jedną z trzech głównych rzek Bangladeszu. Ma ok. 100 km długości i płynie w kierunku południowo-wschodnim, będąc najważniejszym dopływem Gangesu. Cała inwestycja obejmowała zasadniczą przeprawę nad rzeką o długości 6,15 km, liczne wiadukty dojazdowe, obustronne drogi o długości 13,6 km, regulację koryta, a także wiele obiektów użytkowych, jak np. miejsca poboru opłat, powierzchnie usługowe oraz biura. Koszty realizacji tego projektu sięgnęły ok. 2,9 mld USD.

## Projekt wykonawczy

Projekt wykonawczy mostu został opracowany przez zespół międzynarodowych i krajowych konsultantów pod kierownictwem firmy AECOM. Finansowanie zapewniał Azjatycki Bank Rozwoju w ramach programu wsparcia technicznego agencji zarządzającej mostami w Bangladeszu (Bangladesh Bridge Authority – BBA). Zakres prac lidera zespołu obejmował szeroką analizę poprzednich badań, opracowanie i potwierdzenie kryteriów projektowania inwestycji, rozpoznanie podłoża oraz warunków wodnych i klimatycznych, aktualizację i rozszerzenie wcześniejszych badań ruchu, kompleksową analizę finansową, potwierdzenie ekonomicznej rentowności projektu, analizę wpływu społecznego i środowiskowego inwestycji, wstępną kwalifikację wykonawców, wsparcie przy tworzeniu kosztorysu inwestorskiego oraz opracowanie strategii zamówień publicznych. Projekt ten był właściwie wspólnym dziełem wielu biur konsultingowych, które mają siedziby w różnych miejscach na świecie.

BBA zaangażowało do pracy ekspertów cieszących się opinią uznanych na świecie specjalistów oraz miejscowych pracowników naukowych, którzy w regularnych odstępach czasu oceniali

postępy prac. Ponadto zaangażowany został niezależny podmiot weryfikujący (Flint & Neill / COWI), który miał za zadanie sprawdzić projekty wykonawcze mostu głównego i regulacji rzeki. Prace projektowe monitorowane były również przez liczne instytucje finansowe, co w późniejszym etapie ułatwiło uzyskanie niezbędnych dokumentów do gwarancji kredytowych.

Największe wyzwania techniczne tego projektu dotyczyły złożonej analizy natury rzeki, która właściwie co roku wylewa i powoduje niebezpieczne powodzie. A przy tej wielkości mostu konieczne było wykonanie bardzo głębokich fundamentów paliowych. Dodatkowym utrudnieniem była wysoka sejsmiczność terenu w rejonie przeprawy. Nie bez znaczenia były również uwarunkowania społeczne i środowiskowe, w tym kluczowe kwestie zakupu ziemi i przesiedlenia osób dotkniętych skutkami tego projektu oraz oddziaływanie inwestycji na regionalne ekosystemy.

## Wcześniejsze prace i badania dodatkowe

Dość dużą część prac przygotowawczych rozpoczęto jeszcze przed włączeniem się zespołu AECOM, przede wszystkim od momentu zakończenia budowy mostu Jamuna w czerwcu 1998 r. Obejmowały one studia wykonalności z 2000 i 2005 r. Dokumenty te zostały zweryfikowane pod kątem ich dokładności, kompletności i istotności dla kolejnych faz inwestycji. Ich celem było określenie najodpowiedniejszej lokalizacji mostu i zbadanie jego możliwych konfiguracji.

W pierwszej kolejności zlecono wykonanie projektu koncepcyjnego z wieloprzęsłowym mostem typu extradosed o długości 5,58 km. Prześła o rozpiętości 180 m oparto na żelbetonowych filarach posadowionych na stalowych palach rurowych o średnicy

3,15 m, wbijanych w piaski pylaste na głębokość 80 m. Projekt ten stanowił podstawę dla rządu Bangladeszu do rozpoczęcia właściwej fazy projektowania i budowy mostu.

Już na potrzeby projektu wykonawczego wykonano łącznie 37 dodatkowych opracowań i badań. Obejmowały one analizę intensywności ruchu, badania topograficzne dróg dojazdowych i terenów zalewowych rzeki wraz z badaniami batymetrycznymi w różnych okresach przed, w trakcie i po powodzi, badania hydrologiczne i geotechniczne w rejonie mostu głównego, dróg dojazdowych i brzegów rzeki, studium klimatyczne, sejsmiczne oraz studium żeglugi. Szczególnie trudne były badania geotechniczne. Wykonano bowiem 29 otworów o głębokości dochodzącej do 150 m. Pobrane próbki oceniane były *in situ* i laboratoryjnie, aby wyznaczyć parametry wytrzymałościowe gruntu i określić poziom obecności miki.

### Kryteria projektowe

Wstępne kryteria projektowe opracowane w studium wykonalności zostały poddane przeglądowi i zaktualizowane na podstawie wszystkich nowo pozyskanych informacji dotyczących lokalizacji przeprawy. Przede wszystkim zdecydowano o zmianie normatywów dla obciążenia projektowego z amerykańskiego AASHTO na brytyjski standard BS5400. Uznano, że taki model obciążenia będzie odpowiadać specyfice ruchu, jaki obserwowany jest w Bangladeszu. Samochody ciężarowe są tam często mocno przeciążone, co lepiej odpowiada wzorcom obciążenia przewidywanym przez normę brytyjską. Poza tym przyjęcie BS5400 było zgodne z wcześniejszymi projektami mostów Jamuna i Bhairab w Bangladeszu. Ponieważ kolej przechodząca przez most miała łączyć się z Indyjskimi Kolejami Państwowymi, zdecydowano, aby obciążenie kolejowe pasowało do standardów indyjskich. Tak więc most kolejowy został zaprojektowany jako część indyjskiego Dedykowanego Korytarza Towarowego (Dedicated Freight Corridor), który zakłada naciski na osie na poziomie 32,5 t.

Zagrożenie sejsmiczne analizowane było przez ekspertów z Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET). Przeprowadzili oni szczegółowe badania zagrożenia sejsmicznego w miejscu budowy i określili parametry sejsmiczne potrzebne do analizy konstrukcji mostu. Zalecono, aby przy projektowaniu kształtować konstrukcję w sposób, w którym wszelkie uszkodzenia powstałe w wyniku trzęsienia ziemi byłyby łatwo wykrywalne i możliwe do naprawy bez konieczności rozbiórki lub wymiany komponentów.

Równie ważnym zagadnieniem była sama rzeka. Wykonano szczegółową ocenę zmian jej koryta na podstawie zdjęć satelitarnych i prostych metod analitycznych. Stwierdzono, że w ciągu ostatnich 40 lat wielokrotnie i zasadniczo zmieniała ona swój układ koryta. Dlatego nie można było przyjąć, że główny kanał żeglugowy będzie w przyszłości utrzymany w tym samym miejscu. Koryto Padmy zmienia się właściwie z roku na rok, co uniemożliwia ustalenie stałej lokalizacji żeglugi. W związku z tym

podjęto decyzję o zwiększeniu liczby głównych przęseł żeglugowych, aby zapewnić pod nimi minimalny prześwit pionowy na środkowym odcinku rzeki o długości prawie 5 km.

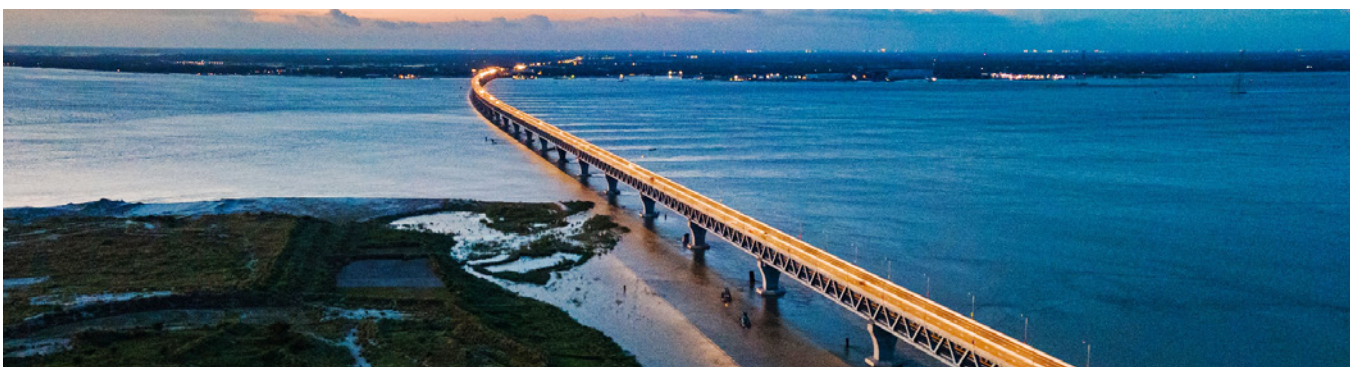
### Ustrój nośny mostu

Ze względu na trudne warunki posadowienia w miejscu budowy od samego początku starano się, aby maksymalnie zwiększyć długość przęseł i zmniejszyć liczbę podpór. Oczywiście skrzynkowe dźwigary z betonu monolitycznego umożliwiają uzyskanie większych rozpiętości, ale zarazem proces samego betonowania zajmuje więcej czasu, a z kolei duża masa zwiększa wrażliwość sejsmiczną całego obiektu. Wprowadzenie prefabrykacji z pewnością mogłoby przyspieszyć budowę, a nawet zapewnić dodatkową korzyść w postaci wysokiego poziomu jakości wykonania. Jednak maksymalna długość przęsła byłaby wówczas ograniczona dostępnym sprzętem montażowym oraz maksymalnym ciężarem segmentów, jaki można udźwignąć. Podobne rozwiązania konstrukcji nośnej zastosowano w Bangladeszu we wcześniej zbudowanych mostach Jamuna, Bhairab i Paksey. Miały one przęsła o rozpiętości do 110 m. A to wciąż było za mało w przypadku projektowanego mostu Padma.

Już na etapie koncepcji wiedziano, że zwiększenie rozpiętości przęseł możliwe jest przez zastosowanie systemu sprężenia typu extradosed. Dlatego jeszcze w studium wykonalności zaproponowano przęsła o długości 180 m. Jednak przegląd i pogłębiona analiza tego wczesnego projektu wykazały, że rozpiętość ta musi być zmniejszona. Bez tego nie udałooby się spełnić wymagań dotyczących maksymalnego ugięcia i kątów obrotu przęsła przy ekstremalnym obciążeniu kolejowym. W ostateczności doprowadziło to do przyjęcia rozwiązania w postaci kratowej konstrukcji zespolonej o dużych rozpiętościach, rzędu 150 m. Główna przeprawa mostowa składa się więc z 41 przęseł, które mają dwa poziomy pomosty. W dolnej części znajduje się pojedynczy tor kolejowy, a w górnej umieszczone są dwie oddzielone od siebie jezdnie autostrady o szerokości 10 m każda.

W tej zasadniczej części przeprawy dwie główne poziome płaszczyzny kratownicy Warrena rozmieszczone są między sobą na wysokości 12 m. Stanowią one pasy górne i dolne kratownicy, które wykonano ze stalowych kształtowników zamkniętych. Na poziomie dolnym belki poprzeczne znajdują się w rozstawie co 18,75 m i łączą obydwa pasy dolne, tworząc ruszt podtrzymujący torowisko. Na poziomie górnym znajduje się żelbetonowy pomost utworzony z prefabrykatów o szerokości ok. 22 m. Zostały one połączone z pasami górnymi kratownicy.

Założono, że kratownice będą wykonane w wytwórni i przetransportowane na miejsce budowy w odpowiednich modułach. Na budowie zostaną złożone w pełne przęsła i montowane na podporach. Wiadukty dojazdowe podzielono na osobne konstrukcje drogowe i kolejowe. W związku z tym, że most główny jest obiektem dwupoziomowym, konieczne było odpowiednie zaplanowanie wszystkich łącznic dojazdowych. Dzięki temu możliwe było oddzielenie od siebie części kolejowej i autostradowej.





## Podpory i posadowienie

Filary mostu głównego stanowią żelbetonowe tarczownice osadzone na głębokim oczepie palowym. W zakresie posadowienia rozpatrzono dwa rodzaje pali – wbijane stalowe rury o dużej średnicy oraz wiercone wielkośrednicowe pale żelbetonowe. Ostatecznie zdecydowano, że stalowe pale wbijane pod różnymi kątami będą skuteczniej wytrzymywać obciążenia boczne wynikające z efektów sejsmicznych i uderzeń statków. Tak więc oczepy palowe zostały ostatecznie posadowione na grupie sześciu stalowych pali rurowych o średnicy 3 m, ustawionych symetrycznie i wbijanych ukośnie do głębokości ok. 114 m. Dźwigary mostu oparte są na filarach za pośrednictwem wahadłowych łożysk. Pozwoliło to zredukować oddziaływania sejsmiczne. Drgająca masa przęsła może bowiem powodować duże siły poziome działające na filary, a tym samym na cały układ palowy.

Filary wiaduktów dojazdowych mają kształt prostokątnych słupów z poszerzającymi się głowicami. Wysokość filarów waha się od ok. 6 do 30 m n.p.t. Na głowicach oparte są poprzecznicę podporowe spinające prefabrykowane belki typu T, z których zbudowane są przęsła. System ułożyskowania przęsła wiaduktów obejmuje kombinację łożysk elastomerowych i garnkowych. Wszystkie filary posadowiono na pionowych palach wierconych o długości od 37 do 73 m, które górą zwieńczone są oczepem.

## Prace przy regulacji rzeki

Prace regulacyjne na Padmie miały na celu zabezpieczenie trzech zasadniczych obszarów, gdzie spodziewano się destrukcyjnego oddziaływania rzeki. Były to obydwa brzegi – południowy i północny. W bezpośrednim sąsiedztwie przeprawy występowało bowiem ryzyko erozji podłoża, a w konsekwencji przechyłu podpór mostu i wiaduktów. Prace w górnej części rzeki miały ochronić nową drogę dojazdową, mosty drogowe, konstrukcje odwadniające i dwie nowe wioski dla przesiedleńców.

Aby zrealizować te zadania, konieczne było wykonanie szczegółowych badań morfologii rzeki, przeprowadzenie licznych analiz numerycznych i testów modeli fizycznych oraz zlecenie uzupełniających badań geotechnicznych z analizą stabilności skarp. Po rozważeniu kilku wariantów przyjęto układ zbliżony do zaproponowanego wcześniej w studium wykonalności. Zamiast próbować utrzymać rzekę w jej obecnym, dość prostym przebiegu, zaproponowany układ pozwoli na to, żeby główny nurt rzeki mógł zmieniać swoje koryto. Dlatego, planując układ przęsła, zapewniono miejsce na dostosowanie się rzeki do przyszłych warunków, wynikających choćby ze zmian klimatu.

Prace regulacyjne polegały na wykonaniu obwałowań, które rozpoczynają się poniżej mostu i ciągną się w górę rzeki na długości ok. 10 km, przechodząc w prawy brzeg kanału południowego. Rozszerzenie to miało na celu uniknięcie osuwania się południowego przyczółka mostu i erozji terenów zalewowych w kierunku południowej drogi dojazdowej. Na stosunkowo stabilnym brzegu północnym ograniczono się do wykonania

nasypu na długości 1,6 km. Nasypy i obwałowania posiadają w górnej części betonowej bloki służące do ochrony przed falami. W dolnej części podwodnej ochrona przed erozją polegała na zabudowaniu we wnętrzu nasypu skalnych bloków i gabionów.

## Problemy społeczne i środowiskowe

Jak już zaznaczono na wstępie, oprócz poważnych problemów technicznych inwestycja wiązała się również z dużym oddziaływaniem na lokalne społeczności i naturalne środowisko. Analiza wpływu inwestycji na społeczeństwo pozwoliła zidentyfikować trzy zagrożone jednostki administracyjne, w których znajduje się 13 tys. gospodarstw domowych i zamieszkuje je ok. 74 tys. osób. Prawie 4 tys. gospodarstw wymagało przeniesienia jeszcze przed rozpoczęciem budowy. Wskazano cztery miejsca przesiedlenia, które zostały dla mieszkańców wcześniej przygotowane wraz z całą infrastrukturą i z wszelkimi udogodnieniami społecznymi. Wszystkie działania społeczne i zabezpieczenia związane z przesiedleniami zostały opisane w 11-tomowym *Planie działań społecznych*, co wynikało z wymogów narzuconych przez podmioty współfinansujące całe przedsięwzięcie.

Zakres inwestycji rozciąga się na długości 15 km w górę rzeki i 7 km w dół, mierząc od położenia głównego mostu. Natomiast w kierunku poprzecznym do rzeki jest to 6 km od północnego brzegu (w kierunku stolicy Dhaki) i 4 km od południowego brzegu. Na tym obszarze uwzględniono potencjalny wpływ inwestycji na zmiany w ekosystemie oraz w sposobie użytkowania wody w związku z potrzebą lokalnego pogłębienia koryta. Oprócz tego sprawdzono wpływ zmian na działalność rolniczą i rybacką oraz na możliwe zakłócenia przepływów wody, nawigacji i transportu wodnego. Wyniki tych analiz opisane zostały w siedmiotomowym *Planie działań środowiskowych*. Takie kompleksowe podejście sprawiło, że projekt mostu Padma otrzymał w 2010 r. nagrodę za najlepszy system zabezpieczeń podjętych przy planowaniu inwestycji. Nagrodę tę co roku przyznaje Departament Azji Południowej Azjatyckiego Banku Rozwoju.

## Zakończenie inwestycji

Ostatecznie most został otwarty dla ruchu 25 czerwca 2022 r. Uważany jest za najtrudniejszy projekt budowlany w historii Bangladeszu. Jest to też najdłuższy most w Bangladeszu i najdłuższy most w dorzeczu rzeki Ganges zarówno pod względem rozpiętości przęsła, jak i całkowitej długości. Charakteryzuje się również największą głębokością pali spośród wszystkich mostów na świecie. Oczekuje się, że most Padma zwiększy PKB Bangladeszu aż o 1,2%.

Na podstawie: Ken Wheeler, AECOM Project Manager Detailed Design: *Padma Bridge, Bangladesh Background and Design Overview*. „e-mosty” 2022, nr 4, s. 6–15. Dla „NBI” przeł. z jęz. ang. mgr inż. Kamil Korus, prof. dr hab. inż. Marek Salamak, Politechnika Śląska

<https://e-mosty.cz>



Czytaj więcej



# MIĘDZYNARODOWE RECENZOWANE CZASOPISMA INTERNETOWE


fol. resul, Adobe Stock





WWW.**e-mosty**.CZ

**PROJEKTOWANIE, BUDOWA,  
EKSPLOATACJA I UTRZYMANIE**

INTERNATIONAL ONLINE PEER-REVIEWED MAGAZINE ABOUT BRIDGES

## e-mosty



 Padma Bridge, Cyrena Bridge. 🕒 20.12.2022	 Footbridges 🕒 20.09.2022	 1915Çanakkale Bridge, Türkiye 🕒 20.06.2022	 Pelješac Bridge - McKinley Street Bridge 🕒 20.03.2022
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ORYGINALNE ARTYKUŁY Z ZAKRESU:**

- 1 | **INŻYNIEROWIE MOSTOWI I ICH MOSTY**  
(szczególnie projektowanie, budowa, eksploatacja i utrzymanie)
- 2 | **CYFROWE TECHNOLOGIE W MOSTOWNICTWIE**
- 3 | **NOWE TECHNOLOGIE I INNOWACJE**
- 4 | **STUDIA PRZYPADKÓW**
- 5 | **I WIELE WIĘCEJ Z CAŁEGO ŚWIATA**



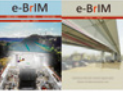
WWW.**e-brim**.com

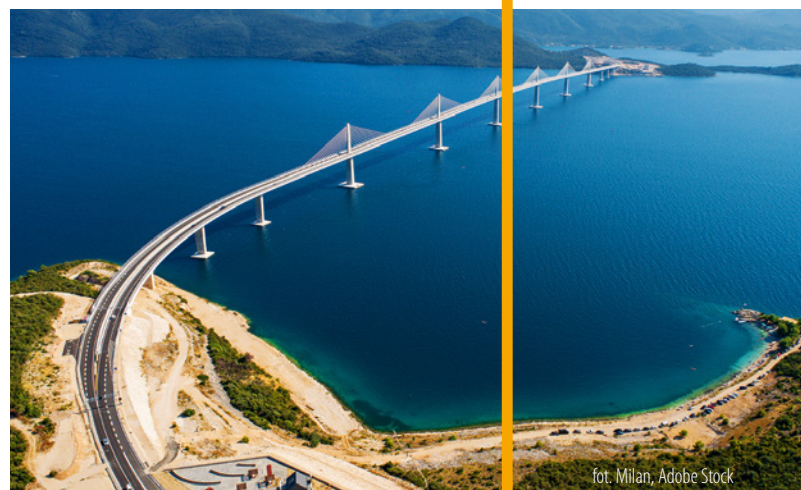
**MODELOWANIE INFORMACJI MOSTOWYCH**

INTERNATIONAL ONLINE PEER-REVIEWED MAGAZINE ABOUT BRIDGE INFORMATION MODELLING

## e-BrIM



 BIM for Bridges 🕒 20.10.2022	 Digital & 3D BIM Tools: VDC Management, VRMR Technology, BIM-Based Design and BMS 🕒 20.05.2022	 Randselva Bridge, Digital Twins, BIM in South Korea. 🕒 20.02.2022	 BIM, Caissons for Bridges, A "zero" Edition of e-BrIM together with e-mosty magazine 🕒 20.09.2021
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



fol. Milan, Adobe Stock