

Jolanta Tofil*

OBIEKTY O KONSTRUKCJI CIĘGNOWEJ – „UŻYTECZNE” DZIEŁA ARCHITEKTONICZNE WSPÓŁCZESNEGO MIASTA

OBJECTS OF STRING CONSTRUCTION – „USEFUL” ARCHITECTURE’S WORK OF ART OF CONTEMPORARY TOWN

O formie konstrukcji cięgnowych decyduje stosowna gra sił wspierająca się na układzie słupów, pylonów, masztów, łuków oraz kabli i lin, które pospołu niosą pomosty i dachy i pozwalają rozwiązać problem ich rozpiętości, wysokości i szerokości... Forma konstrukcji cięgnowej, której celem samym w sobie jest właściwa statyka budowli, inspirowuje formę strukturalną postrzeganą jako szczególny rodzaj dzieła sztuki konstruowania i architektonicznego komponowania. Elementy konstrukcyjne włączone w architektoniczny porządek rzeczy inspirowują formę obiektów o strukturze cięgnowej i określają jej związek z otaczającą przestrzenią współczesnego miasta.

Słowa kluczowe: forma architektoniczna, konstrukcje cięgnowe

The form of string constructions results from a suitable play of forces supported on a set of piles, pylons, masts, arches and cables and lines, which together carry gangways and roofs and at the same time allow to solve problems of span, height and width... The form of string construction which aims at proper static of a building, inspires the structural form which is seen as particular kind of piece of art of designing and architectural composing. Construction elements included in architectural order of things inspire the form of objects of string structure and determine relations with the environment of temporary town.

Keywords: architectural form, string structures.

W 1889 roku, podczas Wystawy Powszechnej w Paryżu, wieża Gustawa Eiffela objawiała nowatorską myśl inżynierską swoją 300-metrową wysokością niespotykaną wcześniej w budownictwie i nową formułą statyki wspartą na ażurowym systemie stalowych kratownic. Realizacja tej budowli nie miała spełniać żadnych zadań funkcjonalnych. Celem samym w sobie była demonstracja możliwości nowej konstrukcji, po-

kazanie że budowanie metodą prób i błędów odchodzi w przeszłość. Dziś wieża wydaje się symbolizować epokę kultury technicznej.

Świadomość istnienia siły ciężenia i konieczność przeciwdziałania jej zawsze były motywacją poszukiwania rozwiązań, w których idea statyczna i stosownie dobrany budulec rozstrzygały o trwałości realizowanego obiektu. Niezależnie od przekonań,

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

preferowanego stylu czy kierunku w architekturze, konstrukcja i forma budynku trwają w nierozzerwalnym związku.

Na szczególny charakter tego związku w dziejach budowania zwraca uwagę Sigfried Giedion: *w wieku dziewiętnastym konstrukcja dała wyraz pragnieniom, które tkwiły uśpione w podświadomości architektów* [1].

Najwcześniej te pragnienia spełniły się podczas realizacji mostów wiszących. Ulepszona technologia stali została wykorzystana w produkcji lin i sprawiła, że te podstawowe elementy konstrukcji nośnej uzyskały niespodziewaną wytrzymałość. Ameryka wyprowadziła Europę w tych eksperymentach. W 1798 r. most wiszący na linach stalowych powstał w Pensylwanii, a w 1824 r. koło Tournon we Francji [2]. Przyjęta wówczas zasada przeniesienia całego obciążenia na jednolite, elastyczne kable stalowe biegnące wzdłuż konstrukcji, także dzisiaj stanowi podstawę budowy najsmielszych mostów świata.

W XIX wieku nie zrealizowano budowli o przekryciach wiszących ale wówczas pojawiły się obiekty, które można uznać za ideowe, prototypowe wzorce tej architektury. Ujawniły one możliwość realizacji pragnień zawładnięcia przestrzeniami o ogromnych kubaturach dla nowych funkcji użytkowych. W 1851 r. John Paxton, w zaskakującej skalą założenia przestrzeni *Cristal Palace*, umieścił oranżerię. W 1889 r. konstruktor Cottancin i architekt Dutert zrealizowali *Palais des Machines* – halę dla ekspozycji maszyn o niecodziennych wówczas gabarytach: rozpiętości 117 m, wysokości 46 m i długości 420 m [3].

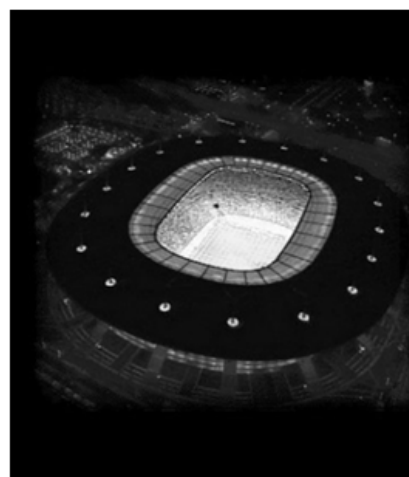
System stalowych kratownic zastosowany wówczas w obydwu obiektach pozwolił uzyskać nowatorski kształt architektury, który nie został wyrażony w masie materii, przeciwnie, sprawiał wrażenie lekkości spotęgowanej przeszkleniami. Idea statyczna pozwoliła stworzyć jednoprzestrzenne wnętrza nie zakłócone przegrodami czy słupami. Wszystko to sprawiało, że objawiła się architektura, gdzie ruch

zdawał się penetrować przestrzeń, ruch być może tak nowatorski jak ten, który Francesco Borromini uchwycił w swojej architekturze. Od około połowy XX wieku takie efekty ujawniają się w budowlach o konstrukcji cięgnowej (il. 1). Praca tej konstrukcji jest nieodzowna wszędzie tam, gdzie idea statyczna musi się zmierzyć z ogromnymi rozpiętościami i kubaturami, a więc we wszystkich tych obiektach gdzie program funkcjonalny wymaga jednoprzestrzennych wnętrz.

W perspektywie minionego czasu potwierdza się to, że zrealizowane w XIX wieku obiekty stworzyły podstawy nowoczesnej sztuki budowania. Dziś wiedza konstrukcyjna, także ta dotycząca struktur cięgnowych, wspiera się na nowych metodach obliczeń, które sprawdzają i potwierdzają intuicyjne idee statyczne. Elementy konstrukcyjne traktowane są w obliczeniach jako elementy liniowe, a przypisana im praca sił ma działać w precyzyjnie określonych kierunkach. Innowacje technologiczne ułatwiają modyfikację metod i sposobów realizacji. Umożliwiają standaryzację i prefabrykację elementów konstrukcyjnych, co w praktyce prowadzi do ich precyzyjnego scalania na miejscu budowy. Nie bez znaczenia są tu także względy ekonomiczne i czas realizacji. Wszystkie te przedsięwzięcia wspiera praca z komputerem. Pozwala ona przeprowadzić w szybkim czasie wszelkie skomplikowane operacje obliczeniowe i projektowe. To umożliwia wybór wariantów założeń statycznych: zmniejszenie masy, zwiększenie sztywności i stateczności struktury. Komputerowe obrazy przedstawiają charakterystyczne cechy rzeczy zanim zostanie zrealizowana [4].

Bez odważnych prekursorskich doświadczeń realizacyjnych, sięgających XIX wieku, stosowne korekty nie byłyby możliwe. Nie byłyby one także możliwe bez ciągłych ulepszeń technologii materiałów budowlanych. Osiągnięcia w tym zakresie sprawiły, że stal i żelbet znalazły swoje stałe miejsce w codziennej praktyce budowlanej, a realizacje mostów

1. Lodowisko w Monachium – wewnątrz / Ice rink in Munich – inside view 2. Pylon mostu Alamillo w Sewilli / Pylon of Alamillo Bridge in Seville 3. Kadr Millennium Dome w Londynie / Local view of Millennium Dome in London 4. Grande Bigo (pawilon otwartej wystawy), Genua, Włochy / Grande Bigo (exhibition pavilion), Genoa, Italy 5. Stadion Francji (Stade de France), Saint – Denis, Francja / Stadium of France (Stade de France), Saint – Denis, France



i przekryć wiszących nie mogłyby się bez nich obejść. Stal wykorzystuje się w elementach mostu wiszącego: w głównych linach nośnych, wieszakach podwieszających, kratownicowych pylonach i pomostach, a w mostach podwieszonych również w linach odciążowych.

W przypadku betonu wykorzystywane są jego właściwości wytrzymałościowe i walory plastyczne, pozwalające modelować rzeźbiarskie kształty pylonów. To beton sprawił, że pylony mostu w Sewilli (il. 2) czy w Usti nad Łabą bardziej wydają się być rzeźbami ustawionymi w miejskim krajobrazie niż elementami nośnej struktury.

Żelbet i stal pojawiają się także w elementach statycznych przekryć wiszących: w podporach – słupach, masztach, łukach i całym systemie olinowania (il. 3). Szkło uzupełnia tak zaprogramowaną całość.

Dziś coraz większe zainteresowanie wzbudzają kompozyty polimerowe, wzmacniane włóknami węglowymi, szklanymi, aramidowymi [5]. Dotyczy to także tkanin z włókien szklanych lub poliestrowych powlekanych teflonem bądź silikonem. Zaskakująca wytrzymałość i lekkość tej materii pozwala zmniejszać ciężar własny konstrukcji, a w strukturach wiszących jest to cecha istotna. W obiektach, w których użyteczność wymaga naturalnego doświetlenia transparentność tych materiałów jest zaletą przemawiającą na rzecz ich coraz większej popularności. Wnętrze jest nie tylko dobrze doświetlone ale w grze światła wciąż zmienia się panujący tam nastrój.

Spełnienie nowych potrzeb funkcjonalnych prowokowało przekraczanie dotychczasowych: wysokości budynków, rozpiętości przekryć i mostów. Okazało się, że granice które do niedawna wydawały się być nieprzekraczalne przy budowie mostów i przekryć, z łatwością zostały pokonane za sprawą wiszących struktur ciągnowych [6]. Ten rodzaj konstrukcji, będąc zarazem środkiem i celem samym w sobie, staje się punktem wyjścia dla innej organizacji przestrzeni.

W prekursorskich budowlach, takich jak wspomniane już *Cristal Palace* czy *Palais des Machines*, przestrzenie wewnątrz wolne od lasu podpór, które w nieodległej przeszłości zaskakiwały, są obecnie powszechnie stosowane. Co więcej, bez takich przestrzeni, nie mogłyby być realizowane dziś obiekty stosowne do nowych obyczajów zamieszkiwania, pracy i wypoczynku. Te nowe wymagania spowodowały rozszerzenie programu funkcjonalnego. Nie tylko konstrukcja i materia, ale także funkcja stała się motywacją dla poszukiwania nowego kształtu budowli [7]. Pojawiły się ogromne przekrycia wiszące osłaniające trybuny stadionów, zadaszenia wiszące nad obiektami sportowymi, dworcami kolejowymi i lotniczymi, budynkami wystawienniczymi czy wielofunkcyjnymi, a także halami przemysłowymi o rozpiętościach wcześniej niespotykanych. Czyli wszędzie tam, gdzie równocześnie przebywa ogromna liczba osób. Świadczą o tym chociażby widownie nowoczesnych stadionów olimpijskich, które mogą pomieścić dziesiątki tysięcy widzów.

Sprostanie takiemu zadaniu oznaczało konieczność wznoszenia budowli o niewyobrażalnych dotychczas gabarytach. W praktyce inżynierii rozpiętość stanowi punkt wyjściowy i ona była podstawowym kryterium w poszukiwaniu rozwiązań. Zasady statyczne konstrukcji ciągnowych okazują się być wyjątkowo przydatne dla tak określonych celów. Motywacje funkcjonalne sprawiły, że w świecie przekształcanym przez człowieka pojawiła się architektura zaskakująca skalą. Stało się to możliwe dzięki strukturze ciągnowej, która rozszerzyła repertuar form stosowanych w kompozycji architektonicznej.

Wszystko to zdaje się potwierdzać przekonanie amerykańskiego architekta Tony Robina wyrażone w słowach: *wkraczamy w okres, w którym konstrukcja stała się awangardą projektowania architektonicznego* [8].

Przykłady obiektów o konstrukcji cięgnowej – znaków miejsca współczesnego miasta:

- Most Alamillo w Sewilli, Hiszpania (il. 2)

Forma architektoniczna tego mostu zadziwia swą lekkością. Calatrava łączy wiedzę konstruktora i wyobraźnię architekta z umiejętnościami budowniczego-wykonawcy, i to jest podstawą jego twórczości, również w przypadku tego obiektu. Podobnie jak Nervi, docenia w architekturze intuicję oraz prawa natury. Jest przeciwnikiem kąta prostego, co ujawnia sylwetka tego mostu. Forma pylonu „ciągnącego” liny sprawia wrażenie, jakby nie tylko pomost, ale cały most miał być uniesiony ku górze. Pochylenie podpory nadaje budowli dynamiczny charakter, co potwierdza, że odstępstwo od kierunków pion – poziom potęguje takie wrażenie. Dynamikę kompozycji podkreślają wymodelowane w betonie kształty pylonu, pozbawionego lin odciągowych. Lokalizacja pylonu na jednym z brzegów przeprawy sprowadza akcent na tę właśnie stronę założenia. Rytmiczny, harfowy układ cięgien i równoległość linii pomostów dopełniają charakterystykę mostu.

- Millennium Dome, Londyn, Wielka Brytania (il. 3)

Struktura kopuły zadaszienia jest odbiciem ekonomii formy natury – naprężonej powłoki bańki mydlanej. W obiekcie możemy wyróżnić formę główną – czaszę i formy podrzędne – pylony i liny, które wspólnie odpowiadają za jego jakość. Syntetyczna forma ogromnego przekrycia narzuca się dobitnie, a poszczególne części ustroju nośnego, pojmowane jako wieloznaczne, są pomiędzy sobą jednoznacznie powiązane. Spoistość formy budowli odnosi się więc do sił przyciągających, działających pomiędzy elementami – częściami w obrębie całości założenia.

- Grande Bigo (pawilon otwartej wystawy), Genua, Włochy (il. 4)

Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne obiektu wskazuje raczej na podporządkowanie projektu założo-

nym z góry efektem plastycznym. Z pewnością zdecydowały względy historyczne – nawiązanie do XV-wiecznych żurawi portowych. Obiekt charakteryzuje się niezwykle dynamiczną kompozycją architektoniczną. Formy poszczególnych elementów konstrukcyjnych określone są poprzez nadrzędną funkcję jaką jest przeciwdziałanie sile ciężkości. Kształty i usytuowanie tych elementów podporządkowano idei statycznej, która wyznacza im ściśle określoną rolę jaką mają pełnić w strukturze cięgnowej. Siły ujarzmione, jakby zatrzymane w ruchu zobrazowane są przez linie, kształty i kierunki masztów i cięgien. Ich rozmieszczenie w przestrzeni rozstrzyga o efekcie gry podporządkowanej poszukiwaniu formy architektonicznej.

- Stadion Francji (Stade de France), Saint – Denis, Francja (il. 5)

Kształt tej przestrzeni definiuje charakter przekrycia nad trybunami. W całości założenia architektonicznego dominuje ono skalą powierzchni. Wyrazisty kształt został wyznaczony eliptycznym zarysem planu. Dach sprawia wrażenie, jakby zawisł w przestrzeni o własnych siłach. Dzieje się tak dlatego, że przekroje elementów nośnych, masztów i lin, są tak niewielkie, że stają się prawie niezauważalne w skali założenia, chociaż tak naprawdę, to one odpowiadają za statykę całej budowli.

- Hala widowiskowa w Katowicach, Polska

Utrwalenie formy obiektu nastąpiło w zdecydowanie czytelnych konturach. Stożek foremny został odwrócony i „wbity” w ziemię oraz ścięty ukośną płaszczyzną tworząc kształt budowli. Urozmaiceniem formy jest kopuła – latarnia o obrotowym kształcie umieszczona w centralnym punkcie zadaszienia. Odwrócenie ciężaru bryły względem sił przyciągania ziemskiego i wyraźne pochylenie płaszczyzny przekrycia sprawia, że budowla odznacza się dynamiką kompozycji architektonicznej.

PRZYPISY

- [1] S. Giedion, *Przestrzeń, czas i architektura. Narodziny nowej tradycji*, Warszawa 1968, s. 10.
- [2] *Ibidem*, s. 206.
- [3] N. Pevsner, *Pionierzy współczesności. Od Williama Morrisa do Waltera Gropiusa*, Warszawa 1978, s. 136.
- [4] P. Jodidio, *Nowe formy. Architektura lat dziewięćdziesiątych XX wieku*, Warszawa 1998, s. 44.
- [5] W. Trochymiak, *op. cit.*, [w:] *Materiały Konferencyjne Trzeciej Krajowej Konferencji „Estetyka Mostów”*, s. 225.
- [6] M. Salwadori, *Siła architektury. Dlaczego budynki stoją*, przeł. P. Iwanowski, Wydawnictwo Murator, Warszawa 2001, s. 289.
- [7] M. Misiągiewicz, *Kolejne granice współczesności – refleksja o architekturze pod koniec wieku*, [w:] *Czasopismo Techniczne z. Architektura*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej Kraków 1998, s. 48.
- [8] Cytat za: S. Kuś, *O konstrukcjach Profesora Wacława Zalewskiego za granicą*, *Inżynieria i Budownictwo* 2/1997.

BIBLIOGRAFIA

- W. Addis, *The Art of the Structural Engineer*, Artemis, London 1994.
- A. Elliott, *Creating a Beautiful Bridge. Bridge Aesthetics – Around the World*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 1991.
- P. Harbeson, *Architecture in bridge design. Bridge Aesthetics around the World*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington 1999.
- P. Jodidio, *Nowe formy. Architektura lat dziewięćdziesiątych XX wieku*, przeł. M. Motak, Warszawa 1998.
- M. Misiągiewicz, *Architektoniczna geometria*, Wydawnictwo DjaF, Kraków 2005.
- M. Misiągiewicz, *O prezentacji idei architektonicznej*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- J. Sławińska, *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, Warszawa 1997.
- P. Trzeciak, *Przygody architektury XX wieku*, Nasza Księgarnia, Warszawa 1974.