

BRAMA POZNANIA

architektura i konstrukcja w symbiozie

Część 1

mgr inż. Marcin Matoga

Budynek Interaktywnego Centrum Historii Ostrowa Tumskiego ICHOT „Brama Poznania” to jedna z najbardziej awangardowych realizacji ostatnich lat. Wielokrotnie nagradzana, wywołująca żywiołowe dyskusje minimalistyczna fuzja architektury i konstrukcji.

BUILDER
FOR THE
YOUNG
ENGINEERS



Rys. 1. ICHOT „Brama Poznania” o zmierzchu

Popularność, jaką cieszy się „Brama Poznania” (w pierwszym roku działalności odwiedziło ją ponad 110 tys. osób), oraz liczne nagrody i nominacje pokazują, że tego rodzaju obiekty mogą pełnić także rolę „żywych galerii” architektury i konstrukcji. Zapewne nie mała w tym zasługa niezwyklej formy tego budynku, która zaciekawia, intryguje i skłania do zadawania pytań: „jak to jest zrobione”?

Symptomatyczne jest niemal systemowe pomijanie roli konstruktorów jako aktywnych współtwórców w projektowaniu tego rodzaju obiektów i sprowadzanie ich (nas) do roli „konsultantów branżowych” czy „podwykonawców biura architektonicznego”. Przy okazji rozmaitych nagród czy publikacji do wiadomości, a więc i do świadomości publicznej, trafia zwykle tylko informacja o architekcie jako twórcy budynku lub budowli. Na szczęście także i na tym polu ICHOT „Brama Poznania” jawi się jako pozytywy wyjątek.

W cyklu dwóch artykułów autor wykaże, jak ważna dla finalnego efektu oraz jak fascynująca może być praca konstruktora, szczególnie gdy odbywa się w ramach partnerskiego i wzajemnie inspirowanego się zespołu architektów i inżynierów.

Geneza projektu

Początkiem „Bramy Poznania” był konkurs architektoniczny, który został rozstrzygnięty w 2009 roku. Spośród kilkudziesięciu zgłoszonych prac jako najlepszą wybrano koncepcję pracowni ar-

chitektonicznej Ad Artis, której autorami są architekci: Arkadiusz Emerla, Maciej Wojda i Piotr Jagiełłowicz. Projekt konkursowy przedstawiał prostą, kubiczną bryłę, przeciętą na dwie części szklaną szczeliną, której wyobrażona linia biegła w dal, aż do osi głównej nawy katedry na Ostrowie Tumskim. Budynek usytuowano nad samym brzegiem Cybiny, odnogi Warty, i ekspresyjnie podcięto, nadwieszając nad rzeką ogromnym wspornikiem. Jednym z warunków konkursu było połączenie nowego budynku z zabytkową Służą Katedralną, znajdującą się po przeciwnej stronie Cybiny. Osiągnięto to za pośrednictwem zadaszanej kładki, wylaniającej się ze wspornikowej nadwieszanej części budynku ICHOT.

Obiekt będący połączeniem tak wielu konstrukcyjnych i architektonicznych wyzwań zdarza się bardzo rzadko. Dlatego uczestniczenie jako projektant konstrukcji w tworzeniu tego wyjątkowego budynku było i jest dla mnie ogromną satysfakcją. W moim artykule chciałbym przedstawić, w jaki sposób niekonwencjonalne rozwiązania konstrukcyjne pozwoliły na realizację tej śmiałej koncepcji architektonicznej.

Śmiała idea

Problemy konstrukcyjne, z jakimi zetknąłem się podczas projektowania i realizacji budynku „Bramy Poznania”, nie sposób zrozumieć bez wyjaśnienia głównych idei i założeń sformułowanych przez autorów koncepcji architektonicznej.

Najważniejszym pomysłem zawartym w pracy konkursowej było założenie o monolityczności bryły. Cały budynek miał tworzyć wrażenie monolitu i to zarówno w oglądzie z zewnątrz, jak i od wewnątrz. Implikacją tego założenia było dążenie do uzyskania u obserwatora, który najpierw widzi budynek od zewnątrz, a następnie wchodzi do środka, wrażenia oglądania tej samej jednorodnej materii podczas patrzenia na ściany budynku z obu stron.

Co ciekawe, określenie „monolityczny”, które u inżynierów wywołuje skojarzenia z betonem, wcale nie było tak oczywiste na początku procesu projektowania. Architekci analizowali na modelach róż-

ne materiały, struktury i faktury jako potencjalne tworzywa, z których miał powstać budynek. Jeden z analizowanych wariantów polegał nawet na pokryciu ścian budynku... pluszem.

Kolejnym elementem pierwotnej idei jest rozcięcie-szczelina, które w sposób określany przez niektórych jako „niepokojący” przecina budynek. Ten pomysł w połączeniu z ideą monolitu odwołuje się do pierwotnych skojarzeń z kielkowaniem, pękaniem nasion jako początkiem istnienia, co w sposób jasny jest aluzją do głównego przekazu ICHOT, czyli opowieści o początkach polskiej państwowości. Szczelinę poprowadzono w taki sposób, aby była ona przedłużeniem osi nawy głównej katedry na Ostrowie Tumskim. To także jest zrozumiałym odniesieniem do historii i tworzy niejako wirtualną „nic” lub „oś” spajającą nowe i stare. Dzięki takiemu ukierunkowaniu szczeliny gmach katedry stał się niejako elementem wnętrza „Bramy Poznania”, gdyż szczelina naturalnie kieruje nasz wzrok i tworzy ramy kadru, w którym widzimy katedrę. Ponieważ przestrzenie ekspozycyjne są całkowicie pozbawione okien, szczelina jest jedynym miejscem, w którym widz może znaleźć odniesienie przestrzenne w drodze przez wnętrza ICHOT. Podczas zwiedzania goście kilkakrotnie przechodzą w różnych kierunkach i na różnych poziomach przez szczelinę po mostkach o całkowicie szklanej konstrukcji. Wykonanie całych mostków ze szkła pozwoliło na uzyskanie efektu „niewidzialności”, dzięki czemu utrzymano wrażenie pełnego rozcięcia budynku szczeliną. Komunikację pionową zapewniają trzy podłużne ciągi schodów, które są całkowicie obudowane ścianami, przy czym każdy z nich łączy tylko wybrane kondygnacje. W całości daje to wrażenie labiryntu i potęguje efekt tajemniczości niczym w klasztornej bibliotece opisanej przez Umberto Eco w „Imieniu róży”. Ja sam podczas oficjalnego otwarcia „Bramy Poznania” uległem tej iluzji, choć budynek znałem przecież na wylot.

Wprowadzenie szczeliny oprócz aspektu architektonicznego niesie także głębokie konsekwencje dla konstrukcji i instalacji. Szczelina sprawia, że mamy do czynienia właściwie z dwoma odrębnymi bu-

Fot. Wojciech Krzyński



Rys. 2. Szczelina z widokiem na katedrę

dynkami, z których każdy ma swoje niezależne systemy instalacji oraz odrębną konstrukcję.

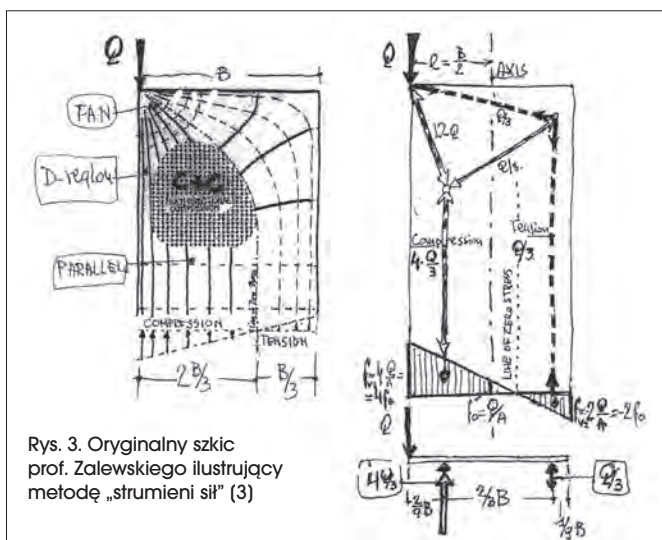
Elementem, który chyba w największym stopniu definiuje charakter budynku „Bramy Poznania”, jest wspornikowe nadwieszenie bryły nad koryto Cybiny, mające wysięg 12,5 m, na końcu którego dodatkowo wspiera się kładka dla pieszych o rozpiętości 62,4 m. To śmiałe założenie było prawdziwym wyzwaniem dla mnie jako projektanta konstrukcji.

GŁÓWNE WYZWANIA KONSTRUKCYJNE WYNIKAJĄCE Z WIZJI ARCHITEKTONICZNEJ

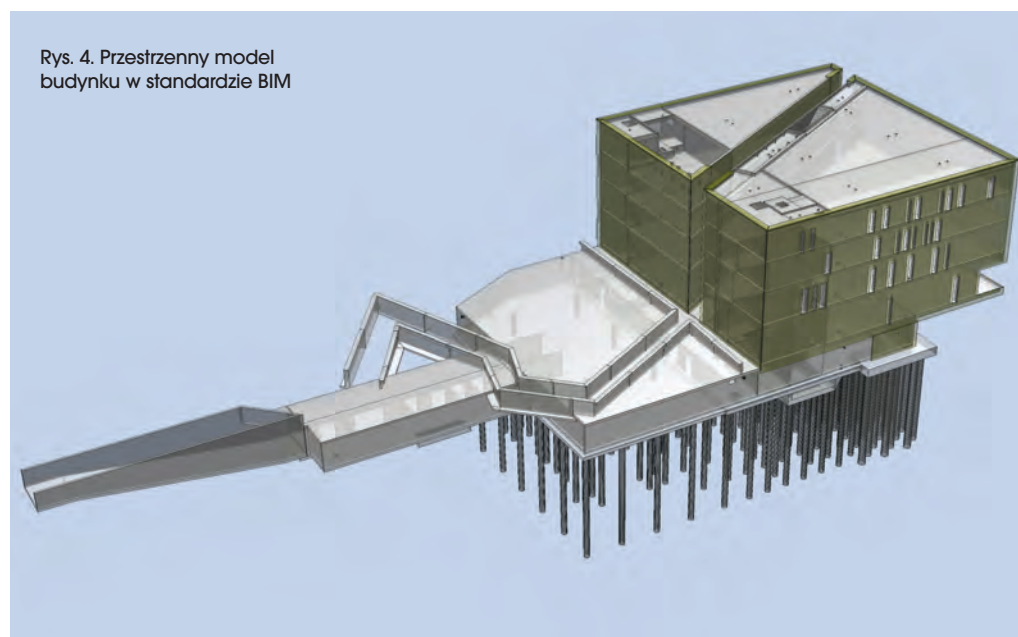
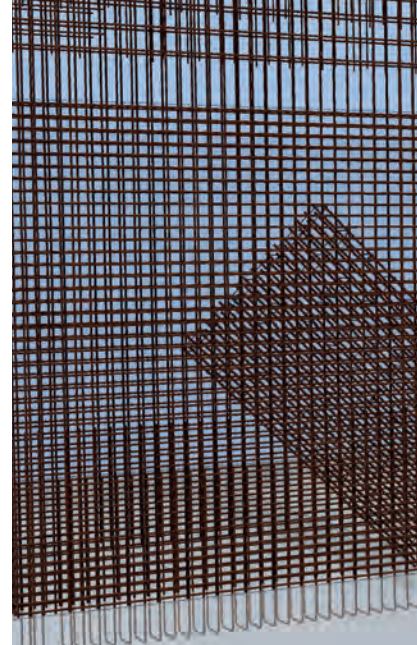
Niezwykła forma bryły budynku

Już pierwszy rzut oka na ekspresyjny kształt bryły budynku wskazywał, że będzie ona stanowiła spory problem konstrukcyjny. Moje początkowe analizy dotyczyły wyboru materiału, z którego miała być wykonana główna konstrukcja, oraz

rodzaju tej konstrukcji. Na prostych, wycinkowych modelach przeanalizowałem kilka wariantów: konstrukcję stalową z układem „mega-kra-townic”, żelbetowy monolityczny układ tarczowy oraz konstrukcję żelbetową ze sztywnym zbrojeniem z zespolonych profili stalowych. Każda z nich miała wady i zalety, ale intuicyjnie skłaniałem się ku układowi tarczowemu. Decyzja architektów, aby zewnętrzne elewacje budynku wykonać z betonu architektonicznego, wynikało także z dążenia do realizacji wspomnianej wcześniej idei monolitu.



Rys. 3. Oryginalny szkic prof. Zalewskiego ilustrujący metodę „strumieni sił” (3)



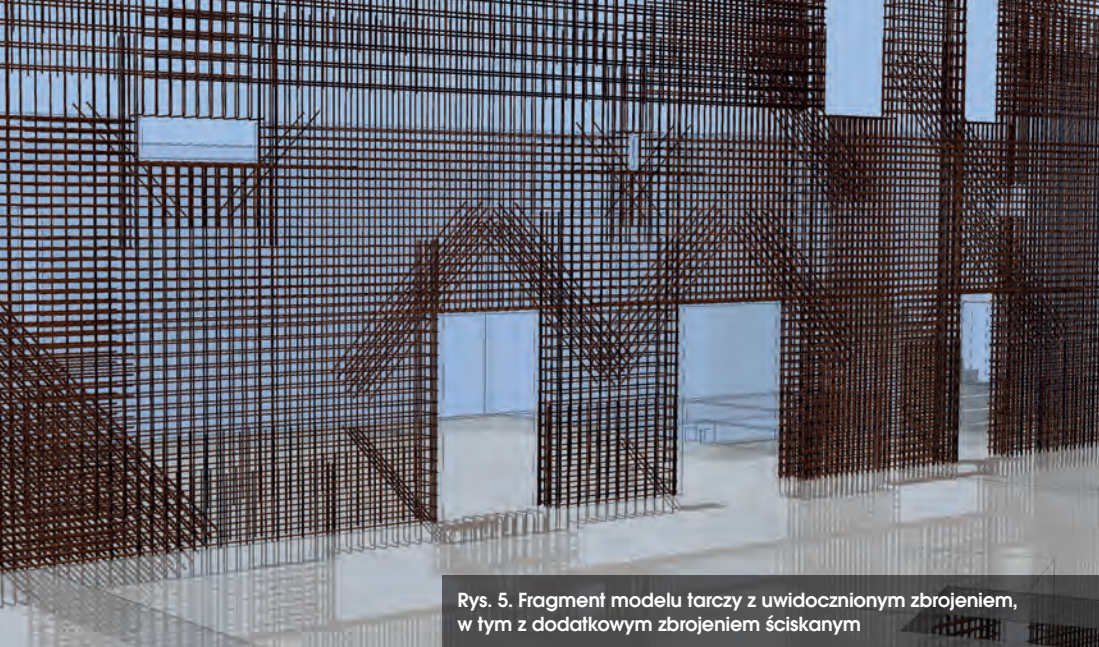
Rys. 4. Przestrzenny model budynku w standardzie BIM

Główny układ konstrukcyjny budynku składa się z pięciu głównych tarcz, które spięte są szóstą tarczą, tworząc zarazem elewację od strony rzeki. Główne tarcze mają grubość 30 cm, a dwie najbardziej obciążone tarcze środkowe – 40 cm. Zostały one wykonane z betonu klasy C35/45. Każda z tarcz ma nieco inne wymiary i jest odmiennie perforowana otworami. Układ, wielkości i ilość otworów w poszczególnych tarczach są efektem kompromisu pomiędzy oczekiwaniami architektów a możliwościami konstrukcyjnymi i powstały w efekcie kilkukrotnych iteracyjnych analiz i zmian.

Posadowienie

Wstępne analizy stateczności całej bryły budynku jednoznacznie wykazały, że obiekt o takim kształcie i rozkładzie obciążeń nie jest stabilny i ma tendencję do wywrócenia się w kierunku koryta rzeki. Rozkład obciążeń na podłożu był wyjątkowo niekorzystny. W części pod wspornikiem występowały bardzo duże naciski pionowe, podczas gdy po stronie przeciwnej występowało na znacznym obszarze odrywanie. Myśląc o tym, jak przezwyciężyć ten niekorzystny układ reakcji, przypomniałem sobie słowa jednego z moich akademickich nauczycieli, który mówił, że „z dużymi momentami należy walczyć dużymi ramionami sił”. Szukając sposobu na zwiększenie tego ramienia, postanowiłem wykorzystać podziemny parking, który przylega do głównej części budynku. Uczy-niłem tak, choć według klasycznych, podręcznikowych zasad zaleca się dylatowanie względem siebie części budynku znacznie róż-





Rys. 5. Fragment modelu tarczy z uwidocznionym zbrojeniem, w tym z dodatkowym zbrojeniem ściskowym

niących się wysokością, konstrukcją czy obciążeniem. Dlatego postanowiłem zastosować pewien trik: gruba płyta fundamentowa, stanowiąca balast, została zaprojektowana jako wspólna dla całego obiektu, ale ciężka płyta stropu nad parkingiem podziemnym, choć oddzielona od głównej bryły, wspiera się na niej i dociera od tej strony, gdzie wcześniej występowały największe odrywania. Także od przodu, pod częścią wspornikową, wysunąłem nieco płytę fundamentową przed ścianę frontową. Pozwoliło to na znaczne zredukowanie wielkości i zasięgu strefy odrywanej, a w konsekwencji także wielkości nacisków, choć przy pewnych schematach obciążeń nadal mogły występować.

Problem stateczności i fundamentowania budynku był nierozdzielnie związany z warunkami gruntowymi w korycie Cybiny. Z uwagi na zalegające tam grube warstwy nasypów niebudowlanych oraz gruntów słabonośnych w stanie plastycznym i miękkoplastycznym konieczne było zastosowanie posadowienia pośredniego. Zdecydowałem się na posadowienie budynku na sztywnej płycie fundamentowej, wspartej na palach, co pozwoliło zarówno na przekazanie na podłoże dużych nacisków pod częścią wspornikową, jak i odrywań, które są przenoszone przez pale pracujące na wrywanie. W efekcie budynek został oparty na 224 palach wierconych typu CFA o średnicy 80 cm i 60 cm i długościach od 11,0 m do 15,0 m, dobranych odpowiednio do obciążeń i warunków gruntowych pod daną strefą fundamentu.

Wróćmy jednak do układu nośnego budynku.

Konstrukcja i wymiarowanie

Główne tarcze wraz ze stropami tworzą sztywny, przestrzenny układ, w którym w prawie wszystkich elementach występują złożone stany sił wewnętrznych. Norma [1] dotycząca projektowania konstrukcji żelbetowych, która obowiązywała w czasie tworzenia projektu „Bramy Poznania”, nie podawała zasad projektowania elementów typu powłoka czy tarcza. Dlatego już na etapie wstępnych analiz sięgnąłem po ciekawą metodę „strumieni sił”, którą opracował jeden z najsłynniejszych polskich konstruktorów, prof. Wacław Zalewski, projektant konstrukcji m.in. katowickiego „Spodka” czy warszawskiego „Supersamu”. Metoda ta operuje pojęciem „strumienia sił” jako wyobrażeniem pewnych grup naprężeń, które można interpretować jako „drogi”, którymi obciążenia zewnętrzne biegną do podpór.

Metoda ta ma ogromną zaletę polegającą na geometrycznym porządkowaniu i ilustrowaniu rozkładów sił wewnętrznych w nawet bardzo złożonych elementach. Ponieważ poszczególne „strumienie sił” symbolizowane są za pomocą prętów, wyniki takiej analizy można łatwo wykorzystać także do wstępnego wymiarowania. Analizy MES, zwłaszcza na początkowych etapach projektowania, gdy rozważamy wiele różnych wariantów, wiążą się z dużym nakładem pracy i czasu, a w efekcie zarzucają projektanta ogromną ilością detalicznych, ale i chaotycznych wyników,

które trudno szybko i trafnie interpretować oraz oceniać.

Po wstępnym ukształtowaniu koncepcji układu konstrukcyjnego wykonaliśmy wraz z moimi współpracownikami szczegółowe analizy MES oraz wymiarowanie w oparciu o normy [1] i [2]. Z uwagi na rangę i stopień skomplikowania zadania obliczenia wykonano za pomocą dwóch różnych programów. Analizy MES oraz wymiarowanie w oparciu o normy [1] i [2]. Z uwagi na rangę i stopień skomplikowania zadania obliczenia wykonano za pomocą dwóch różnych programów. Analizy MES oraz wymiarowanie w oparciu o normy [1] i [2]. Z uwagi na rangę i stopień skomplikowania zadania obliczenia wykonano za pomocą dwóch różnych programów. Analizy MES oraz wymiarowanie w oparciu o normy [1] i [2].

W standardzie BIM

Cały proces projektowania prowadzony był z wykorzystaniem pełnego przestrzennego modelu budynku w standardzie BIM. Wyniki analiz głównych tarcz nośnych potwierdziły wstępne założenia oparte o metodę „strumienia sił”. Przebieg sił w tarczach jest bardzo charakterystyczny – siły rozciągające przebiegają przez górną część tarczy do jej tylnej, dolnej części, podczas gdy strumienie ściskań koncentrują się w miejscu podparcia części wspornikowej. W najbardziej wyężonych tarczach doprowadziło to do konieczności stosowania specjalnego zbrojenia betonu na ściskanie (rys. 5). Zbrojenie to umieszczono pomiędzy ortogonalnymi siatkami zbrojenia głównego, w formie grupy prętów ustawionych zgodnie z kierunkiem głównych naprężeń ściskających, które bardzo dobrze odpowiadają kierunkowi „strumienia sił”. Pręty dodatkowego zbrojenia ściskane powiązano strzemiionami w sposób podobny jak dla słupów, aby zabezpieczyć je przed wyboczeniem.

Literatura

- [1] Norma PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [2] Norma PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu.
- [3] Pelczarski M., Strumienie sił w teorii Wacława Zalewskiego, jako narzędzie projektanta w kształtowaniu architektury konstrukcji, Architektura 4/2014.
- [4] Baumat, System stropowy CO-BLAX (wytyczne projektowe).
- [5] Flaga K., Zbrojenie przeciwskurczowe, obliczenia, zalecenia konstrukcyjne w budownictwie powszechnym, materiały Konferencji WPPK Ustroń 2002.
- [6] Biliszczuk J. z zespołem, Projektowanie stalowych kładek dla pieszych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne 2004.

Abstract

UNORTHODOX STRUCTURAL SOLUTIONS FOR THE „GATE OF POZNAŃ” BUILDING AS A WAY TO ACCOMPLISH AN AUDACIOUS ARCHITECTURAL IDEA

The „Gate of Poznań” is one of the most unorthodox buildings accomplished in Poland in the last years. It was designed on the basis of the winning project of the international architectural competition. Our team of structural engineers faced and solved many unusual problems mostly caused by a cantilever form of the building with a suspended pedestrian bridge. The main sources of problems were: general structural system consisting of highly strained concrete cantilever walls with openings, irregular loads on the foundations with some areas of an uplift, vast use of an architectural concrete in structural elements both inside and outside of the building. Special system of slabs with internal lightening cavities was used in order to reduce weight of the cantilever part and to cover a span up to 15 m. External walls were designed as the sandwich structures made of architectural concrete with external layers with no expansion joints. The pedestrian bridge with a span of 62,4 m was analyzed paying special attention to dynamics and vibration.

Autor jest inżynierem konstruktorem i właścicielem Pracowni Projektowej Konstrukcji Budowlanych i Mostowych MM Konstrukcje Budowlane
Kolejna część artykułu będzie opublikowana w następnym numerze.