

Modernizacja mostu Golden Gate

Z EWĄ BAUER-FURBUSH, głównym inżynierem mostu Golden Gate, rozmawia KRZYSZTOF DĄBROWIECKI



Czasopismo „NBI” zajmuje się szerokim zakresem budownictwem lądowym, w tym mostami. Proszę powiedzieć naszym czytelnikom, co zainspirowało Panią do wyboru zawodu inżyniera budownictwa lądowego?

Bardzo mi miło i dziękuję za zaproszenie. Mój tato Grzegorz Bauer (1927–1986) był architektem. Ukończył Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej i Wydział Architektury AGH. Pracował w Wojewódzkim Biurze Projektów w Kielcach. Był autorem i współautorem m.in. projektów kościoła św. Jadwigi Królowej w Kielcach, Spółdzielczego Domu Handlowego Sezam w Radomiu, osiedla mieszkaniowego Pionki, kultowej i bardzo modernistycznej architektonicznie kawiarni Biruta w Kiel-

cach. Tato miał duży wpływ na moje zainteresowania związane z matematyką, fizyką, rysunkiem i ogólnie budownictwem, więc kiedy nadszedł czas wyboru zawodu, zdecydowałam się zostać inżynierem budownictwa. Skończyłam Politechnikę Świętokrzyską, a później studia podyplomowe na Politechnice Warszawskiej, które choć nie były związane z mostami, były bardzo interesujące.

Proszę pokrótce opowiedzieć o Pani, polskiej inżynier, drodze awansu w USA.

Do Stanów przyjechałam w 1985 r. Karierę zawodową rozpocząłam jako inżynier projektant w prywatnych firmach konsultingowych niedaleko San Francisco. W ciągu pierwszych trzech, czterech lat projektowałam budynki biurowe, a także

mosty. Potem przenieśliam się do Caltrans (California Department of Transportation), gdzie zostałam zatrudniona jako projektant w biurze projektowym w San Francisco. W 1994 r. jeden z moich kolegów inżynierów zachęcił mnie, abym ubiegała się o wolne stanowisko zastępcy głównego inżyniera mostu dystryktu Golden Gate. Po rozmowie kwalifikacyjnej zostałam zatrudniona przez dystrykt. Później, w 2010 r., rada dyrektorów dystryktu nominowała mnie na stanowisko głównego inżyniera i pełnię tę funkcję do tej pory.

Czyli to już 14 lat. Moje gratulacje.

Tak, dziękuję. Ale z każdym rokiem spędzonym tutaj, w dystrykcie, jestem o rok młodsza (*śmiech*).

Wspaniale. Na chwilę chciałbym wrócić do okresu przed objęciem przez Panią stanowiska głównego inżyniera mostu Golden Gate. Czy były jakieś wyjątkowe projekty, które Pani szczególnie zapamiętała?

Miałam okazję pracować nad projektami mostów, które były bardzo interesujące. Na początku mojej kariery zawodowej zajmowałam się analizą wymiany mostu Williamsburg w Nowym Jorku i projektem renowacji historycznego obiektu Colorado Street Bridge w Pasadenie w Kalifornii, a także projektem wymiany ramp autostrady nr 280 w San Francisco. To były bardzo ciekawe i wymagające pod względem inżynieryjnym wyzwania, a kiedy zostałam zatrudniona przez dystrykt, jak już wspomniałam, na stanowisku zastępcy głównego inżyniera, moim podstawowym zadaniem było zarządzanie projektem modernizacji sejsmicznej mostu. Zarządzałam wtedy projektowaniem i przygotowaniem wczesnych faz modernizacji sejsmicznej. Pierwszym projektem, którym kierowałam w dystrykcie, była wymiana nawierzchni asfaltowej w rejonie poboru opłat przy wjeździe na most. Wszystkie te projekty wiązały się z różnymi wyzwaniami, ale muszę powiedzieć, że jeden projekt jest szczególnie wyjątkowy, ważny i technicznie wymagający. Jest nim modernizacja sejsmiczna mostu Golden Gate. Kiedy ludzie patrzą na ten most, to widzą i podziwiają tylko część wiszącą, tymczasem obiekt

składa się z dziewięciu różnych konstrukcji. Od strony południowej podejście do mostu obejmuje pięć części. Jest to stalowy wiadukt południowy, który znajduje się powyżej betonowej konstrukcji chroniącej zakotwienie kabli mostu wiszącego, dalej jest stalowy łuk Fort Point, po obu stronach łuku znajdują się wysokie, betonowe, podpierające pylony S1 i S2. Po stronie północnej mostu wiszącego jest wysoka konstrukcja północnego pylonu, a za nim konstrukcja chroniąca północne zakotwienie głównych kabli nośnych mostu wiszącego. Na samym końcu mostu jest stalowy, północny wiadukt. Tak więc całkowita długość konstrukcji, od przyczółka do przyczółka, wynosi 2,7 km, sam most wiszący ma ok. 2 km długości, a jego przeszło główne 1280 m. Most Golden Gate zajmuje obecnie 19. miejsce pod względem długości przeszła środkowego na świecie. Kiedy został zbudowany, był najdłuższym mostem na świecie i takim pozostawał przez bez mała 30 lat. Wieże mostu wiszącego mają 227 m, stalowa kratownica zawieszona jest 67 m nad wodami cieśniny Golden Gate. Podaję te wszystkie dane, żeby zilustrować, jak bardzo skomplikowana jest jego modernizacja sejsmiczna. Trzeba też dodać, że żadna z tych konstrukcji nie jest taka sama.

Proszę opowiedzieć o strukturze zarządzania mostem Golden Gate. Jaki zakres prac i odpowiedzialności obejmuje funkcja głównego inżyniera mostu?

Most Golden Gate jest bardzo wyjątkowy. Wszystkie duże mosty w Kalifornii podlegają Caltrans. Dystrykt Golden Gate został założony w 1929 r. w celu budowy, obsługi i konserwacji mostu. Organizacja dystryktu opiera się na sześciu powiatach, które zgodziły się na sfinansowanie budowy mostu przez emisję obligacji zabezpieczonych nieruchomościami obywateli tych powiatów. Proces finansowania projektu i budowy mostu Golden Gate był bardzo odmienny od innych wielkich mostów kalifornijskich. Dystrykt został założony przez powiaty San Francisco, Marine, Napa, Sonoma, Medocino i Del Norte i jest niezależną organizacją w rozumieniu prawa kalifornijskiego. Dystryktem zarządza rada złożona z 19 dyrektorów, którzy reprezentują założycielskie powiaty. Do nich muszą składać wszystkie swoje raporty. W 1970 r. rada dyrektorów zdecydowała, że dystrykt musi dodatkowo objąć usługi autobusowe i promowe dla osób z północnych powiatów dojeżdżających do pracy w San Francisco. Decyzja ta była podyktowana potrzebą zmniejszenia ruchu samochodowego na moście, co stało się coraz większym problemem. Od



Otwarcie systemu Road Zipper na moście Golden Gate, źródło: Lindsay



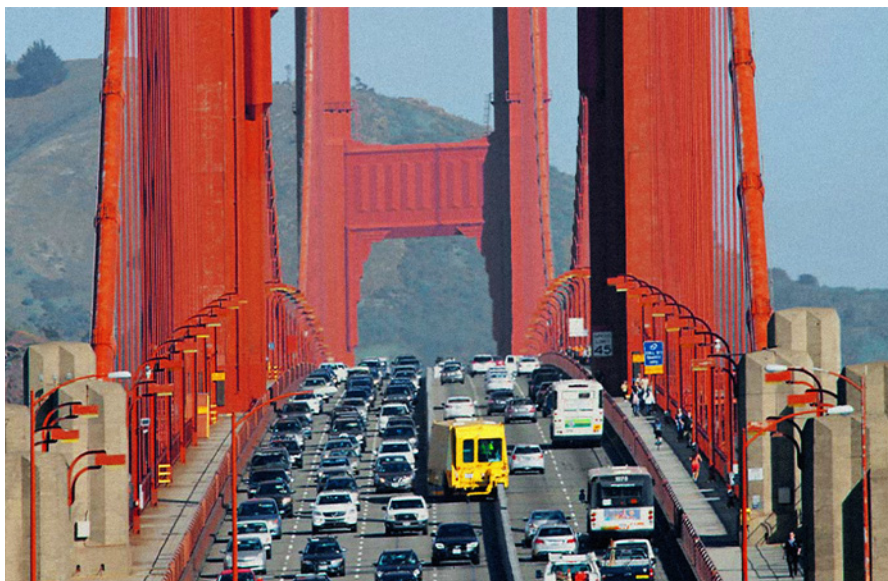
Nowe bariery podziału pasów ruchu, źródło: Lindsay

tamtego czasu dystrykt podzielony jest na trzy wydziały operacyjne: mostowy, autobusowy i promowy, oraz jeden wydział administracyjny, który jest odpowiedzialny za zarządzanie organizacją całego dystryktu, w tym inżynierią, finansami i zatrudnieniem. Kierownictwo dystryktu składa się z pięciu oficerów mianowanych przez radę dyrektorów. Są to główny menedżer, główny inżynier, kontroler audytu, sekretarz i prawnik. Jako główny inżynier jestem odpowiedzialna za wszystkie projekty inżynierskie i budowlane w dystrykcie, a także za doradzanie radzie we wszystkich sprawach, które wymagają profesjonalnej, inżynierskiej opinii i przedstawienia im rekomendacji w zakresie zamówień na profesjonalne doradztwo inżynierskie i kontrakty budowlane. Kieruję także działem inżynierskim, który prowadzi badania środowiska, zajmuje się projektowaniem i działaniami budowlanymi obejmującymi

wszystkie ulepszenia konstrukcyjne całej infrastruktury w dystrykcie w sektorze mostowym, autobusowym i promowym. Organizuję i kieruję inspekcjami konstrukcji mostu Golden Gate, jak również wszystkich budynków znajdujących się w posiadaniu dystryktu dla określenia stanu i niezbędnych napraw oraz ulepszeń. Mój dział opracowuje i zarządza kontraktami konsultacyjnymi i budowlanymi.

W tym kontekście chciałbym nawiązać do trzęsienia ziemi w Bay Area w 1989 r., które spowodowało uszkodzenie m.in. Bay Bridge. Czy było przeprowadzone badanie konstrukcji mostu Golden Gate po tym trzęsieniu ziemi? Jakie wnioski wyciągnięto po przeprowadzonych kontrolach i czego dotyczyły rekomendacje?

Chociaż most nie został uszkodzony w wyniku tego trzęsienia ziemi, dystrykt natychmiast zajął się analizą konstrukcji



Działanie systemu Road Zipper w praktyce, źródło: Lindsay



Specjalne pojazdy do przestawiania barier rozdzielających pasy ruchu w systemie Road Zipper, źródło: Lindsay



Elastomerowe poduszki, fot. K. Dąbrowiecki

mostu na wypadek, gdyby podobne trzęsienie ziemi miało miejsce na bliższych uskokuach sejsmicznych. Stwierdzono, że niektóre konstrukcje na południe i na północ od mostu wiszącego mogłyby się zawalić, a most wiszący mógłby ulec uszkodzeniu niemożliwemu do naprawienia. Wnioski z tych analiz konstrukcyjnych skłoniły radę dyrektorów do wdrożenia projektu modernizacji sejsmicznej. Jej celem jest zabezpieczenie mostu przed taką katastrofą. Innym bodźcem był fakt, że most został uznany przez stan Kalifornia za element „linii życia”, czyli konieczny do funkcjonowania podczas poważnych katastrof, m.in. trzęsień ziemi.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano zalecenia dotyczące ochrony mostu przed kolejnym dużym trzęsieniem ziemi. Co i w jakiej kolejności należało zrobić?

Tak jak mówiłam wcześniej, konstrukcję mostu stanowi dziewięć zróżnicowanych części, ponadto ze względu na dużą skalę modernizacji sejsmicznej i jej koszt cały program poprawy został podzielony na kilka etapów. Ponieważ wiadukt po północnej stronie części wiszącej został uznany za najbardziej narażony na zawalenie się podczas dużego trzęsienia ziemi, ta część konstrukcji została zmodernizowana w pierwszej kolejności, następnie udoskonalono pięć bardzo różnych części konstrukcji po południowej stronie mostu wiszącego. Wiadukt południowy wymagał wymiany wszystkich stalowych podpór pomostu drogowego. Musieliśmy także zainstalować urządzenia izolacji sejsmicznej.

Mówimy tu o specjalnych poduszkach umieszczonych w stalowych gniazdach pomiędzy podporami a pomostem?

Tak. Są to poduszki w kształcie kul lub walców pokryte specjalnym elastomerem, rodzajem twardej gumy, wewnątrz których znajduje się stop metali z przewagą ołowiu. Następną konstrukcją, która została zmodernizowana, to betonowe pylony po obu stronach Fort Point. Pierwotnie były one zbudowane jako betonowe bloki z minimalnym zbrojeniem wewnątrz. Dlatego zdecydowano się na obłożenie ścian tych bloków metalowymi płytami, które w końcowej fazie zostały pokryte betonem architektonicznym dla przywrócenia oryginalnego wyglądu ścian pylonów. Trzecią fazą projektu była modernizacja północnego, betonowego pylonu i budowlu ochraniającej zakotwienie kabli wiszących. Cały koszt modernizacji wykonanej do tej pory wynosi 400 mln USD. Obecnie pra-

cujemy nad wdrożeniem ostatniego etapu modernizacji sejsmicznej, która dotyczy części wiszącej mostu. Jest to największa i najbardziej kosztowna faza projektu. Koszt tego etapu został oszacowany na ponad 900 mln USD, ale należy go porównać z uniknięciem kosztów wymiany całego mostu, który ocenia się na 8 mld USD, o ile taka wymiana byłaby w ogóle możliwa.

Co w ostatnim etapie projektu w ramach tych 900 mln USD będzie modernizowane lub wymieniane?

Lista modernizacji i wymian jest bardzo długa. Zakres tej części projektu obejmie całkowitą wymianę górnego usztywnienia lateralnego, wzmocnienie dolnego i bocznego układu usztywniającego wraz z malowaniem, wzmocnienie płytami stalowymi betonowych podstaw pylonów kabli głównych, montaż 38 specjalnie zaprojektowanych urządzeń do rozpraszania energii sejsmicznej w celu zmniejszenia ilości energii sejsmicznej przekazywanej do kratownic mostu. Energia rozpraszana będzie podczas tarcia występującego pomiędzy płytami ze stali nierdzewnej i brązu, gdy płyty będą się poruszać względem siebie podczas wstrząsów sejsmicznych. Urządzenia te pozwolą, oprócz oczywistych zalet absorpcji energii, na zmniejszenie kosztów związanych z konstrukcyjnym wzmocnieniem mostu przez dodanie większej ilości stali. Będą one zainstalowane na dwóch przyczółkach mostu, na kratownicy pomostu i po obu stronach wież. Ponadto projekt przewiduje modernizację sześciu istniejących przepustów wiatrowych i wymianę tyleż samo istniejących dylatacji jezdni, aby uwzględnić trzykierunkowe ruchy kratownic mostu podczas dużego trzęsienia ziemi. Zastosowane będą złącza dylatacyjne z płyt segmentowych o wielokierunkowym przesunięciu (*multi-directional movement – MDM*) typu WaboMDM Transflex (firma Watson Bowman Acme – Wabo) wraz z opatentowanym rozwiązaniem typu Trelleborg Transflex. Zainstalowane zostaną platformy robocze pod i wewnątrz stalowych kratownic mostu. Niektóre z tych platform będą zamknięte, aby zapewnić szczelne środowisko podczas prac malarskich. Należy podkreślić, że prowadzenie prac budowlanych wymaga częściowego zamknięcia pasów ruchu na moście w nocy, aby most był zawsze otwarty dla ruchu.

Jest to naprawdę olbrzymie i technicznie złożone przedsięwzięcie. Dodatkowo ruch komunikacyjny na jednopoziomowym moście z sześcioma pasami ruchu, po trzy



Zabezpieczenie sejsmiczne pomostu, fot. K. Dąbrowiecki

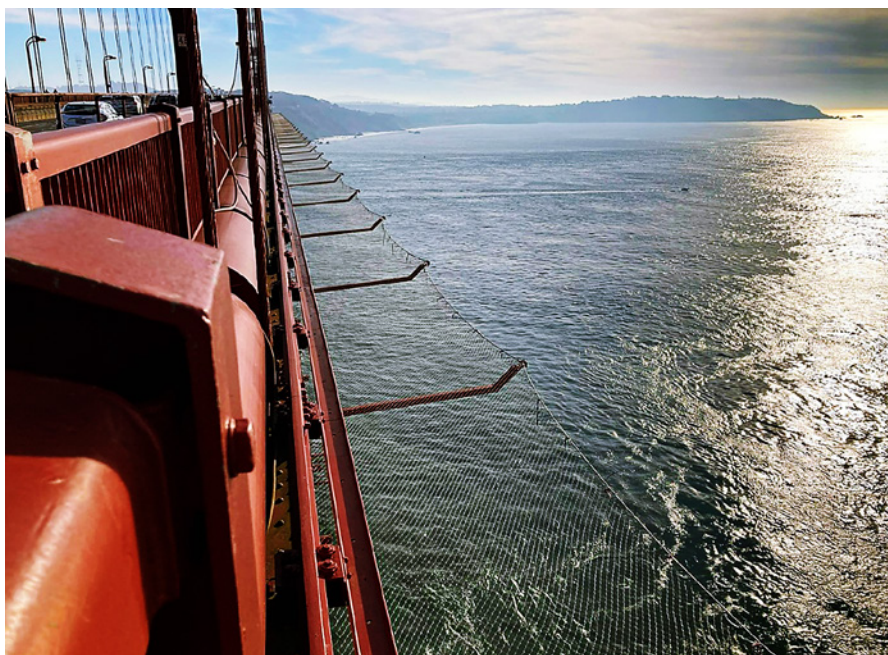
w każdą stronę, jest również niezwykle wyzwaniem organizacyjnym. Co zostało zrobione w ostatnim czasie dla podniesienia bezpieczeństwa i usprawnienia płynności ruchu na moście Golden Gate?

Należy pamiętać, że most został zbudowany w latach 30. XX w. zgodnie ze standardami tamtego czasu. Jezdnia ma sześć pasów ruchu, po trzy w każdą stronę. Każdy pas ma szerokość 10 stóp (3 m), ale w zależności od natężenia ruchu, szczególnie w godzinach szczytu komunikacyjnego, liczba pasów w każdą stronę jest zmieniana. Do 2015 r. zmiany te były wykonywane ręcznie przez przestawianie plastikowych, żółtych słupków w linii podziału pasów. I tak w porannych godzinach szczytu komunikacyjnego do San Francisco były przeznaczane cztery pasy ruchu, a w przeciwną stronę tylko dwa. W godzinach popołudniowych było odwrotnie. Słupki te nie zapewniały jednak żadnej fizycznej bariery między samochodami jadącymi w przeciwnych kierunkach i dochodziło do czołowych zderzeń i śmierci ludzi. Rozwiązanie tego problemu i zapewnienie większego bezpieczeństwa jazdy było głównym priorytetem dla naszego dystryktu. We współpracy z firmą Lindsay opracowano i zainstalowano specjalną, ruchomą, przeznaczoną tylko dla mostu Golden Gate barierę o zmniejszonej szerokości 0,3 m. W ramach wdrożenia rozwiązania Road Zipper System firma Lindsay zaprojektowała również specjalne pojazdy do wielokrotnego, bezpiecznego i szybkiego przestawiania barier. Od czasu instalacji tych barier, czyli od 2015 r., nie mieliśmy żadnych czołowych kolizji na moście.

Kolejna sprawa związana z poprawą bezpieczeństwa dotyczy projektu instalacji

siatek ochronnych. Proszę opowiedzieć o założeniach tego projektu i jego realizacji.

Golden Gate, najpiękniejszy most na świecie, ma też ciemną stronę. Niestety przyciąga ludzi, którzy chcą popełnić samobójstwo. Balustrada mostu ma tylko ok. 1 m wysokości i nie stanowi większej przeszkody do pokonania. Dystrykt szukał odpowiedniego rozwiązania, badał płyty i inne środki zaradcze. Ostatecznie po zakończeniu szerokiego zakresu badań w 2010 r. dystrykt ukończył raport dotyczący środowiskowych badań nad fizycznymi barierami zabezpieczającymi przed popełnianiem samobójstw na moście. Raport rekomendował horyzontalną siatkę zainstalowaną po obu stronach mostu jako najlepszą, pożądaną alternatywę. Takie rozwiązanie zapewniało duże bezpieczeństwo przy niezmięnionej architekturze konstrukcji mostu i, co ważne, nie zasłaniało widoków. Podobne siatki zostały zainstalowane na mostach w Szwajcarii, Niemczech i na kampusie uniwersytetu Cornell w celu zapobieżenia samobójstwom i stwierdzono, że zniechęcają one ludzi do samobójczego skakania. W większości siatka ochronna jest już zamontowana i przewidujemy, że całkowite zakończenie jej instalacji nastąpi w połowie 2024 r. Mamy niestety niespodziewane opóźnienia w projekcie z powodu zmian własności firmy, która montuje te siatki. W ramach projektu musimy wymienić kilkanaście platform: stare, oryginalne platformy konserwacyjne pod kratownicą, które były w złym stanie i również kolidowały z zainstalowaną siatką ochronną. Ta część modernizacji zostanie ukończona nie wcześniej niż w 2026 r.



Siatka ochronna, źródło: GG Bridge District

Na łamach lokalnej prasy pojawiły się doniesienia, że po instalacji siatki powstało zjawisko zawirowań powietrza, które powoduje szum i jakiś jednostajny gwizd. Czy w związku z tym zarządu mostu podjął działania w celu wyeliminowania tego zjawiska?

Inżynierowie mówią, że most „śpiewa”, ale żarty na bok. Siatka nie jest źródłem niepożądanych dźwięków. Ich źródłem jest balustrada po stronie zachodniej głównego przęsła mostu wiszącego. Nowa balustrada została zamontowana, żeby poprawić odporność mostu na silne wiatry wiejące z zachodu, od Pacyfiku. W tunelu aerodynamicznym przeprowadziliśmy badania nad rozwiązaniami, które mogłyby wytłumić ten niepotrzebny dźwięk, i ustaliliśmy, że specjalnie ukształtowane formy krawędziowe, czyli owiewki, powinny go wyeliminować. Planujemy montaż tych owiewek wiosną i latem tego roku na długości głównego przęsła.

Most jak każde urządzenie wymaga konserwacji, a często też wymiany części. Co w ciągu prawie 90 lat użytkowania zostało już wymienione w moście, a co z technicznego punktu widzenia jest bliskie wymianie?

W ciągu bez mała 90 lat dystrykt wprowadził kilka ważnych zmian konstrukcyjnych. W latach 1951–1955 w dolnej części kratownicy pomostu zainstalowano tzw. dolne usztywnienie lateralne, które zwiększyło stabilność mostu przy silnym wietrze, a zwłaszcza jego odporność na skręcanie kratownicy. Bezpośrednim powodem była katastrofa i zawalenie się mo-

stu Tacoma-Narrows w 1940 r. Od czasu ukończenia mostu w 1937 r. Golden Gate nieustannie poddawany jest korozyjnym wpływom oceanu, dlatego na podstawie raportu z 1969 r. w latach 1970–1979 wymieniono wszystkie liny wieszakowe. Oryginalna jezdnia i chodniki w czasach, kiedy budowano most, były wykonane z betonowej płyty wspartej na stalowych belkach wzdłużnych. W latach 1982–1985 nawierzchnia została wymieniona na nową, asfaltowo-epoksydową, nałożoną na stalowe płyty umieszczone na stalowych żebrach trapezowych.

Jak Pani ocenia aktualną kondycję mostu?

Ponieważ do dzisiaj wykonanych zostało wiele napraw i wymian części konstrukcyjnych, most jest w 100% bezpieczny i funkcjonujący, jednak to nie znaczy, że nie mamy projektów, które będą musiały być przeprowadzone w następnych 20 latach. W najbliższej dekadzie, jak już wcześniej wspomniałam, będziemy wykonywali na moście wiszącym modernizację sejsmiczną, a przy okazji wymieniali i naprawiali te elementy, które i tak bez tego projektu musiałyby być zmienione. Bardzo ważnym zadaniem do zrealizowania w najbliższych ośmiu latach jest konserwacja i malowanie głównych kabli nośnych. Przeprowadziliśmy inspekcję tych kabli i stwierdziliśmy, że w środku są w bardzo dobrym stanie.

Czy oprócz wspomnianych napraw i wymian są jeszcze jakieś inne elementy konstrukcji, które powinny ulec modernizacji?

Pewne elementy kratownicy będą wymienione przy okazji realizacji projektu

modernizacji sejsmicznej części wiszącej. Ten projekt jest niezmiernie ważny dla dystryktu, ponieważ spełnia dwie funkcje: wzmacnia odporność mostu i naprawia przy okazji inne elementy, które i tak wymagałyby odnowienia. Jestem zdania, że systematyczna konserwacja, wymiana zużytych części może wydłużyć życie tego mostu o długie lata, a być może nawet stulecia.

Mam nadzieję, że most będzie służył mieszkańcom jeszcze przez wiele, wiele lat. W 2019 r. otrzymała Pani prestiżową nagrodę Outstanding Projects and Leaders (OPAL). Proszę powiedzieć więcej o tym wyróżnieniu.

Nagrody OPAL są przyznawane przez Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Budownictwa Lądowego (ASCE). Jest to najstarsze i największe stowarzyszenie zawodowe w Stanach. Zostało założone w 1852 r. i skupia 150 tys. inżynierów na całym świecie. Nagrodę OPAL dostałam za wybitne kierowanie i zarządzanie modernizacją sejsmiczną pierwszych trzech etapów mostu Golden Gate.

Serdecznie gratuluję.

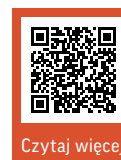
Dziękuję.

Zbliżając się do końca naszej rozmowy, chciałbym, żeby podzieliła się Pani swoimi sugestiami bądź radami dla młodych inżynierów budownictwa lądowego rozpoczynających obecnie karierę zawodową.

Świat zawsze będzie potrzebował inżynierów budownictwa, ponieważ ludzie bezustannie pragną ulepszyć środowisko, w którym żyją, poprawić warunki swojego życia. Jeśli pomyślimy o tym w szerszym kontekście, inżynierowie budownictwa byli od czasów piramid i nadal niezbędna jest ich wiedza i umiejętności. Wydaje mi się, że ktokolwiek wybiera ten zawód, to podejmuje bardzo dobrą decyzję. Jestem w tej chwili w sytuacji, w której nie mogę sobie wyobrazić, że w pewnym momencie będę musiała przejść na emeryturę. Praca w budownictwie lądowym jest fascynującym zajęciem, zawsze wymaga zaadaptowania do zmian. Człowiek, który wybierze ten zawód, musi nieustannie się uczyć, konieczne jest poszukiwanie wiedzy na temat nowych, często zmieniających się technik i technologii. Tak więc bardzo polecam zawód inżyniera budownictwa lądowego.

Dziękuję za rozmowę.

NBI.com.pl/branze/mosty/



Czytaj więcej