

BRAMA POZNANIA

Wyzwania konstrukcyjne wynikające z wizji architektonicznej

Część 2

mgr inż. Marcin Matoga

BUILDER
FOR THE
YOUNG
ENGINEERS

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”. Na szczęście także i na tym polu ICHOT „Brama Poznania” jawi się jako pozytywy wyjątek.

Wyznaczając jak ważna dla finalnego efektu oraz jak fascynująca może być praca konstruktora, szczególnie gdy odbywa się w ramach partnerskiego i wzajemnie inspirującego się zespołu architektów i inżynierów, autor kontynuuje odpowiedź na pytanie, w jaki sposób niekonwencjonalne rozwiązania konstrukcyjne pozwoliły na realizację tej śmiałej koncepcji architektonicznej.

Lekkie stropy o dużych rozpiętościach

We wspornikowej części budynku znajdują się główne sale ekspozycyjne oraz hall i kawiarnia. Rozpiętości pomiędzy głównymi tarczami nośnymi dochodzą tam do 15 m, a zastosowanie dodatkowych podparć było nieakceptowalne ze względów funkcjonalnych. Konieczne było wybranie takiego układu konstrukcyjnego stropów,

który pozwoliłby przekryć tak duże przestrzenie, a jednocześnie był lekki, gdyż masa części wspornikowej wpływała decydująco na wytrzymałość głównych tarcz i fundamentów. Przeanalizowałem kilka różnych wariantów konstrukcji stropów: stropy rusztowe o różnych układach belek, stropy kasetonowe oraz płyty sprężone. Układy rusztowe wymagały belek o znacznej wysokości, które kolidowały z in-

stalacjami oraz zmniejszały i tak już nie największą wysokość użytkową pomieszczeń. Stropy kasetonowe byłyby uciążliwe wykonawczo i wymagałyby skomplikowanego zbrojenia, a warianty sprężone cechowałby wysoki koszt. Inspiracją dla rozwiązania było skojarzenie z budową szkieletu ptaków. Jak wiadomo, jednym z kluczowych przystosowań ptaków do lotu są kości pneumatyczne, wewnątrz których

znajdują się puste przestrzenie, wydzielone cienkimi ściankami tworzącymi przestrzenną, lekką strukturę. Podobne cechy ma system stropowy COBIAX. Dzięki zastąpieniu części objętości betonu przez puste, cienkościennie kule z tworzywa sztucznego uzyskuje się znaczną redukcję masy własnej stropu kosztem niewielkiej, zaledwie kilkuprocentowej utraty sztywności [4].

Zastosowanie tego systemu na budowie jest bardzo łatwe. Płytę stropową szaluje się jak zwykłą płytę płaską, a następnie w standardowy sposób układa siatkę zbrojenia dolnego. Wkłady odciążające są dostarczane w formie liniowych zestawów kul umieszczonych wewnątrz koszyków z cienkich prętów stalowych. Koszyk stabilizuje kule i niejako automatycznie zapewnia właściwe rozstawy pomiędzy nimi zarówno wzdłuż, jak i w poprzek. Na górnych prętach koszyków opiera się górną siatkę zbrojenia stropu. Głównym problemem różnych rodzajów odciążeń (np. bloków styropianu lub wytłoczek z tworzywa sztucznego) jest konieczność uciążliwego stabilizowania na czas betonowania, szczególnie w celu zabezpieczenia przed wyparciem przez masę betonową. W systemie COBIAX rozwiązano to bardzo pomysłowo: w pierwszym etapie betonuje się dolną warstwę stropu, w której znajdują się dolne zbrojenie oraz dolne pręty koszyków. Po rozpoczęciu wiązania betonu, gdy przestaje on już być ciekły, wylewa się pozostałą część grubości. Dolna, częściowo już związana warstwa, stanowi niejako balast, który stabilizuje wkłady odciążające. W miejscach występowania znacznych sił poprzecznych wkładów się nie umieszcza, gdyż znacząco (o ok. 50%) zmniejszają one nośność płyty na ścinanie. W takich miejscach wykorzystuje się pełną nośność przekroju betonowego, a w razie potrzeby można stosować dodatkowo zbrojenie na ścinanie lub przebiecie.

Użycie stropów COBIAX pozwoliło uzyskać płaskie stropy o rozpiętości do 15 m przy grubości zaledwie 37 cm. Takie rozwiązanie było także korzystne dla bezkolizyjnego prowadzenia instalacji w przestrzeni nad sufitem. W bocznych częściach budynku, gdzie rozpiętości stropów są

mniejsze, zastosowano tradycyjne monolityczne płyty pełne o grubości 25 cm.

Ściany z betonu architektonicznego

Jednym z głównych założeń projektu była monolityczność, jednolitość całej bryły. Celem było uzyskanie wrażenia, że wchodząc do budynku, wchodzimy do wnętrza wydrążonego masywu. Ideałem byłoby wykonanie ścian wewnętrznych jako litych brył, jednak ze względu na warunki klimatyczne panujące w naszym kraju nie jest to wprost możliwe.

Podczas projektowania rozważaliśmy kilka różnych wersji ścian zewnętrznych:

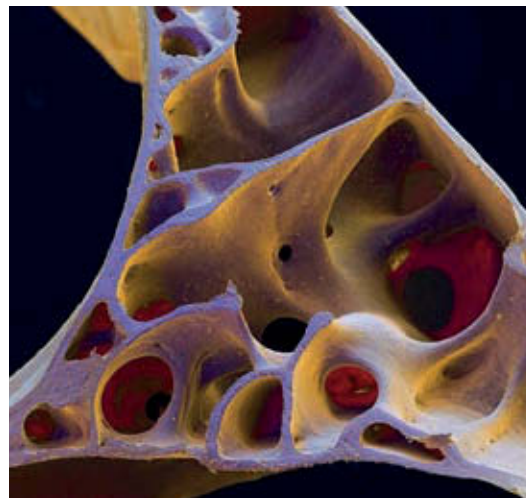
- ściany lite, bez izolacji termicznej;
- ściany z betonu lekkiego;
- ściany z izolacją termiczną od wewnątrz;
- ściany warstwowe z betonu architektonicznego.

Betonowe ściany lite bez izolacji termicznej były stosowane w realizacji na świecie, np. przez architektów japońskich, jednak dotyczyło to obiektów zlokalizowanych w strefach klimatu znacznie cieplejszego niż w Polsce, gdzie problemy strat ciepła nie są tak ważne.

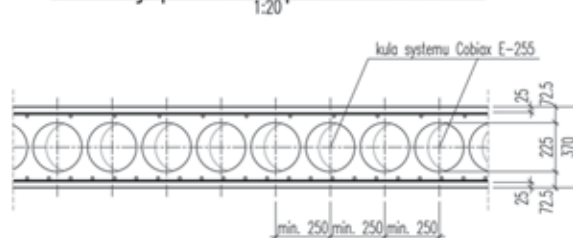
Wariant ścian z betonu lekkiego, pełniącego zarówno rolę materiału konstrukcyjnego, jak i izolacji termicznej, odrzuciliśmy z uwagi na niewystarczającą wytrzymałość oraz trwałość takiego materiału w warunkach środowiska zewnętrznego. Forma bryły budynku skutkuje dużymi wytyżeniami elementów konstrukcyjnych, którym nie byłby w stanie sprostać beton lekki. Jednocześnie grubość takich ścian musiałaby być bardzo duża, aby zostały spełnione wymagania dotyczące strat ciepła i rozkładu temperatury w przegrodach.

Ściany z izolacją termiczną od wewnątrz są sporadycznie stosowane w różnych realizacjach. Są to jednak zwykle niewielkie obiekty o prostej architekturze, w których pewne specyficzne wady tego rozwiązania są akceptowalne. Znanymi ułomnościami takiego układu są m.in.: drastyczne ograniczenie pojemności cieplnej budynku, ryzyko skraplania się pary wodnej i akumulowania wilgoci wewnątrz przegrody czy też wystawienie warstwy konstrukcyjnej na wahania temperatury zewnętrz-

Rys. 1. Inspiracja i realizacja stropu COBIAX



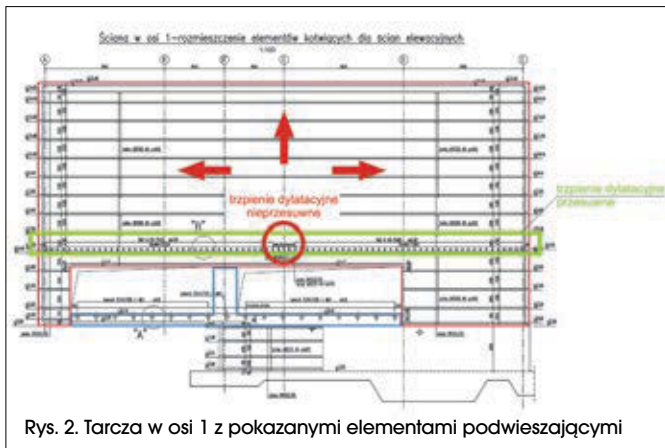
Przekrój przez strop Cobiax E-225



nej. W budynku „Bramy Poznania” praktycznie niemożliwe byłoby uniknięcie powstania wielu liniowych i punktowych mostków termicznych w miejscach przenikania ścian (tarcz) zewnętrznych ze stropami i nośnymi ścianami wewnętrznymi. Pomysł ten nie został jednak przez projektantów całkowicie odrzucony. Wykorzystaliśmy go w niewielkim budynku pawilonu parkingowego, który wchodzi w skład kompleksu „Bramy Poznania”. Ten skromny, nierzucający się w oczy budynek znajduje się około 200 m na wschód od

głównego gmachu, przy parkingu naziemnym. Zapewne niewielu widzów zdaje sobie sprawę z tego, że obiekt ten jest de facto jednolitą rzeźbą z betonu tworzącego zarówno konstrukcję, jak i elewację budynku, łącznie z dachem.

Ostatecznie zdecydowaliśmy się na zaprojektowanie ścian zewnętrznych jako warstwowych, w których zarówno wewnętrzna, nośna warstwa, jak i zewnętrzna warstwa elewacyjna zostały wykonane z monolitycznego betonu architektonicznego, a pomiędzy nimi znajduje się izolacja termiczna.



Rys. 2. Tarcza w osi 1 z pokazanymi elementami podwieszającymi



To rozwiązanie, choć z pozoru raczej standardowe, kryło w sobie kolejne wyzwanie.

Elewacje betonowe bez dylatacji

Architekci oczekiwali, że każda ze ścian zewnętrznych zostanie wykonana jako jednolity element, bez dylatacji. Było to pewnym problemem, zważywszy na fakt, że typowe ściany ICHOT-u mają długość prawie 33 m i wysokość ponad 16 m. Aby zrealizować ten zamysł, należało wymyślić sposób połączenia warstwy elewacyjnej ze ścianą nośną, który pozwoliłby na wzajemne przemieszczenia zarówno w poziomie, jak i w pionie. Z uwagi na duże rozmiary ścian elewacyjnych jakiegokolwiek skrępowanie swobody odkształceń skutkowało powstaniem ogromnych sił na skutek oddziaływania temperatury czy skurczu betonu. Jednocześnie to połączenie nie mogło znacząco pogarszać ciepłowodnościowych parametrów ściany ani tworzyć dużych mostków termicznych. Na trop rozwią-

zania tego problemu naprowadziło mnie skojarzenie z mostem, który też powinien być podparty w sposób pozwalający na kompensację odkształceń termiczno-skurczowych. Jednak początkowo nie miałem pomysłu, z czego wykonać „łożyska”, na których spoczywałyby ściana i jak je zamontować w sposób niewidoczny. Poszukując rozwiązania, przypomniałem sobie o trzpieniach dylatacyjnych, które są stosowane do łączenia płyt stropowych w miejscach dylatacji. Sprawdziłem, że pewne typy trzpieni mogą przenosić siły poprzeczne nawet przy wysunięciu wzdłużnym o 60 mm. Ta wielkość była już wystarczająca dla umieszczenia izolacji termicznej o akceptowalnej grubości, która choć w tym miejscu była cieńsza niż na pozostałej powierzchni ścian, to jednak wystarczała do tego, by ograniczyć efekt mostka termicznego. Aby umożliwić swobodne przemieszczenia poziome, pod każdą ze ścian zastosowano rząd trzpieni, z których trzy centralnie położone są nieprzesuwne, a po-

zostałe mają możliwość poziomego przesuwu. Łączniki umieszczono zawsze u dołu każdej ze ścian, aby wykorzystać naprężenie pionowe wywołane ciężarem własnym dla częściowej kompensacji naprężeń skurczowych. Dla spięcia warstwy elewacyjnej z warstwą nośną na całej wysokości ściany rozmieszczono regularnie stalowe szyny montażowe, w których osadzone są przegubowo-przesuwne specjalnie zaprojektowane łączniki prętowe, których końce są zabetonowane w warstwie elewacyjnej. Dzięki zastosowaniu szyn montażowych łączniki mają możliwość poziomego przesuwu, co znacznie zmniejsza występujące w nich naprężenia oraz redukuje efekty zmęczenia.

Wydzielony przez duże otwory okienne dolny fragment ściany w osi 1 został zamocowany z zastosowaniem łączników izolacyjnych, tzw. „izokorbów”, oraz specjalnie zaprojektowanych marek stalowych. Zastosowano łączniki izolacyjne przeznaczone oryginalnie do połączeń typu „żelbet-stal”, do których mocowane są marki ze stali nierdzewnej gat. 1.4404 z poziomymi otworami owalnymi, co pozwala na poziome przesuwu. Marki są zatopione w żelbetowej warstwie elewacyjnej.

Dla spięcia warstwy elewacyjnej z warstwą nośną na całej wysokości ściany rozmieszczono regularnie stalowe szyny montażowe, w których osadzone są przegubowo-przesuwne specjalnie zaprojektowane łączniki prętowe, których końce są zabetonowane w warstwie elewacyjnej.

Należy podkreślić, że w tego rodzaju masywnych, wielkogmiarowych konstrukcjach z betonu, a zwłaszcza z betonu architektonicznego, bardzo ważnym zagadnieniem jest oddziaływanie skurczu betonu. Normy [1] i [2] dotyczące projektowania konstrukcji

żelbetowych ujmują ten temat bardzo lakonicznie i dalece niewystarczająco z punktu widzenia praktycznego zastosowania. Cenną pomocą w tym zakresie były wytyczne zawarte w artykule [5]. Nie wglębiając się zbyt w to bardzo rozległe zagadnienie, chciałbym tutaj tylko zasygnalizować, że poprawne uwzględnienie efektów skurczu betonu w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych wymaga wykonania wieloetapowych analiz z uwzględnieniem faz realizacji obiektu oraz czynnika czasu. Zagadnienie to jest tym trudniejsze, że projektant konstrukcji ma tylko bardzo niewielki lub wręcz żaden wpływ na termin i harmonogram realizacji budynku.

Beton architektoniczny

Użycie na taką skalę betonu architektonicznego jako materiału do wykonania na budowie wielkopowierzchniowych, monolitycznych elementów było sporym wyzwaniem projektowym, organizacyjnym i wykonawczym. Należałoby tu właściwie użyć bardziej odpowiedniej nazwy „żelbet architektoniczny”, gdyż był on użyty w elementach typowo konstrukcyjnych, poddanych działaniu dużych sił oraz ze znacznym nasyceniem zbrojeniem. W projekcie zawarto szczegółową specyfikację betonu, w której określono m.in.:

- skład mieszanki, rodzaj cementu i kruszywa;
- sposób gromadzenia i przygotowania składników;
- wskaźnik w/c wraz z dopuszczalnym zakresem jego zmienności;
- konsystencję mieszanki;
- sposób transportu, układania i zagęszczania mieszanki betonowej;
- wytyczne dotyczące szalunków;
- sposób i termin pielęgnacji;
- wymagania dotyczące wyglądu i jakości powierzchni betonowych;
- sposób pobierania próbek oraz wykonywania badań kontrolnych;
- sposób zabezpieczenia wykonanych powierzchni i elementów;
- sposób postępowania z elementami, w których nie osiągnięto wymaganej jakości.

Ze względu na brak w tamtym czasie wytycznych krajowych dla betonu architektonicznego w projekcie oparliśmy się na przepisach niemieckich jako najbardziej sformalizowanych oraz zaawansowa-

nych w tym temacie. Najważniejsze pod względem estetycznym elementy zaliczono do najwyższej klasy jakości SB4, a pozostałe elementy widoczne do klasy jakości SB3. Do wykonania ścian elewacyjnych, ze względu na ich niewielką grubość wynoszącą tylko 150 mm, zaleciłem zastosowanie betonu samozagęszczalnego. Wykonawca zdecydował się jednak na użycie normalnego betonu wibrowanego, twierdząc, że w ten sposób osiągnie lepszą jakość powierzchni. Trudno rozsądzić, która z technologii dałaby w rzeczywistości lepsze rezultaty.

Warto podkreślić, że większość zagranicznych wytycznych dla betonu architektonicznego ujmuje zagadnienie wyłącznie od strony materiałowej, nie biorąc pod uwagę specyfiki elementów konstrukcyjnych. Prowadzi to do pewnych sprzeczności. Przykładem może być kwestia jakości powierzchni pod względem występowania rysowania. Niektóre wytyczne dla najwyższych klas jakości nie dopuszczają żadnych rysowań, podczas gdy w konstrukcyjnych elementach żelbetowych mogą występować rysowania o pewnej dopuszczalnej rozwarości, co wynika z samej zasady pracy żelbetu. Wydaje się, że potrzebne jest uzupełnienie wytycznych dla betonu architektonicznego o zagadnienia specyficzne dla „żelbetu architektonicznego”.

W elementach z betonu architektonicznego należało przed betonowaniem przygotować wszelkie otwory, bruzdy, kanały instalacyjne oraz osadzić niektóre stałe moduły wyposażenia i instalacji, gdyż w gotowych elementach nie dopuszczano żadnych prac, takich jak kucie, wiercenie itp., które mogłyby naruszyć wygląd powierzchni.

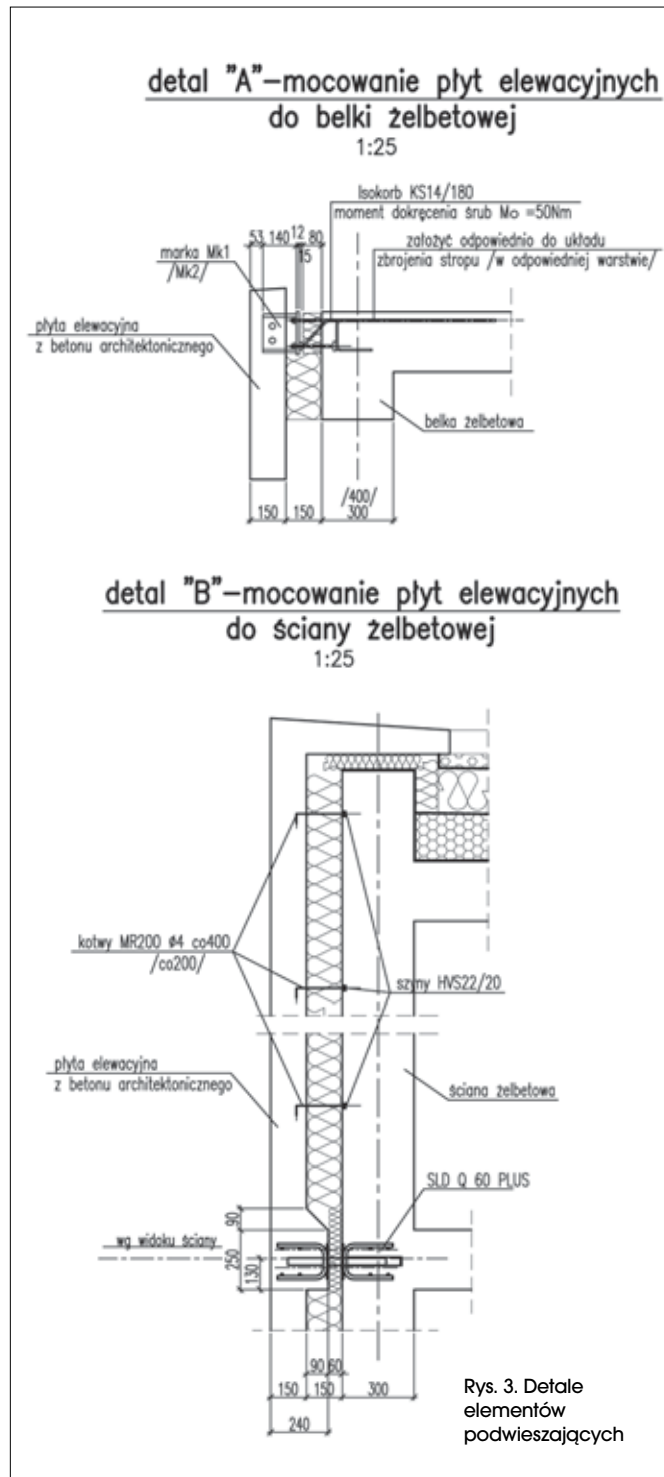
W celu weryfikacji procedury realizacji elementów z betonu architektonicznego wykonawca był zobowiązany do wcześniejszego przygotowania na terenie budowy elementu próbnego o wymiarach naturalnych (3,00 m x 3,75 m), który miał zawierać typowe elementy występujące w budynku, a w tym: zwieńczenie attyki, otwór okienny, otwór i kratę nawiewników wentylacji, oprawę oświetleniową. Akceptacja elementu próbnego miała stanowić podstawę do dopuszczenia wykonawcy do realizacji

elementów z betonu architektonicznego. Pierwszy wykonany element próbny posiadał szereg wad i nie został zaakceptowany. Podobny los spotkał kolejne elementy próbne. Przy piątym, wykonawca poinformował, że osiągnął szczyt swoich możliwości i że „tego nikt nie wykona lepiej”. Procedurę akceptacji przeszedł dopiero... dziewiąty element próbny. Po jego zrealizowaniu wykonawca przyznał, że jednak udało mu się przeskoczyć samego siebie.

Lekka optycznie, smukła kładka

Ważnym elementem kompleksu „Bramy Poznań” jest kładka dla pieszych łącząca główny budynek z położoną po przeciwnej stronie Cybiny zabytkową Śluzą Katedralną, która została wyremontowana, przebudowana i także włączona do całego założenia. Rozpiętość teoretyczna przeszła wynosi 62,4 m. W projekcie konkursowym ambitnie założono bardzo smukły kształt konstrukcji kładki, co było dla mnie sporym wyzwaniem podczas projektowania. Po przeanalizowaniu kilkunastu różnych wariantów zdecydowałem się na układ kratownicy przestrzennej z wykratowaniem dwukrzyżulcowym (podwójnym). Ten nieco dziś zapomniany typ kratownicy ma ciekawe i bardzo użyteczne własności w zakresie stateczności prętów. Dzięki ustateczniającemu wpływowi prętów rozciąganych przecinających się z prętami ściskowymi następuje znaczna redukcja długości wybożeniowej tych ostatnich zarówno w płaszczyźnie, jak i w płaszczyźnie skratowania. Pozwoliło to na zaprojektowanie smukłych przekrojów krzyżulców, co poprawiło efekt estetyczny. Należy podkreślić, że taki układ konstrukcji spotkał się z pełną akceptacją ze strony projektantów architektury, czego dowodem była decyzja, aby wbrew pierwotnym zamysłom nie zastąpić jej sufitem podwieszonym, lecz celowo wyeksponować, a nawet podkreślić za pomocą odpowiedniego oświetlenia.

Pomost kładki skonstruowano z wykorzystaniem stalowych blach fałdowych, zespolonych z betonową płytą pomostu. Blachy te stanowią zbrojenie dolne płyty, a zarazem szalunek podczas wykonywania pomostu. Dzięki temu cał-



Rys. 3. Detale elementów podwieszających

kowita grubość pomostu wynosi tylko 11 cm, co pod względem ciężaru odpowiada płycie płaskiej o grubości zaledwie 8,5 cm.

Od strony Śluzy Katedralnej kładka oparta jest przesuwnie na ścianowym, żelbetowym przyczółku za pośrednictwem elastomerycznych łożysk z warstwą ślizgową z PTFE (teflonu). Przyczółek został obliczany cegłą klinkierową, co nawiązuje do fortecznego charakteru murów Śluzy. Fundament przyczółka został posadowiony na

palach wykonanych w technologii jetgrouting.

Po przeciwnej stronie przęsto kładki jest podwieszona w dwóch punktach do frontowej tarczy budynku głównego w sposób przegubowy, nieprzesuwny. Podwieszenie zaprojektowano jako idealny przegub ze sworzniem. Obciążenie skupione z punktów podwieszenia wprowadzono w głąb tarczy za pośrednictwem stalowych zawiesz, zatopionych w tarczy podczas betonowania. Pozwoliło



Rys. 4. Konstrukcja kładki podczas budowy. W tle widoczny montaż zbrojenia warstwy elewacyjnej ściany frontowej

Fot. Piotr Wagner

to na przeniesienie obciążenia rozciągającego w strefę ściskaną w tarczy i uniknięcie rozrywania (odrywania) na jej dolnej, rozciąganej krawędzi.

Kluczowym problemem w projektowaniu kładek dla pieszych, niekiedy bardziej istotnym od obciążeń statycznych, są efekty dynamiczne, wywołane ruchem osób i porywami wiatru. Niedostatecznie uważne potraktowanie tego zagadnienia niejednokrotnie prowadziło do poważnych problemów, czego przykładem jest choćby słynna Kładka Milenijna przez Tamizę w Londynie, która tuż po oficjalnym otwarciu musiała zostać zamknięta ze względu na niepokojące drgania. Otwarto ją ponownie dopiero po wykonaniu skomplikowanych i kosztownych prac, polegających między innymi na zamontowaniu specjalnych tłumików drgań. Aby uniknąć tego rodzaju problemów, na etapie projektu wykonano obliczenia dynamiczne oraz sprawdzono wrażliwość konstrukcji na wzbudzenie drgań przez pieszych. Analizowano zarówno stan normalnego ruchu odwiedzających, jak i wzbudzenie celowe o charakterze wandalistycznym. Analizy prowadzono według procedur opisanych w pracy [6]. Ich wyniki potwierdziły, że konstrukcja jest wystarczająco sztywna i mało wrażliwa na oddziaływania dynamiczne, pomimo iż analiza modalna wskazywała, że niektóre częstotliwości drgań własnych znajdują się w zakresie potencjalnie zgodnym z częstotliwością wzbudzenia przez kroki pieszych.

Kładka została zaprojektowana z trzech segmentów montażowych, które zostały osobno dostarczone na budowę, a następnie oparte na docelowych oraz pomocniczych, tymczasowych podporach i scalone w całość. Wszystkie połączenia montażowe ze względów estetycznych zaprojektowano i wykonano jako spawane.

Podsumowanie

„Brama Poznania” ze względu na swój program jest obiektem wykraczającym poza klasyczną definicję słowa „muzeum”. Jej ekscentryczna bryła stanowi sama w sobie magnes przyciągający uwagę widzów. Jeden z odwiedzających ciekawie podsumował, że gmach ICHOT-u „w przyjemny

Potrzebne jest uzupełnienie wytycznych dla betonu architektonicznego o zagadnienia specyficzne dla „żelbetu architektonicznego”.

sposób łączy w sobie komponent architektoniczny i konstrukcyjny”. 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 niemała

w tym zasługa niezwyklej formy tego budynku, która zaciekawia, intryguje i skłania do zadawania pytań: „jak to jest zrobione”?

Trzeba jednak pamiętać, że projektowanie obiektów, które w założeniu mają być charakterystyczne i rozpoznawalne, niesie też ze sobą niebezpieczeństwo wpadnięcia w pułapkę sztucznego udziwniania, swoistej „barokowości”, celowego antykonstruktywizmu, a nawet chęci zaspokojenia ego architekta poprzez zaistnienie nawet za cenę kontrowersji lub astronomicznych kosztów. Takie przypadki można zaobserwować w budownictwie na świecie i w Polsce. Jako przykład można przywołać choćby późne prace Santiago Calatravy.

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 pozytywny wyjątek.

Mam nadzieję, że w tym artykule udało mi się przekazać, jak ważna dla finalnego efektu oraz jak fascynująca może być praca konstruktora, szczególnie gdy odbywa się w ramach partnerskiego i wzajemnie inspirującego się zespołu architektów i inżynierów.

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