

Jolanta Tofil\*

# OBIEKTY MOSTOWE O KONSTRUKCJI CIĘGNOWEJ W WITRUWIAŃSKIM UJĘCIU

## BRIDGES OF STRING CONSTRUCTION IN VITRUVIAN ASPECT

W związku ze znaczną ilością nowych inwestycji drogowych w Polsce powstają obiekty inżynierskie jakimi są mosty, nierzadko o konstrukcji cięgnowej. Stanowią one istotny element krajobrazu i winny być przedmiotem badań zmierzających do określenia zasad ich projektowania architektonicznego.

*Słowa kluczowe: mosty, konstrukcje cięgnowe, forma architektoniczna*

Due to significant number of road investments in Poland, new engineering objects are built, including bridges and some of them are with string construction. They constitute important element of environment and should be the subject of research aiming at determination of rules of their architectural designing.

*Keywords: bridges, string structures, architectural form*

### **Wprowadzenie**

Gerd Lohmer twierdzi, że sztuka budowy mostów ma podwójne znaczenie. Jedno z nich to wiedza, która umożliwia obliczanie i tworzenie konstrukcji z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć nauki. Drugie znaczenie, to proces twórczy, dający w konsekwencji coś, czego nie można osiągnąć materialnie, jedynie tylko można odczuwać.

Choć estetyka zainteresowała się mostami dopiero w XX wieku, to jednak sztuka budowy mostów obficie korzysta z jej dorobku pomnażanego na przestrzeni wieków. Należy tu przywołać wielokrotnie przytaczaną w środowisku projektantów maksymę, że przy tworzeniu mostów szczególnie ważne jest spełnienie trzech kryteriów Witruwiusza: *Firmitas* – trwałość, bezpieczeństwo, *Utilitas* – celowość, funkcjonalność,

*Venustas* – piękno, wdzięk. Aby temu sprostać, musi zachodzić ścisła współpraca między inżynierem i architektem, którzy dopiero razem stanowią zespół, tworzą mistrza budowlanego.

Przeprawy mostowe jako obiekty inżynierskie skłaniają niestety ku tendencji zmierzającej do skoncentrowania się wyłącznie na spełnieniu wymogów konstrukcyjnych i ekonomicznych. Również niektórzy projektanci tkwią w przekonaniu, a raczej w bezpodstawnej nadziei, że właściwy wygląd konstrukcji w krajobrazie, to problem, który sam się rozwiąże, któremu nie warto poświęcać zbyt wiele uwagi. Sięgając jednak w głąb historii, nie można pominąć faktu, że mosty od czasów dalekiej starożytności zawsze były częścią kultury materialnej znajdując się w centrum życia społecznego. Już w okresie średnio-

\* Tofil Jolanta, dr inż. arch., Politechnika Śląska, Ośrodek Geometrii i Grafiki Inżynierskiej.



1, 2 Most Akashi-Kaikyo, Kobe, Japonia – najdłuższy most wiszący na świecie / Akashi-Kaikyo Bridge, Kobe, Japan – The world's longest suspension bridge

3, 4 Most Millau, Francja – najwyższy most podwieszony na świecie / Millau Bridge, France – The world's highest cable-stayed bridge

wieczą rozgłos spowodowany wybudowaniem mostu stanowił ważne wydarzenie społeczne i polityczne. Zatem dbałość o stronę estetyczną tak ważnych obiektów budowlanych jakimi są mosty powinna być przedmiotem szczególnej troski projektantów, stając się celem badań zmierzających do określenia zasad ich projektowania architektonicznego.

Sam fakt, iż mosty wytwarzają nastroje pożądane i niepożądane, twierdzi prof. Wasiutyński, wystarcza do rozpatrywania tych budowli jako dzieł sztuki [1].

Wiadomo, iż żadne podręcznikowe opracowania nie posiadają gotowych wytycznych czy sztywnych reguł, które pomogłyby inżynierowi skonstruować piękny most ponieważ nie jest możliwe stworzenie ścisłych norm estetycznych w odniesieniu do tego rodzaju konstrukcji. Dlatego też tego typu wskazania projektant powinien szukać w swoim wykształceniu ogólnym, w swej wrażliwości, w swojej kulturze wy-

nikającej z zasobu wiedzy połączonej z instynktem racjonalnego jej wykorzystania.

### Próba ukierunkowania

Celem i przeznaczeniem architektury jest tworzyć wnętrza – dopiero ono jest architekturą. Wnętrze niekoniecznie musi być zamkniętą przestrzenią ograniczoną ścianami i dachem. Jest to miejsce stwarzające możliwość przebywania wewnątrz i odwrotnie na zewnątrz. Czas przejścia przez most jest w istocie czasem jego zamieszkiwania – w tym znaczeniu, jakie Heidegger nadaje zamieszkiwaniu. Jest więc most przestrzenią, która – krócej lub dłużej – zawiera nas w swoim wnętrzu.

Most ma jedno zadanie – przeprowadzić drogę ponad przeszkodą. Wydawać by się mogło, iż nie jest uwikłany w żadne wymagania prócz tych, które dotyczą jego struktury. Iż architektura mostu jest daleka od bogactw środków właściwych architekturze

definiującej przestrzeń i funkcję. Dzięki temu jest możliwe osiągnięcie czystości formy nieskrępowanej niczym poza konstrukcją. Należy jednak pamiętać, iż spośród wszystkich instalacji komunikacyjnych źle zaprojektowany most najostrej ingeruje w otoczenie.

Bardzo ważny jest indywidualny charakter projektu. Istotnym czynnikiem estetycznego kształtowania mostu jest uchwycenie zgodności rozmiaru i formy obiektu z układem elementów krajobrazu, w którym ma być zbudowany. Most powinien być nie tylko atrakcyjny, gdy się patrzy na niego, lecz powinien dawać odbiorcy odczucie skończonej całości harmonizującej z otoczeniem. Ten nierozzerwalny związek obiektu ze środowiskiem pociąga za sobą konieczność zastosowania odpowiedniej skali i kształtu oraz indywidualnego doboru materiałów z których zostanie wykonany. Na terenie nowoczesnych miast projektowane konstrukcje powinny być możliwie czytelne, proste, o formach wyraźnych i geometrycznie jednoznacznych. Zalecane rozwiązanie stanowią mosty podwieszane, które stwarzają wrażenie lekkości i śmiałości. Wśród obiektów powtarzalnych (ale nie identycznych, takich jak wiadukty nad autostradami) wskazane jest wykonanie szczególnej, nawet ekstrawaganckiej konstrukcji. Nietypowy obiekt może łatwo stać się znakiem w przestrzeni – punktem charakterystycznym, wyznaczającym rytm podróży. Natomiast w zabudowie historycznej mosty o ustroju podwieszonym do wysokich pylonów mogą stać się obiektem zbyt konkurencyjnym wizualnie względem obiektów zabytkowych.

Należy wspomnieć, iż przeszkody wodne stawiające przed projektantami dodatkowe wymagania konstrukcyjne jednocześnie dają szczególną szansę na ukształtowanie przeprawy mostowej o wysokich walorach estetycznych. Odbicie obiektu w lustrze wody może stać się źródłem pozytywnych odczuć emocjonalnych. Ważne jest przeanalizowanie odbicia mostu i sąsiadujących budowli w wodzie w różnych

porach dnia i nocy a nawet o różnych porach roku w połączeniu z oświetleniem naturalnym i sztucznym. Oświetlenie służy do skupiania uwagi widza, a zaciemnienie – do jej odwracania. Światło musi być istotną częścią składową obrazu estetycznego całości mostu, a odpowiednio zaprojektowana iluminacja w znacznym stopniu może wyeksponować zasadnicze walory obiektu.

Z problemem światłocienia jest też związana sprawa kolorystyki budowli, którą należałoby analizować oddzielnie dla poszczególnych elementów składowych konstrukcji. Elementy metalowe – główny materiał konstrukcyjny dla mostów o ustroju podwieszonym – uzyskują barwę przewidzianą przez projektanta, możliwości doboru barw są tu duże. Należy jednak pamiętać, że obiekt odbierany jest lepiej, gdy cała konstrukcja nośna pomalowana jest jednym kolorem. W mostach dobre efekty daje różnicowanie kolorów dla barier akustycznych, balustrad i poręczy oraz latarń. Barwy poręczy powinny być różne od barw metalowych elementów nośnych, bo rola poręczy jest różna od roli tych elementów. Ponieważ poręcze niosą mniejsze siły, barwa ich powinna być jaśniejsza.

Należy również zwrócić uwagę na zagadnienie kojarzenia barw z rodzajami sił. Tak jak wszystkie zagadnienia estetyki również to jest przedmiotem doświadczenia. Uzależnienie barwy od sił wiąże się z zależnością barwy od rodzaju materiału. Zasada prawdziwości wymaga bowiem różnicowania barwy elementów wykonanych z odmiennych materiałów, podobnie jak i układów sił. Oczywiście sprawą jest, iż różnicowanie materiałów pokrywa się w pewnym zakresie ze różnicowaniem sił, dlatego dobór barw do materiału i sił należy rozwiązywać łącznie. Mosty o konstrukcji podwieszonym należy kształtować tak, by układ konstrukcyjny i przebiegu sił był prosty i czytelny w wyrazie formy architektonicznej z wyeliminowaniem wszelkich naśladownictw, a w szczególności dekoracji.

Podczas projektowania mostów o ustroju cięgowym należy, zdaniem autora, głównie uwzględnić takie kryteria z zakresu estetycznego kształtowania, jak:

- **czytelność** – obiekt łatwiej wywołuje wrażenia estetyczne, jeśli jego konstrukcja jest czytelna – łatwa w odczytaniu i zrozumieniu,

- **kontekst miejsca** – szacunek dla przestrzeni – nawiązanie do obszaru pod i ponad obiektem ale również tworzenie w poszanowaniu istniejących warunków przestrzennych w odniesieniu do kontekstu miejsca w jakim powstają (zarówno w wymiarze społecznym, historycznym jak i symbolicznym),

- **wyczucie** (formy, kształtu) – przywiązanie szczególnej wagi nie tylko do całej koncepcji formy, ale i do rozwiązywania szczegółów,

- **lekkość i masa** – sam most o dużej rozpiętości zdecydowanie posiada ogromną masę jednakże elementy podwieszenia i sam układ konstrukcyjny decydują o lekkości w odbiorze budowli; dodatkowo obiekt mostowy o konstrukcji cięgnowej z powodu swej smukłości i wizualnej lekkości powinien kontrastować w strefach zurbanizowanych z bryłami budynków natomiast w plenerze z naturą;

- **nowoczesność** – wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań strukturalnych i materiałowych,

- **symbolizm** – metaforycznie most oznacza łączenie wszelkich podziałów, jest symbolem łączenia społeczności i przeciwstawiania się naturze;

- **wyobrażenie** – posiadanie znaków ikonicznych, czegoś co jest uosobieniem cech określających nieomylnie daną budowlę,

- **rzeźbiarskość** – most nie jest rzeźbą ze względu na swą funkcjonalność, ale może wykazywać właściwości charakterystyczne dla rzeźby,

- **doznanie i wdzięk** (zdolność zaciekawiania, zdumiewania, a nawet oszałamiania) – w sztuce każdy poszukuje głębszego znaczenia, a most dzięki swej czystości przekazu powinien być bezpośrednim doznanem dla zmystów.

### **Aspekt witruwiański – cechy ustroju cięgowego mostów**

Instynkt tworzenia sprawia, że niespokojne umysły nie ustają w poszukiwaniach nowości. Eksperyment jest celem i środkiem zaspokajania ciekawości. Coraz to inne motywacje i inspiracje rozszerzają terytoria poszukiwań architektury o kształtach dotychczas nie spotykanych. Intuicja i talent architekta oraz konstruktora sprawiają, że irracjonalne wizje mogą przyjmować postać realnych budowli. Forma architektoniczna mostów o konstrukcji cięgnowej wydaje się być tego dobitnym przykładem.

Poniżej przedstawiono najbardziej charakterystyczne cechy formy architektonicznej o konstrukcji cięgnowej mostów ujęte w grupy problemowe: **Konstrukcja, Funkcja, Forma.**

#### **Konstrukcja**

- Ograniczenie do minimum ilości punktów podparcia – pylony, maszty, tuki. Prowadzi to do zmniejszenia liczby kosztownych fundamentów. Jest to szczególnie ważne przy posadowieniu w trudnych warunkach gruntowych. Efektem tego jest również zmniejszenie ingerencji w środowisko co może mieć pewien wpływ na ekologię.

- Oszczędność materiałów budowlanych. Dzięki stosowaniu w linach nośnych stali o wysokiej wytrzymałości czy kompozytów wzmacnianych polimerami.

- Małe przekroje poprzeczne elementów konstrukcyjnych. Wynikiem tego jest zmniejszenie masy i ciężaru własnego struktury w porównaniu z innymi ustrojami, które mają za zadanie pokonać zbliżone rozpiętości i wysokości.

- Minimalna liczba typów elementów w konstrukcji. Ułatwia to ich prefabrykację. Konsekwencją jest precyzyjne wykonanie i montaż na miejscu budowy.

- Montowanie konstrukcji bez rusztowań lub z użyciem ich w minimalnym stopniu. Wynikiem jest

usprawnienie robót budowlanych. Należy podkreślić, że zmniejsza to czas i koszty przedsięwzięcia.

- Łatwiejsza konserwacja elementów struktury w porównaniu z innymi ustrojami nośnymi. Prowadzi to do zmniejszenia kosztów eksploatacji obiektów.

- Szybki postęp techniczny w wielu dziedzinach przyczynia się do znacznego wzrostu trwałości tych konstrukcji [2].

### **Funkcja**

- Mosty wiszące i podwieszane mogą pokonywać ogromne dystanse, zadziwiając jednocześnie szerokością pomostu. Mostowi rekordziści: Akashi Kaikyo – najdłuższy i najwyższy most wiszący – osiągnął całkowitą rozpiętość 3911 m (konstrukcja posiada trzy przęsła, z których najdłuższe, środkowe ma długość 1991 metrów, a dwa pozostałe 960 metrów) il. 1, 2, natomiast pomost mostu Millau ma szerokość pomostu 32 m. Warunki terenowe podyktowały jego 250 metrową wysokość zawieszenia jezdni il. 3, 4. Te wszystkie parametry uzyskiwane są dzięki właściwościom statycznym i wytrzymałościowym struktur ciągnowych.

- Mosty o konstrukcji ciągnowej, podwieszanej są atrakcyjnym rozwiązaniem funkcjonalnym i architektonicznym szczególnie w obszarach zurbanizowanych i jako punkty orientacyjne na autostradzie i drogach szybkiego ruchu.

### **Forma**

- Elementy struktury ciągnowej odpowiedzialne za statykę obiektów nie są tylko konstrukcyjną podstawą, lecz przeciwnie pełnią istotną rolę w określaniu kształtu architektury. Schemat statyczny staje się podstawą kreacji estetycznej obiektu i stanowi o jego atrakcyjności.

- Walory statyczne struktur ciągnowych, stanowią motywację poszukiwań nowej formy architektonicznej mostów wiszących i podwieszonych.

- Inspiracją budowania kształtu architektury jest świat przyrody ożywionej i nieożywionej, a także racjonalne prawa rządzące naturą. Formy organiczne są wzorem lub punktem odniesienia w budowaniu formy architektonicznej konstrukcji ciągnowych.

- Inspiracją budowania kształtu architektury jest także forma strukturalna konstruowana intuicyjnie, sprawdzana poprzez geometrię i matematykę a weryfikowana w myśl zasad kompozycyjnych.

- Architektura mostów ciągnowych jest przykładem modelowego wydobywania plastycznych kształtów ujawniających walory tworzywa i grę sił w eksponowanej konstrukcji.

- Kierunki-linie sił i sposób ich eksponowania stając się środkiem i celem kompozycji architektonicznej pozwalają budować zmysłowe kształty architektury mostów wiszących i podwieszonych.

- Charakter struktur ciągnowych określa przebieg sił we wszystkich kierunkach i utrzymuje je w równowadze „sztywnej” lub „ruchojnej”. Pozwala to wyróżnić dwa rodzaje kompozycji formy architektonicznej konstrukcji ciągnowych: statyczną i dynamiczną: Kompozycja statyczna wspiera się na kierunkach pionów i poziomów w mostach wiszących i podwieszonych. Symetria jest najczęściej podstawą statycznego porządku, a wspierają ją rytmy lub sekwencje elementów utrzymanych w „bezruchu”. Natomiast kompozycję dynamiczną mostów wiszących i podwieszonych charakteryzują rozedrgane linie, figury i bryły, które obrazują kształty jakby zatrzymane w „ruchu”. Skosy, wypukłości i wklęsłości podkreślają jej dynamiczny charakter. Efekt dynamiczności wspierany jest także ułożeniem elementów, które wydają się być zawieszane w pozornej nieważkości a asymetria potęguje takie odczucia.

- Dynamika formy architektonicznej konstrukcji ciągnowych, niezależnie od tego czy wspiera się na statycznej, czy dynamicznej kompozycji, postrzega-

na jest w widzeniu perspektywnym w mnogości różnorodnych dynamicznych obrazów.

– Delikatność i smukłość, śmiałość i dynamika, napięcie i ruch są cechami charakteryzującymi formę architektoniczną mostów o konstrukcji cięgnowej i wydają się rozstrzygać o jej wdzięku i artystycznej wartości.

– Mimo olbrzymiej skali „lekka” konstrukcja cięgnowa mostów wiszących i podwieszonych sprawia, że ich transparentna forma zdaje się prawie nie ingerować w naturę, wydaje się być zawieszona pomiędzy niebem a ziemią. W krajobrazie miejskim nawiązuje ona do klimatu miejsca, a czasem zaznacza swoją obecność rzeźbiarską formą.

## PRZYPISY

[1] Z. Wasiutyński, *O architekturze mostów*, PWN, Warszawa 1971.

[2] J. Biliszcuk, *Mosty podwieszane. Projektowanie i realizacja*, Warszawa 2005, s. 14.

## BIBLIOGRAFIA

Addis W., *The Art of the Structural Engineer*, Artemis, London 1994.

Biliszcuk J., *Mosty podwieszane. Projektowanie i realizacja*, Arkady, Warszawa 2005.

Elliott A., *Creating a Beautiful Bridge. Bridge Aesthetics – Around the World*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 1991.

Harbeson P., *Architecture in bridge design. Bridge Aesthetics around the World*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington 1999.

Jarominiak A., *Mosty podwieszane*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002.

Jodidio P., *Nowe formy. Architektura lat dziewięćdziesiątych XX wieku*, przeł. M. Motak, Warszawa 1998.

Misiągiewicz M., *Architektoniczna geometria*, Wydawnictwo DjaF, Kraków 2005.

Misiągiewicz M., *O prezentacji idei architektonicznej*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.

*Mosty podwieszane i wiszące*, materiały seminarium: Wrocławskie Dni Mostowe, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2005.

Sławińska J., *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, Warszawa 1997.

Trzeciak P., *Przygody architektury XX wieku*, Nasza Księgarnia, Warszawa 1974.