



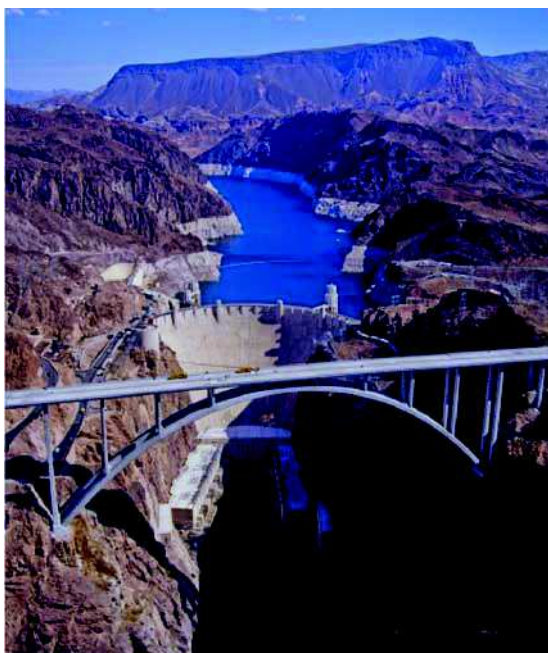
ANDRZEJ J. KOSICKI

Administracja Drogowa
Stanu Maryland, USA
andrzejkosicki@yahoo.com

Obejście drogowe zapory Hoovera

Jednym z najciekawszych drogowych projektów amerykańskich ostatnich lat jest obejście zapory Hoovera na granicy stanów Arizona i Nevada w południowo-zachodniej części Stanów Zjednoczonych. Na szczególną uwagę zasługuje część mostowa projektu, a zwłaszcza przekroczenie kanionu rzeki Colorado mostem łukowym o długości 579 m spinającym brzegi kanionu i usytuowanym około 260 m powyżej jego dna. Most jest oddalony od zapory o zaledwie 450 m. Gazeta „USA Today”, jedna z najbardziej poczytnych w Stanach Zjednoczonych, nazwała most „najnowszym cudem Ameryki”. I pomimo pewnej przesady w tym stwierdzeniu most jest rzeczywiście wart zobaczenia, chociażby tylko na zdjęciach.

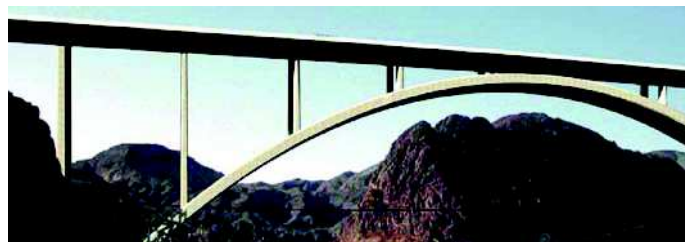
Pomysł obejścia zapory Hoovera (fot. 1) powstał w latach 80., gdy zatłoczenie drogi US Route 93 biegnącej po szczycie tamy przekroczyło dopuszczalne granice. Betonową zaporę nazwaną imieniem prezydenta Herberta Hoovera zbudowano w okresie Wielkiego Kryzysu w latach 1931–1936. Pracowały przy niej tysiące ludzi i ponad stu z nich straciło życie w czasie budowy. Zapora, uważana za jedno z czołowych osiągnięć inżynierskich w Stanach Zjednoczonych, od początku swojego powstania jest obiektem zainteresowania turystów z całego świata dzięki unikatowym walorom krajozrazowym miejsca. Rocznie odwiedza ją ponad milion ludzi.



Fot. 1. Most na obejściu zapory Hoovera (zapora i jezioro Mead widoczne w tle)

Autor artykułu zwiedzał zaporę w 1981 r. w czasie przeprawki z Zachodniego Wybrzeża (San Francisco) na Wschód (Baltimore). Już wtedy przejazd przez zaporę zajmował sporo czasu m.in. z powodu ograniczenia maksymalnej prędkości do 40 km/h. Na drogowy ruch turystyczny nakładał się również intensywny ruch ciężarówek i innych pojazdów tranzytowych (US Route 93 jest ważnym połączeniem drogowym między Las Vegas i Phoenix, największymi miastami Nevady i Arizony). Sytuację pogarszała przestarzała geometria dwupasowej drogi charakteryzującej się dużą liczbą ciasnych i niebezpiecznych łuków poziomych oraz pionowych.

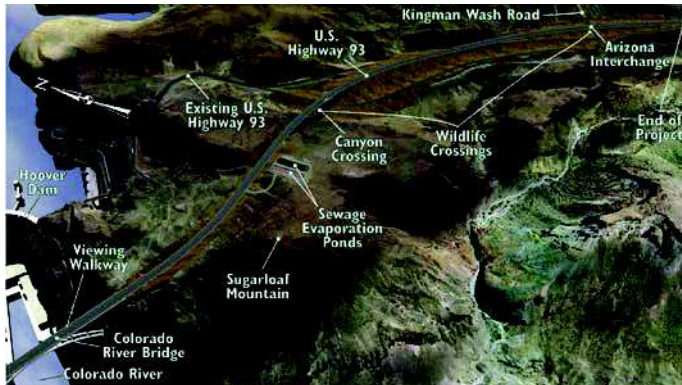
Ciągły wzrost natężenia ruchu spowodował, że w pierwszej połowie lat 80. Federalna Administracja Drogowa (FHWA) podjęła studia obejścia zapory. Trwające kilka lat studia wstępne zostały uwieńczone zatwierdzeniem raportu wpływu projektu na środowisko (EIS) w lipcu 1988 r. Studia techniczne wybranej alternatywy rozpoczęto jednak dopiero w lipcu 2001 r. Nad projektem pracował zespół inżynierów z kilku największych amerykańskich firm konsultingowych takich jak HDR, Inc., Sverdrup Civil, Inc., i T.Y. Lin International. Projekt obejścia wymagał budowy nowych odcinków drogowych (rys. 1 i 2) o łącznej długości 6,3 km (2,9 km w Arizonie i 3,4 km w Nevadzie) oraz przekroczenia kanionu rzeki Colorado około 450 m poniżej zapory Hoovera. FHWA zdecydowała, że nowa droga zostanie zaprojektowana jako dwujezdniowa, czteropasowa autostrada; część przyszłej autostrady I-11. Wyjątkowa uroda miejsca wybranego na przekroczenie rzeki i jego walory krajozrazowe były głównym powodem dla którego zdecydowano, że spośród różnych opcji mostowych wybrano most łukowy. Cele projektowe ustalone na podstawie raportu EIS wymagały minimalizacji konstrukcji pomostu z uwagi na konieczność zachowania walorów widokowych miejsca, a jednocześnie wkomponowania mostu w krajobraz w sposób zwiększający jego atrakcyjność. Należało zaprojektować wizualnie atrakcyjny most, ale nie rywalizujący z widokiem zapory i jeziora Mead powstałego w wyniku jej budowy. Wstępna selekcja opcji mostowych, o której nieco więcej w dalszej części artykułu, zaowocowała wyborem mostu łukowego (fot. 2) z ażurową konstrukcją.



Fot. 2. Główne przęsło mostu

Projekt drogowy

Drogowa część projektu po stronie Arizony wymagała budowy nowego odcinka długości 2,9 km w trudnym pustynno-górzystym terenie (fot. 3, 4), węzła drogowego Arizona na przecięciu z Kingman Wash Road, przejść dla zwierząt, parkingu dla turystów zwiedzających zaporę Hoovera oraz mostu o długości 274 metrów na przekroczeniu kanionu po zachodniej stronie wzniesienia o nazwie Sugarloaf Mountain (rys. 1).



Rys. 1. Proponowane trasy obejścia po stronie stanu Arizona



Fot. 3. Widok z lotu ptaka przed rozpoczęciem budowy; istniejąca droga w stanie Arizona widoczna w górnej części zdjęcia

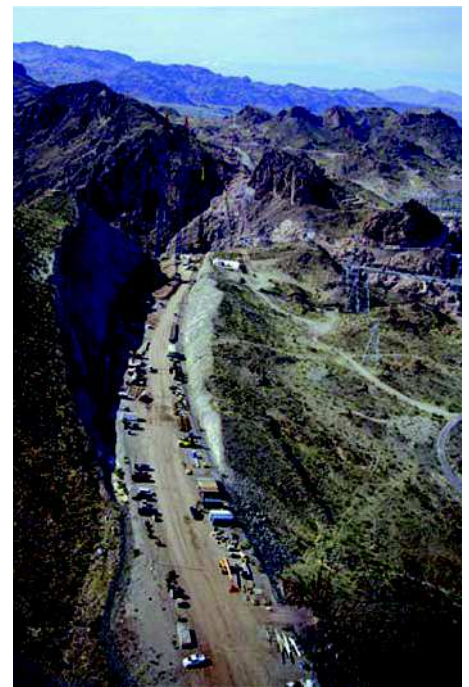
Trudniejszy teren obejmowała węzeł drogowy Nevada, sześć nowych mostów, liczne ściany oporowe (fot. 8) o łącznej powierzchni 4650 m² wykonane w większości w technologii ziemi zbrojonej (am. MSE¹), przejścia dla zwierząt oraz przedłużenie istniejącego szlaku turystycznego, pozwalającego na piesze wędrówki wzdłuż kanionu, o dodatkowe 2,7 km.

O skali trudności tego odcinka świadczy konieczność przetrzucia ponad 1,25 mln m³ odstrzelonych fragmentów skal-

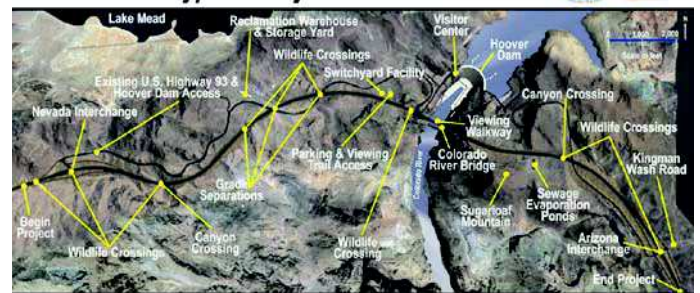
Zgodnie z wymogami dokumentacji ochrony środowiska świeżo odsonięte płaszczyzny skalne w wykopach były dopasowywane kolorystycznie do koloru istniejących. Budowa odcinka w Arizonie stanowiła pierwszą fazę projektu zakończoną w grudniu 2004 r. budową mostu przez kanion przy Sugarloaf Mountain. Nowy odcinek autostradowy łączył istniejącą drogę US 93 z miejscem budowy nowej przeprawy mostowej przez rzekę Colorado. Koszt tej części projektu wyniósł 21,5 mln USD.

Drugą fazę projektu stanowiła część drogową projektu po stronie stanu Nevada (rys. 2). Budowa ponad trzykilometrowego odcinka przyszłej autostrady w jeszcze

Fot. 4. Budowa drogi po stronie stanu Arizona w 2005 r. (Sugarloaf Mountain)



Hoover Dam Bypass Project Features



Rys. 2. Proponowane trasy obejścia, stan Nevada po lewej stronie rzeki Colorado

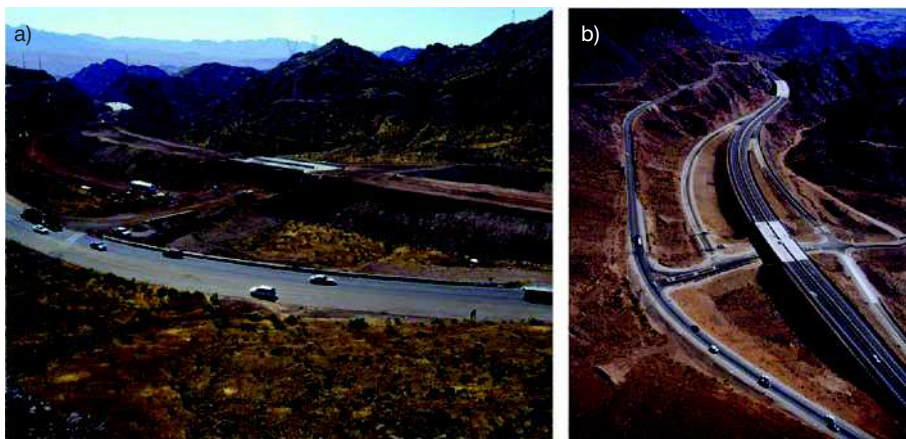
nych. Mimo to budowę tej części drogi zakończono dwa miesiące przed terminem w listopadzie 2005 r. Koszt całości projektu drogowego po stronie stanu Nevada wyniósł 30,1 mln USD. Fotografie 5 a,b i 6 a,b ilustrują zarówno urodę pustynnego krajobrazu typowego dla stanu Nevada, jak i efektywne wytrasowanie drogi zarówno w pionie, jak i w poziomie.

Projekt mostowy

Trudności i wyzwania związane z projektami drogowymi stanowiły zaledwie preludeum do budowy przekroczenia rzeki Colorado. Nad przygotowaniem dokumentacji projektowej dla 579 m mostu położonego zaledwie 450 m w dół rzeki od zapory Hoovera pracowało konsorcjum trzech znanych firm amerykańskich: HDR, Sverdrup, and T.Y.Lin International, które w skrócie ochrzczono jako HST.

Szczególna lokalizacja przekroczenia w sąsiedztwie jednego z najbardziej znanych amerykańskich projektów inżynierskich wymagała wkomponowania mostu w istniejący krajobraz w sposób chroniący walory widokowe miejsca. Oznaczało to konieczność minimalizacji wysokości mostu na linii

¹ MSE – skrótowiec od: *Mechanically stabilized earth*, patrz: http://en.wikipedia.org/wiki/Mechanically_stabilized_earth



Fot. 5. a) Widok węzła Nevada w trakcie budowy; b) Węzeł Nevada obecnie



Fot. 6. Roboty drogowe i mostowe po stronie stanu Nevada a) w trakcie budowy; b) po jej zakończeniu

horyzontu z punktów widokowych zarówno na zaporze Hoovera, jak i nad jeziorem Mead. Stanowi konserwatorzy zabytków zarówno z Arizony jak i Nevady zdecydowanie podkreślali konieczność ochrony architektury zapory obawiając się, że projektantów może ponieść fantazja i ambicja stworzenia nowego obiektu rywalizującego o miano pierwszeństwa z już istniejącym.

Studia wstępne skoncentrowały się na wyborze typu konstrukcji mostowej. Rozważane opcje uwzględniały konstrukcję kratową, most skrzynkowy, most wiszący, most podwieszony oraz most łukowy. Każdą z opcji oceniały dwa odrębne zespoły ekspertów powołanych przez FHWA; zespół pierwszy oceniał walory architektoniczne i estetyczne zaproponowanych opcji mostowych, podczas gdy drugi zespół oceniał je pod kątem wymagań konstrukcyjnych i utrzymaniowych. Opracowano specjalny system rankingowy, który zcałał oceny obu zespołów, uwzględniając również koszty i wstępne harmonogramy budowy przygotowane dla każdej z opcji. Ostatecznie o wyborze zdecydował zespół składający się z wysokiej rangi przedstawicieli FHWA, stanowych administracji drogowych stanów Arizona i Nevada, oraz dwóch innych administracji federalnych nadzorujących parki narodo-

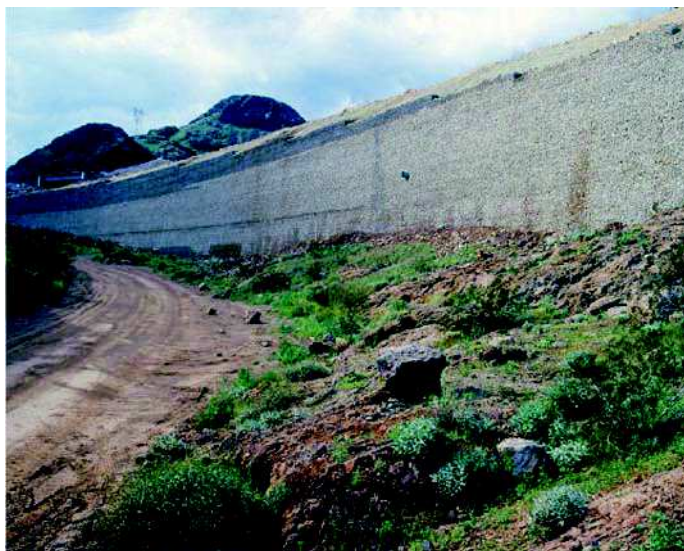
we oraz elektrownie wodne USA. Jako najlepszy typ konstrukcji, spełniający wszystkie kryteria, wybrano ażurowy most łukowy z podwójnym łukiem betonowym o konstrukcji uźbrowanej i zespoloną stalowo-betonową konstrukcją pomostu. Była to pierwsza tego typu konstrukcja mostowa zalecana do budowy w USA. Decyzja o budowie podwójnego, a nie pojedynczego łuku, została podjęta dwoma względami. Pierwszy, praktyczny, wynikał z gabarytów konstrukcji: pojedynczy łuk miałby szerokość prawie 20 m i ciężar jednostkowy 300 kN/m, co uniemożliwiałoby ewentualną konstrukcję segmentową przy użyciu prefabrykowanych elementów. Powodem drugim były potencjalne zagrożenia w przenoszeniu ekstremalnych sił poprzecznych. W tej fazie projektowania parametry sejsmiczne nie były jeszcze ustalone, ale już na wstępie założono, że obciążenia będące efektem trzęsienia ziemi będą podstawą obciążeń bocznych. Pojedynczy łuk nie miałby odpowiedniej podatności, podczas gdy podwójny łuk pozwalał na efektywne zaprojektowanie usztywnień w postaci ram Vierendeela.

Przeprowadzona później probabilistyczna analiza sejsmiczna, zakładająca 1000-letnią częstość pojawiania się trzęsienia ziemi ustaliła, że projektowanie powinno zakładać maksymalne przyśpieszenie gruntu równe 0,2 g. Innym ważnym czynnikiem, który należało uwzględnić w projektowaniu były obciążenia wiatrem. Most, zlokalizowany

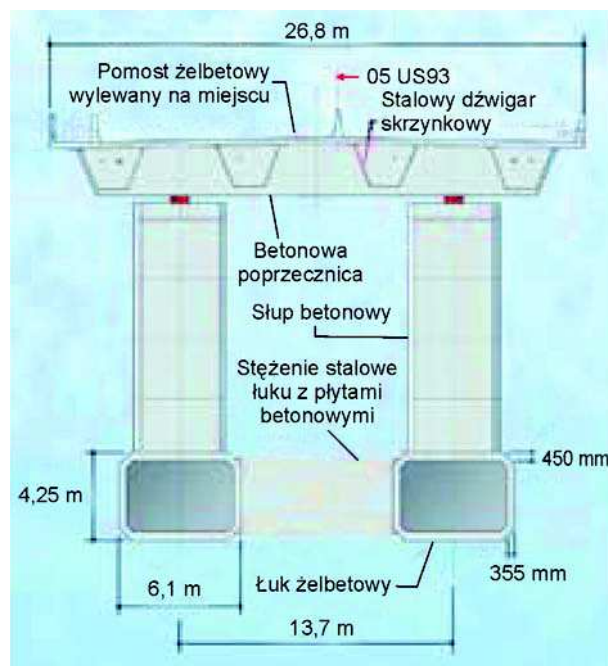
w długim kanionie rzeki jest narażony na mocne uderzenia wiatru, zwłaszcza od strony jeziora Mead. Z tego powodu, aby ustalić obciążenia wiatrem przeprowadzono specjalne



Fot. 7. Polowa wytwórnia prefabrykatów



Fot. 8. Jedna ze ścian oporowych, po stronie stanu Nevada, wykonana w technologii ziemi zbrojonej (am. MSE)



Rys. 3. Typowy przekrój poprzeczny mostu przez rzekę Colorado

badania terenowe, które pozwoliły na korelację szybkości wiatru w miejscu projektowanego mostu z szybkościami wiatru mierzonymi na lotnisku w Las Vegas. Pozwoliły one na ustalenie, że projektowanie powinno zakładać podmuchy wiatru o prędkości 56 m/s, trwające 3 s. Analizy dynamiczne zaowocowały ustaleniem współczynnika obciążenia wiatrem równego 2,4 co oznaczało, że obciążenia boczne będące efektem wiatru przewyższały obciążenia będące efektem trzęsienia ziemi.

Decyzja o zastosowaniu betonowo-stalowego pomostu zespolonego była również konsekwencją dążenia do opracowania projektu pozwalającego na użycie szybkich i efektywnych technologii budowlanych. Długość przęsła ustalono na 37 m, co pozwoliło na użycie zarówno masztów wieżowych, połączonych liną służącą do transportu elementów konstrukcji, jak i, w razie potrzeby, bardziej konwencjonalnych dźwigów. Aby zachęcić wykonawców do użycia masztów wieżowych maksymalny limit ciężaru poszczególnych elementów ustalono na 455 kN. Typowy przekrój poprzeczny mostu pokazano na rysunku 3. Całkowita szerokość pomostu wynosi 26,8 m, zaś rozstaw słupów mierzony między ich osiami – 13,7 m.

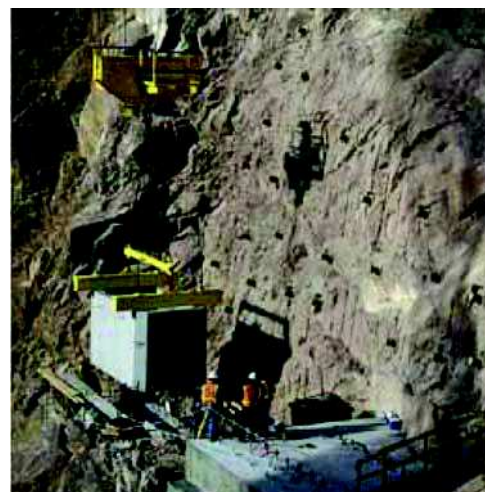
Wysokość najwyższych słupów sięga 92 m. Zarówno trzony słupów jak i oba betonowe łuki głównego przęsła zaprojektowano jako elementy skrzynkowe. Studia nad obciążeniem wiatrem wskazały na możliwość znacznej redukcji drgań i sił będących efektem podmuchów i zawirowań powietrznych poprzez ścięcie rogów zarówno filarów jak i łuków. Skomplikowało to nieco bardziej wykonawstwo, ale za to pozwoliło na istotne oszczędności materiałowe.

Schemat statyczny wymagał zaprojektowania łożysk przesuwnych na krótkich, sztywnych podporach usytuowanych na łuku głównego przęsła ze względu na duże momenty drugorzędne, spowodowane odkształceniami od pełzania łuku, jak również ze względu na konieczność równomiernego rozkładu sił podłużnych powstałych w czasie trzęsienia ziemi.

Poprzecznicę w osi słupów zaprojektowano jako wylewane na miejscu elementy kablobetonowe jako alternatywa do stalowych elementów skrzynkowych. Elementy kablobetonowe są znacznie łatwiejsze do sprawdzania w czasie okresowych inspekcji i znacznie tańsze w utrzymaniu. W efekcie końcowym główne przęsło łukowe o rozpiętości 320 m przenoszące naprężenia o wartości 70 MPa jest przykładem konstrukcji o dużej efektywności.

Budowa mostu – metody konstrukcyjne

Projektowanie na obciążenia statyczne jest zależne od sposobu wznoszenia konstrukcji mostu. W Stanach Zjednoczonych projektant proponuje bowiem tylko wstępny schemat wznoszenia konstrukcji pozostawiając szczegóły do decyzji wykonawcy. W tym wypadku zespół ekspertów powziął



Fot. 9. Budowa pierwszej podpory po stronie Arizony



Fot. 10. Budowa pierwszych przęseł mostu



Fot. 11. Forma do budowy przęsła łukowego

decyzję odstąpienia od tej reguły z uwagi na unikatowość projektu. Pozostawienie szczegółów do dopracowania w fazie wykonawstwa mogło spowodować znaczące opóźnienia w harmonogramie budowy ze względu na czas potrzebny do ich uzgodnienia i zatwierdzenia. Ponadto zespół projektowy zgodził się z opinią grupy ekspertów, że dopracowanie szczegółów w fazie projektowania pozwoli na bardziej efektywny proces wyboru wykonawcy. Niemniej pozostawiono w kontrakcie przetargowym opcję wyboru innej (lepszej) metody wykonawstwa, gdyby taka została zaproponowana przez wybraną firmę. Ponadto dokumenty przetargu, który zakończył się wyborem wykonawcy w październiku 2004 r., dawały potencjalnemu wykonawcy wybór między betonowaniem na miejscu, a używaniem elementów prefabrykowanych. Postawiono jedynie wymaganie, aby wszystkie słupy były tego samego typu bez względu na sposób ich wznoszenia. Zaproponowany harmonogram budowy przewidywał zakończenie budowy w ciągu 3 lat. Budowę mostu rozpoczęto w lutym 2005 r. Pierwszym wyzwaniem dla wykonawcy było usytuowanie bazy budowy fundamentów mostu ze względu na strome zbocza kanionu, mniej więcej 250 m powyżej zwierciadła wody.

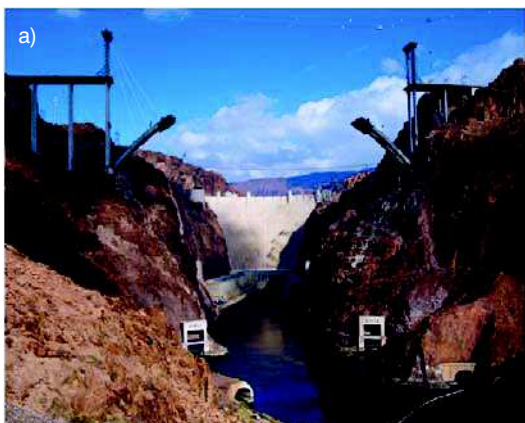
Kolejnym, jeszcze większym wyzwaniem, były roboty ziemne pod fundamenty głównego przęsła (fot. 9). Prowadzenie robót w skalistym gruncie było dostatecznym utrudnieniem, lecz jeszcze większym problemem była konieczność ochrony koryta rzeki. Zezwolenia na budowę ściśle limitowały ilość odtłaków skalnych, które mogły spadać do rzeki. Ku satysfakcji zarówno urzędów ochrony środowiska, jak i organizacji społecznych, wyspecjalizowany podwykonawca (Ladd Construction from Redding, California) nie tylko wykonał prace w terminie, ale też ograniczył ilość materiału spadającego do rzeki do połowy przyznanej normy.



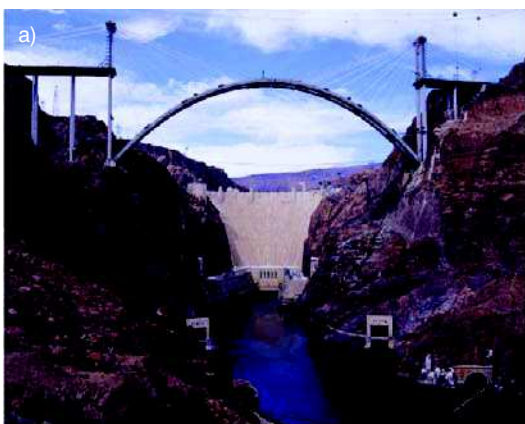
Fot. 12. Pierwsze fragmenty przęsła głównego: a) po stronie stanu Arizona, b) po stronie stanu Nevada

W czasie gdy na miejscu budowy mostu prowadzono roboty ziemne, na innym placu budowy (fot. 7) zorganizowanym w pobliżu Boulder City, wykonawca rozpoczął produkcję prefabrykowanych elementów betonowych filarów, które sukcesywnie transportowano ciężarówkami na miejsce budowy i instalowano za pomocą zarówno tradycyjnych, jak i masztów wieżowych pozwalających na przenoszenie materiałów z jednego brzegu kanionu na drugi (fot. 10).

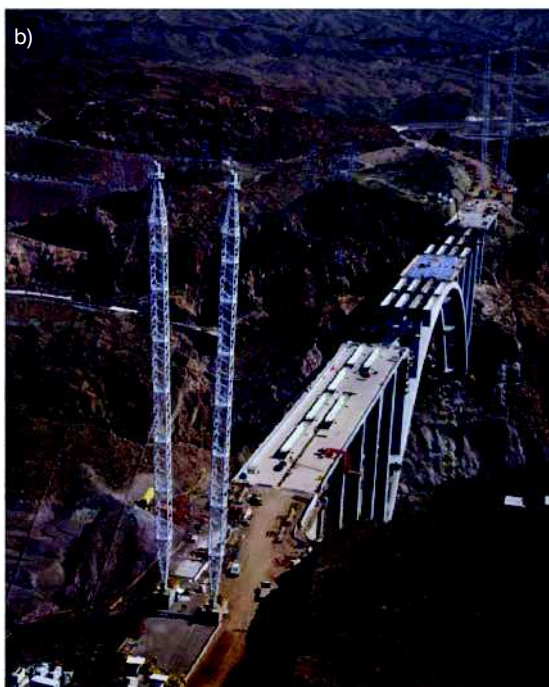
Konstrukcja mostu o całkowitej długości 579 m wymagała wzniesienia głównego przęsła łukowego o rozpiętości 320 m, pięciu przęseł po stronie stanu Nevada oraz dwóch przęseł po stronie stanu Arizona. Budowę głównego przęsła łukowego prowadzono przy jednoczesnym użyciu czterech form deskowania (fot. 11, 12 i 13), co pozwoliło na równoległe wznoszenie obu łuków zarówno po stronie Arizony, jak i Nevada. Każdy łuk składał się z 53 segmentów i był budowany metodą betonowania na miejscu. Po pierwszych doświadczeniach prace montażowe usprawniono do tego stopnia, że betonowanie każdego kolejnego segmentu zajmowało zaledwie dwa tygodnie.



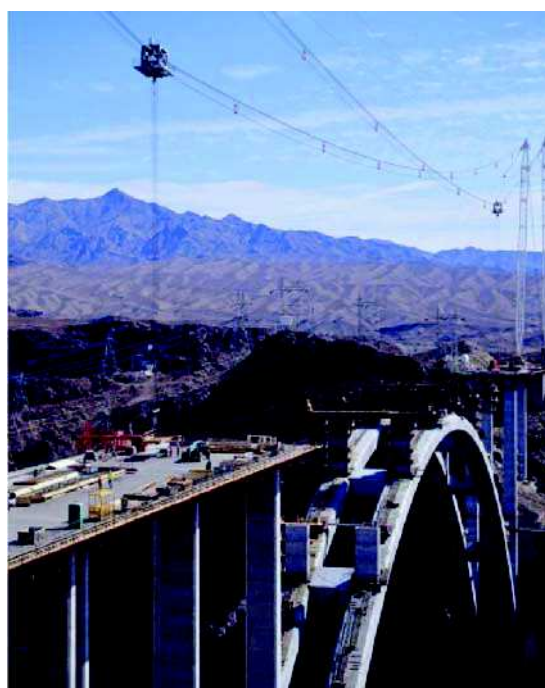
Fot. 13. Postęp w budowie łuku: a) faza początkowa, b) faza końcowa



Fot. 14. Kolejne fazy budowy głównego przęsła: a) domknięcie łuku, b) budowa pomostu



Budowę głównego przęsła łukowego zakończono w sierpniu 2009 r. (fot. 14a). Precyzja montażowa pozwoliła na osiągnięcie znakomitej tolerancji: szczelina między obiema półkami łuków wyniosła zaledwie około 20 mm. Szczelinę zamknięto zbrojonym betonem. Po zamknięciu łuku rozpoczęto wznoszenie słupów (fot. 15), na których sukcesywnie



Fot. 15. Montaż słupów

Rys. 4. Zastosowanie dźwigów wieżowych: a) projekt, b) wykonawstwo



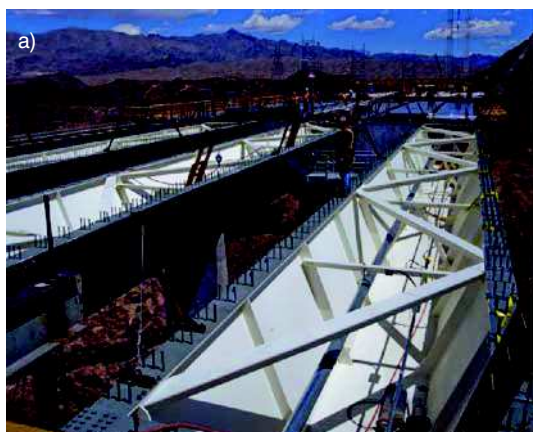
Fot. 16. Montaż stalowych elementów skrzynkowych pomostu

montowano stalowe elementy dźwigarów, również o przekroju skrzynkowym (fot. 16). Montaż zakończono w połowie kwietnia 2010 r. i wkrótce potem rozpoczęto prace nad zbrojeniem (fot. 17 a,b) i wylewaniem betonowej płyty pomostu, które zakończono w lipcu 2010 r. (fot. 18 a, b). Uroczystość otwarcia mostu odbyła się 16 października 2010 r., trzy lata później niż planowano.

Termin zakończenia projektu był przesuwany parokrotnie z różnych powodów. Pierwsze, kilkumiesięczne opóźnienie, zostało spowodowane brakiem zgody władz lokalnych na lokalizację i eksploatację kamieniołomu. Następne poważniejsze opóźnienie było efektem wichury 15 września 2006 r. Huraganowe wiatry przewróciły wieżowe dźwigi używane do budowy głównego przęsła łukowego. Na szczęście obyło się bez ofiar w ludziach. Prace w ograniczonym zakresie podjęto już miesiąc później, ale końcowym efektem wichury było dwuletnie opóźnienie całości prac budowlanych. Główny wykonawca mostu (konsorcjum dwóch firm: Obayashi Corporation i PSM Construction) pokrył dodatkowe koszty związane z usuwaniem zniszczeń oraz odbudową dźwigów wieżowych, którą zlecono wyspecjalizowanej firmie z Cincinatti (F&M Mafo Incorporated).

Śmiertelny wypadek z jesieni 2008 r. spowodował dodatkowe opóźnienie. W trakcie rutynowej operacji sprawdzania

Fot. 17. Budowa pomostu:
a) dźwigary stalowe, b) zbrojenie płyty pomostu



Fot. 18 a,b) Most i droga przygotowane do ceremonii otwarcia





Fot. 19. Dzień otwarcia: 16 października 2010 r.

kabli używanych do transportu materiałów zginął pracownik firmy Obayashi. Obayashi Corp. odmówiła współpracy z federalnym urzędem bezpieczeństwa i higieny pracy, co spowodowało czasowym zamknięciem części placu budowy, którą otwarto ponownie dopiero po zakończeniu dochodzenia powypadkowego. Niemniej, zakończenie budowy i oddanie projektu do użytku (fot. 19) było wielkim wydarzeniem dla obu stanów, jak również projektantów, inwestorów i wykonawców. W uroczystości otwarcia wzięli udział gubernatorowie obu stanów, członkowie obu izb Kongresu USA i wysokiej rangi przedstawiciele rządu federalnego. Całkowity koszt projektu, mimo wszystkich opóźnień, wyniósł zaledwie 240 mln USD.

Podsumowanie

Oficjalna nazwa	Mike O'Callaghan – Pat Tillman Memorial Bridge
Alternatywna nazwa	Hoover Dam Bypass Bridge
Trasa drogowa	U.S. Route 93
Przeszkoda wodna	Colorado River
Lokalizacja	Lake Mead National Recreation Area, Clark County, Nevada – Mohave County, Arizona
Stanowe administracje drogowe (utrzymanie)	Arizona Department of Transportation
Projektant	T. Y. Lin International
Główny Wykonawca	Obayashi Corp. / PSM Construction
Rodzaj konstrukcji	Betonowo-stalowy most łukowy
Całkowita długość	1,900 ft (579 m)
Najdłuższe przęsło	1,060 ft (320 m)
Skrajnia pionowa	900 ft (270 m)
Początek budowy	14 lutego 2005 r.
Koniec budowy	14 października 2010 r.
Koszt projektu	240 mln USD
Natężenie ruchu (poj/24 h)	15 000

W artykule wykorzystano zdjęcia i materiały z archiwów *Federal Highway Administration, Central Federal Lands Highway Division (FHWA/CFLHD)*, jak również publikacji w czasopiśmie branżowym „*Aspire*”.

Z działalności SITK

Nagrody „ERNEST 2011” oraz dyplomy wręczone!

Zarząd Krajowy Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP – kontynuując tradycję corocznych spotkań z Honorowymi Członkami Stowarzyszenia zorganizował, w dniu 19 czerwca 2012 r. w Warszawskim Domu Technika, posiedzenie Rady Prezesów, połączone z uroczystością wręczenia nagród ERNESTY 2011 dla najaktywniejszych działaczy, kół/klubów i oddziałów Stowarzyszenia, za działalność w 2011 r. Wręczono również okolicznościowe dyplomy Prezesa SITK RP.

W posiedzeniu wzięli udział Członkowie Honorowi, Nominowani do Nagrody ERNEST 2011, Prezesi Honorowi Oddziałów, Członkowie Rady Prezesów, Członkowie Kapituły „ERNEST 2011”, Członkowie Komisji Rewizyjnej oraz zaproszeni goście.

Swoją obecnością spotkanie zaszczylicili: Lech Witecki – Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad, Leszek Rafalski – dyrektor Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, Jan Urbanowicz, Andrzej Kolasa z Urzędu Transportowego Dozoru Technicznego (UTDT), Jakub Karnowski – Prezes PKP

S.A., Hubert Jednorowski – zastępca dyrektora Głównego Inspektora Transportu Drogowego (GITD), Gustaw Zemła – projektant pomnika Ernesta Malinowskiego oraz statuetki na-



Fot. 1. Stół prezydialny