



ANDRZEJ STAŃCZYK

Warbud S.A.  
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

## Niekonwencjonalne mostownictwo Calatravy

Prawdziwa wielkość czy spryciarz... „Cudotwórca” czy „szarlatan”? Ten hiszpański architekt i twórca mostów, ze względu na walory estetyczne swych dzieł jest

znany nie tylko w kręgach specjalistów zajmujących się tymi dziedzinami. Inwestorzy: merowie miast, organizacje społeczne i filantropijne, a nawet osoby prywatne „stoją w kolejce” po jego projekty, choć projekty te nie są bez wad, a koszty ich realizacji przekraczają preliminarze nawet kilkakrotnie. A jednak po urzeczywistnieniu budowle te przyciągają zwiedzających, wynagradzając poniesione wydatki niekiedy z nawiązką. Bywa, że mosty Calatravy przynoszą bezpośredni dochód nawet wtedy, gdy przejazd nimi jest bezpłatny – wystarczy, że winda wewnątrz pylonu wywozi turystów na platformę widokową u szczytu, a pieniądze z biletów zasilają fundusz utrzymania mostu, podobnie jak opłaty za zwiedzanie zamków, lochów i innych regionalnych atrakcji, bez czego być może niszczałyby nie konserwowane. Czy ktoś z rodzimej administracji pomyśli o takim wykorzystaniu pylonów mostów w Warszawie, Gdańsku, Płocku lub Wrocławiu?

Znamienne jest, że ten nieszablonowy twórca był wychwalany przez architektów, gdy projektował mosty o zaskakujących kształtach i za to samo ganiony przez mostowców nawykłych do oszczędnej i przemyślanej, rzec można – ascetycznej formy ustroju nośnego. Obecnie zaś, gdy realizuje dzieło swego życia – budowę Miasta Sztuki i Nauki w rodzimej Walencji – jest przeciwnie. Teraz to koledzy po fachu, a także mieszkańcy tego miasta i użytkownicy budowli zarzucają mu zbyt ni rozmach i rozrzutność. A powstają tam budowle zadziwiające. Zdaniem jednego z koryfeuszów polskiego mostownictwa, każde pokolenie inżynierów powinno zostawić po sobie dzieła świadczące o możliwościach twórczych i technologicznych swych czasów... Oglądając dzieła Calatravy odnosi się wrażenie, że kres tych możliwości zanika. Za przyczyną wspomaganą komputerowego maleją ograniczenia projektowe, a przyglądając się ostatnim realizacjom w Walencji zda się, że niezadługo zanikną także – wykonawcze.

Spróbujmy docenić mostowe osiągnięcia tego twórcy, a może i spojrzeć na nie krytycznie, bo budowle Calatravy będą tyleż zachwyty co krytyki. Urodzony w 1951 r. w Benimamet, koło Walencji w Hiszpanii, studiował na Wydziale Architektury w Walencji, a następnie na Politechnice (ETH) w Zurychu, gdzie w 1981 r. rozpoczął pracę zawodową. Od tej pory, w ciągu trzech dziesięcioleci zrewolucjonizował ideę budowy mostów. Choć przemiana ta dotyczy raczej estetyki aniżeli zamysłu konstrukcyjnego, to nie można nie dostrzec jego nowatorskich osiągnięć także w działaniach inżynierskich. Spośród ponad pół setki jego mostów najbardziej znane są: *Alamillo* w Sewilli, *Bach de Roda* w Barcelonie i *Puente de la Mujer* [1] w Buenos Aires – wszystkie one rozwiązaniami konstrukcyjnymi różnią się od budowli mostowych znanych wcześniej.

Być może przyczyny odmienności mostów projektowanych przez tego twórcę, mechanizm powstawania koncepcji odbiegających od istniejących wzorów, można odkryć przez tytuły rozdziałów książki opisującej mostowe dokonania Calatravy [2], które brzmią następująco:

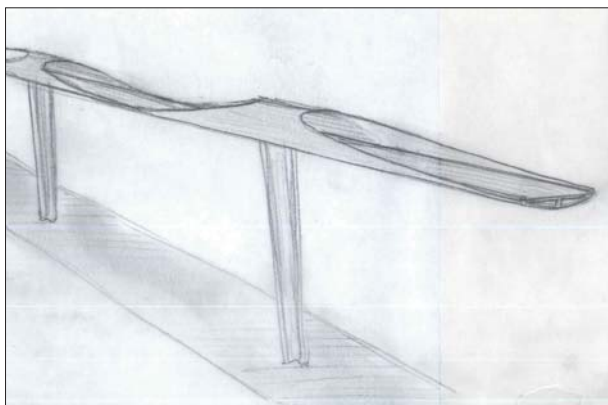
- nowe (ponowne) przemyślenie koncepcji mostów,
- mosty alpejskie,
- mosty w krajobrazach natury,
- mosty w krajobrazach historycznych,
- mosty na terenach zamieszkałych,
- budowle na mostach.

Porównanie tego rozróżnienia z tytułami rozdziałów podręczników mostownictwa segregujących mosty według tworzywa konstrukcyjnego i typu ustroju nośnego, powinno budzić nie tylko zaciekawienie, ale i zastanowienie inżynierów mostownictwa, a przede wszystkim pracowników naukowych i dydaktyków zajmujących się układaniem programu studiów w tej dziedzinie. Przecież taką klasyfikację mostów w jaką ujęto mostowe dzieła Calatravy, można przyjąć jako plan nauczania w uniwersytecie technicznym, gdzie mosty byłyby traktowane jako jeden z elementów krajobrazu, a w przypadku krajobrazu niezbyt zróżnicowanego – nawet jego najistotniejszą część. „Most może tworzyć nową przestrzeń”.

Podobno analizując konstrukcję mostu Calatrava stawia sobie pytanie – czym skutkowałoby przeniesienie któregoś jej elementu lub podpory w inne miejsce? Dobrą ilustracją takiego działania jest przekształcenie przezeń znanego projektu mostu Paolo Soleriego w most *ekstradosed* (Walensee bridge) czym zdobył uznanie jeszcze podczas studiów w Zurychu w 1979 r. Pomysł i kształt wieloprzęsłowego mostu Soleriego był tak urzekający, że napotkawszy przed laty zdjęcie jego modelu w czasopiśmie z kieszeni samolotowego fotela, ukradkiem wyrwałem zeń stronę i zachomikowałem w pudełku z ciekawostkami mostowymi, dzięki czemu dziś, choć podniszczone, mogę je zaprezentować (fot. 1). Jest to betonowa, eliptyczna „rura” prowadząca pomost w poziomie swej średnicy, która dzięki obłym wycięciom, obwiednią swej wytrzymałości naśladuje obwiednię momentów zginających w belce ciągłej – znaczniejszych nad podporami i w środkowych



Fot. 1. Model mostu włoskiego architekta Paolo Soleriego z 1948 r., wystawiony w Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Nowym Jorku



Rys. 1. Most Walensee Santiago Calatravy

częściach przęsła. Łatwo byłoby sprężyć ją cięgnami prostymi ukrytymi w płycie pomostu, bo środki ciężkości przekrojów poprzecznych tej wypreparowanej rury i wynikające stąd mimośrodowo siły sprężające nad podporami i w przęsle leżą po przeciwnych stronach pomostu, zgodnie ze znakami i wielkościami obwiedni momentów zginających. Przesunięcie w niej podpory o pół przęsła przez Calatravę spowodowało zmianę obwiedni momentów na dobrze odpowiadającą podwieszeniu nad podporą na pochyłych cięgnach, poprowadzonych płasko, jak to jest w mostach *ekstradosed* (rys. 1). Podobny zabieg z przesunięciem podpory znajdziemy w *Puente de la Mujer* w porcie Buenos Aires [1], gdzie „uciekła” ona spod osi pylonu pod środek ciężkości niesymetrycznych przęsła ruchomych (fot. 2a). Dzięki temu całość pozostaje nadal w równowadze, nawet podczas jej obrotu względem pionowej osi podpory przypylonowej.

W mostach przez głębokie alpejskie doliny twórca stosuje podobny zabieg jak w projekcie zmieniającym propozycję Soleriego – stosuje ustroje ciągłe, podwieszane na płasko prowadzonych cięgnach. Nierzadko stosuje w nich zmienną sztywność giętną przęsła: znaczniejszą nad podporą i mniejszą w środkowych obszarach przęsła, co zwiększa zasięg ujemnych momentów zginających i zmniejsza wielkości oraz zakres dodatnich momentów przęsłowych. Wiedzie to do odchudzenia przęsła z dala od podpór, co dodatkowo uszczupla

wielkości i zakres dodatnich momentów w przęsle. Niekiedy stawia pylon tylko po jednej stronie pomostu, „konsumując” niewykorzystaną sztywność skrętną dźwigara (fot. 2b). Niekiedy odwraca ten układ względem osi wzdłużnej mostu, pozostawiając ciągną sprężającą w płycie pomostu rozciąganej nad podporą, a ściskanie przenosi przez zastrzały dociskające do wiotkich podpór poniżej pomostu. Ta wiotkość wysokich podpór zmniejsza siły wewnętrzne spowodowane zmianami temperatury konstrukcji mostowej, bez zastosowania łożysk. W podobnych warunkach terenowych – w głębokich wąwozach górskich, i przy wysokich, wiotkich podporach stosuje też rozwiązanie pośrednie – konstrukcje mostowe z jazdą pośrodku. Wtedy nad pomostem są widoczne elementy sprężone z jeszcze bardziej płasko poprowadzonymi cięgnami (*ekstradosed*), a odpowiednią wysokość konstrukcyjną przęsła zapewniają betonowe zastrzały wystające spod dźwigarów. Wydaje się, że wypełnia to już wszystkie możliwości ukształtowania mostów *ekstradosed* – od typowych, w których na niewysokich pylonach nad pomostem oparto cięgna napięte swobodnie lub po obetonowaniu – sprężające elementy łączące pomost ze szczytem pylonu, przez ustroje podwieszano-zastrzałowe, do znanych od dawna ustrojów zastrzałowych podpierających sprężony pomost. Większość z nich ma cienkie pomosty płytowe oraz prześwity między pomostem i zastrzałami lub cięgnami *ekstradosed*, zamiast wysokich średniców pogrubionych dźwigarów nośnych.

Krytycy zarzucają twórcy powtarzanie tych samych rozwiązań w kolejnych mostach – porównując to do opowiadania starych dowcipów. Ale czymże jest powielanie rozwiązań uznanych, jeśli nie takim samym powtarzaniem form? Tyle, że nie kłują w oczy swą odmiennością, bo po prostu ich już nie zauważamy. Zresztą, niełatwo mieć nowatorskie pomysły dla każdego nowego mostu, gdy ma się ich w dorobku ponad pięćdziesiąt. Spróbujemy sprawdzić ten zarzut i odkryć inne nowatorskie pomysły Calatravy.

Jedno z istotnych spostrzeżeń twórcy dotyczy niewykorzystanej nośności pomostu na zginanie w swej płaszczyźnie. Pomosty mostów drogowych, zazwyczaj dość szerokie bo mieszczące co najmniej dwa pasy ruchu, są tak konstruowane, by wystarczająca była ich nośność na obciążenia pionowe od ciężaru własnego, ciężaru wyposażenia i pojazdów, zaś wynikająca z dużej szerokości pomostu jego nośność na zgi-

nianie poziome – marnuje się. Stąd tylko krok do pomysłu pochylenia łuków podtrzymujących przęsła mostów. Nawet dramatyczne odchylenie płaszczyzny łuku aż o 30° od pionu, nadające dynamiczny, a nawet dramatyczny wygląd całej budowli, zwiększa siły w wieszakach lub słupkach oraz w łuku tylko o 15%

$$N = V/\cos 30^\circ = 1,15V$$

i choć powoduje to znaczne siły poziome  $H$  zginające pomost w jego płaszczyźnie

$$H = N \sin 30^\circ = V \operatorname{tg} 30^\circ = 0,58V,$$

lecz szeroki pomost i tak przenosi je bez trudu.



Fot. 2. Puente de la Mujer w Buenos Aires



Fot. 3. Most łukowy w Orleanie (Francja)

Tabela 1. Twórczość mostowa Calatravy (do 2005 r.)

Miejsce budowy	Nazwa mostu	Rok budowy
Walensee, Szwajcaria	Walensee Bridge	1979
Disentis, Szwajcaria	Acleta Alpine Motor Bridge	1979
Biaschina, Szwajcaria	Biaschina Viaduct	1979
Zurich, Szwajcaria	Schemes dla IABSE	1979
Lenda, Hiszpania	Kładka dla pieszych Caballeros	1985
Barcelona, Hiszpania	Bach de Roda Bridge	1985–1987
Creteil-Paryż, Francja	Kładka dla pieszych Oudry-Mesly	1987–1988
Barcelona, Hiszpania	Gran Via Bridge	1989
Sierre, Szwajcaria	Ile Falcon Viaduct	1993
Malmo Szwecja – Kopenhaga Dania	Oresund Link	1995
Portsmouth, Anglia	Poole Harbour Bridge	1995
Londyn, Anglia	East London River Crossing	1990
Alcoy, Hiszpania	Serpis Bridge	1992
Sundsvall, Szwecja	Sundsvall Bridge	1995
Fluelen-Seedorf, Szwajcaria	Kładka dla pieszych Reuss	1989
Paryż, Francja	Gentil Bridge	1988
Kordoba, Hiszpania	Miraflires Bridge	1989
Mediolan, Włochy	Kładka dla pieszych Cascine	1987
Bazylea, Szwajcaria	Wettstein Bridge	1988
Bordeaux, Francja	Medoc – most ruchomy ???	1991
Sewilla, Hiszpania	Alamillo Bridge	1987–1992
Salford, Anglia	Kładka dla pieszych Trinity	1993–1995
Petah Tikva, Izrael	Kładka dla pieszych Petah Tikva	1998–1991
Walencja, Hiszpania	Serreria Bridge	1992
Merida, Hiszpania	Lusitania Bridge	1988–1991
Ripoli, Hiszpania	Kładka dla pieszych La Devesa	1989–1991
Ondarroa, Hiszpania	Puerto Bridge	1989–1991

Miejsce budowy	Nazwa mostu	Rok budowy
Korsyka, Francja	Nowy Most przez Vecchio	1990
Redding, Kalifornia, USA	Kładka dla pieszych Sundial Bridge	1995–2004
Toronto, Kanada	Mimico Creek Bridge	1996–1998
Orlean, Francja	Most Europy – Pont d'Orlean	1996–2000
Dallas, Teksas, USA	Trinity River Signature Bridges	1998
Hoofddorp, Holandia	Cztery mosty przez Hoofdvaart	1999–2004
Walencja, Hiszpania	9 d'Octobre Bridge	1986–1988
Berlin, Niemcy	Oberbaum Bridge	1991–1996
Berlin, Niemcy	Kronprinzen Bridge	1991–1996
Paryż, Francja	Solferino Bridge	1992
Londyn, Anglia	Kładka dla pieszych St. Paul's	1994
Wenecja, Włochy	Quattro Ponte przez Canale Grande	1996
Bilbao, Hiszpania	Kładka dla pieszych Campo Volantin	1990–1997
Walencja, Hiszpania	Alameda Bridge	1991–1995
Murcia, Hiszpania	Hospital Bridges	1993–1999
Murcia, Hiszpania	Kładka dla pieszych Manrique	1994–1999
Buenos Aires, Argentyna	Puente de la Mujer	1998–2001
Dublin, Irlandia	James Joyce Bridge	1998–2003
Dublin, Irlandia	Macken Street Bridge (Samuel Becket Bridge)	1998
Jerozolima, Izrael	Light Rail Train Bridge	2002
Milwaukee, Wisconsin, USA	Kładka dla pieszych Milwaukee Art Museum	1994–2001
Calgary, Kanada	Kładka dla pieszych przez Bow River	w budowie
Włochy	Reggio Emilia Motorway	2007
Walencja, Hiszpania	Kładka dla pieszych	?
	Margaret Mc Dermont Bridge	2010
	Hunt Hill Bridge	2014?





Fot. 4. Most łukowy Alameda w Walencji na terenie Miasta Sztuki i Nauki



Fot. 6. Most podwieszony Serreria w Walencji na terenie Miasta Sztuki i Nauki

Aż trudno policzyć ilekroć Calatrava skorzystał z tego chwytu w mostach łukowych z jazdą dołem lub górą. Trzy przykłady wynalazłem w moim zbiorze zdjęć. Jedno z nich dotyczy Pont d'Orlean (fot. 3) i dwa z Walencji, z Miasta Sztuki i Nauki (fot. 4 i 5).

Ze spostrzeżeniem tym łączy się inne, podobne, dotyczące niewykorzystanej sztywności skrętnej dźwigarów skrzynkowych. Pozwala to podierać lub podwieszać przęsła niesymetrycznie względem osi wzdłużnej mostu. Nie tam, gdzie znajdują się wypadkowe obciążenia stałych, lecz nieco z boku. Wówczas łuki lub pylony wyrastają po jednej stronie pomostu – niesymetrycznie (fot. 2b, 3a,b i 4). Wprawdzie generuje to momenty skręcające przęsła, ale i tak nadmierna nośność dźwigara skrzynkowego na skręcanie zostaje wyzyskana tylko w części.

Jeszcze innym pomysłem, eksploatowanym przez Calatravę obecnie, jest wykorzystanie możliwości zmniejszenia zginania elementów ściskanych i zginanych przez zakrzywienie ich osi zgodnie z krzywą sznurową sił ściskających te

elementy bez mimośrodów. Efekty tego zabiegu można dostrzec w kształtach pylonów: mostu Samuela Becketta w Dublinie i mostu na terenie Miasta Sztuki i Nauki w Walencji (fot. 6). Z wykładów uczelnianych o mostach łukowych pamiętam, że obciążenia łuku parabolicznego równomiernie rozłożone na długości jego rzutu, nie powodują w nim zginania... a czyż równoległe do siebie cięgna mostu podwieszono (typu harfa) nie są właśnie takim przypadkiem obciążenia? Wystarczy tylko powstrzymać przemieszczenia wierzchołka pylonu lub zredukować je znacznie odciążeniem. I taki właśnie dowcip konstrukcyjny tkwi w kształtach pylonów obu tych mostów.

Nowych pomysłów konstruowania mostów przez Calatravę nie wypisałem zbyt wiele, być może nie dostrzegam ich w pośpiechu wertowania internetowych doniesień o jego mostach, a może rzeczywiście nie są liczne? Ale za to jak umiejętnie podawane! To nie jest zwykłe powielanie, choć chwyt konstrukcyjny jest taki sam. Ale jeśli jeszcze dodać to tego ruch, światło i dźwięki tanga podczas zwodzenia przęsła, czego doświadczyłem przy obrocie

mostu Kobiety (*Puente de la Mujer*) w Buenos Aires, to tworzy się widowisko „*son et lumière*” z mostem w roli głównej, obok którego nie uda się przejść obojętnie.

#### Bibliografia

- [1] A. Stańczyk „Mosty Buenos Aires i Rio de Janeiro”, *Drogownictwo* 8/2006
- [2] A. Tsonis, R. Donadei „Calatrava Bridges”, Wyd. Thames & Hudson, Londyn, druk w Chinach, 2005 ■



Fot. 5. Kładka w Walencji na terenie Miasta Sztuki i Nauki

