

Od redakcji.

Wraz z pierwszym tegorocznym numerem rozpoczynamy nowy stały dział pt. „Nowoczesna prefabrykacja betonowa” wspólnie ze **Stowarzyszeniem Producentów Betonów (SPB)**, jako partnerem tego przedsięwzięcia. Będą w nim publikowane artykuły wybitnych naukowców oraz specjalistów z przedsiębiorstw zajmujących się prefabrykacją betonową, prezentujące przewagi konkurencyjne prefabrykatów nad materiałami tradycyjnymi, zasady projektowania i wznoszenia obiektów z ich zastosowaniem oraz przykłady zrealizowanych budynków.

W ostatnich trzydziestu latach prefabrykacja betonowa w Polsce przeszła ogromną transformację technologiczną i obecnie jest na światowym poziomie, o czym najlepiej świadczy fakt, że nasi producenci dostarczają prefabrykaty przede wszystkim na rynek skandynawski. W polskim budownictwie mają one bowiem niewielki udział (ok. 1%) i są wciąż niedoceniane zarówno przez projektantów, wykonawców, jak i inwestorów, mimo wielu niezaprzeczalnych zalet. Prefabrykaty betonowe produkowane są jako gotowe elementy konstrukcyjne w warunkach przemysłowych i montowane na placu budowy. Przekłada się to na bardzo dobrą jakość wyrobów, znaczne przyspieszenie wznoszenia obiektów oraz zmniejszenie do minimum placu budowy, ponieważ docierają tam elementy gotowe do wbudowania ściśle wg zaplanowanego harmonogramu dostaw i montażu. Stosowanie prefabrykatów nie jest uzależnione od warunków atmosferycznych i może się odbywać przez cały rok, a pracochłonność w przypadku tej technologii jest znacznie mniejsza niż budownictwa tradycyjnego. W przyszłości będzie to bardzo ważny argument przemawiający za wykorzystaniem prefabrykacji, ponieważ już w 2017 r. wiele firm budowlanych wskazywało na coraz większy niedobór pracowników, co utrudnia terminową realizację inwestycji. Poza tym przewidywane w najbliższych latach spiętrzenie robót budowlanych w ramach inwestycji ze środków unijnych spotęguje problemy kadrowe i może wpłynąć na wzrost cen materiałów budowlanych. Problemów tych nie da się rozwiązać bez rozwoju i stosowania, na większą niż dotychczas skalę, prefabrykacji betonowej w polskim budownictwie. Dyskutowano o tym podczas V Konferencji SPB 2017 pt. „Prefabrykacja betonowa i beton komórkowy w nowoczesnym budownictwie”, zorganizowanej przez Stowarzyszenie Producentów Betonów. Stowarzyszenie, skupiające m.in. wytwórców prefabrykatów, które od lat promuje tę technologię wśród uczestników procesu budowlanego, postanowiło przekazać kompendium wiedzy teoretycznej i praktycznej projektantom, wykonawcom i inwestorom – czytelnikom miesięcznika „Materiały Budowlane”. **Nowoczesna prefabrykacja betonowa**, to technologia przyszłości. Zachęcam do systematycznej lektury publikacji prezentowanych w tym dziale.

Krystyna Wiśniewska – redaktor naczelna

mgr inż. Krzysztof Janczura¹⁾

Elastyczność nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych z wykorzystaniem prefabrykatów betonowych

DOI: 10.15199/33.2018.01.22

Rozwój technologii prefabrykacji, a szczególnie prefabrykacji ustrojów konstrukcyjnych, zmierza ku dążeniu do wykonywania elementów inteligentnych, które mogą spełniać nie tylko funkcję nośną ustroju budowlanego, ale również użytkową, związaną z przeznaczeniem obiektu oraz estetyczną.

Oczekiwania

Współczesny prefabrykat jest wielofunkcyjnym urządzeniem. Powiemy – w zasadzie to nic nowego – ale... Kiedy w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. próbowano uzbrajać prostą betonową płytę w izolację, stolarkę okienną i drzwiową, malowano ją od wewnątrz, a z zewnątrz misternie wykonywano powłokę fasadową, nie dysponowaliśmy technologiami oraz materiałami, które czyniły z nich dopracowane elementy, spełniające wszystkie możliwe oczekiwania użytkownika, takie jak:

- wytrzymałość;
- trwałość z zachowaniem zasady zrównoważonego rozwoju;
- estetyka wykonania;
- możliwość swobodnego kształtowania kubatury;
- bardzo dobre parametry cieplno-wilgotnościowe i izolacyjności akustycznej;
- łatwe do zbrojenia w instalacje elektryczne; grzewcze i chłodzące; wodne i kanalizacyjne;
- gotowe do natychmiastowego zastosowania;
- oszczędne w zapotrzebowaniu na kubaturę....;
- gromadzące lub oddające energię.

Z pewnością, po chwili refleksji znajdziemy jeszcze wiele innych właściwości, którymi powinny charakteryzować się elementy betonowe. Rozwój technologii prefabrykacji jest i będzie przedmiotem zainteresowania wielu firm, od zwykłych zakładów prefabrykacji betonu, po wyrafinowane wytwórnie kompletnych obiektów montowanych z elementów prefabrykowanych.

Prefabrykat betonowy

Jaką zatem rolę, w tej wielości oczekiwań i możliwości technologicznych, odegra w konstrukcji obiektu betonowy prefabrykat? Poddając analizie większość wymienionych wcześniej cech wymaganych od prefabrykatu, można zauważyć kilka wspólnych, pozwalających scharakteryzować prefabrykat XXI w.

Po pierwsze kształt – prefabrykowany element żelbetowy staje się nośnikiem kształtu obiektu (zarówno konstrukcji, jak



Fot. 1. Założenie urbanistyczne projektu J4 – MuCEM

¹⁾ JORDAHL & PFEIFER Technika Budowlana Sp. z o.o.; janczura@jordahl-pfeifer.pl

i obudowy). Można sobie wyobrazić obiekt, który daje się dowolnie składać i rozkładać. Wymiary oraz masę pojedynczego elementu prefabrykowanego mogą zatem determinować jedynie ograniczenia transportowe lub montażowe na placu budowy.

Po drugie materiał prefabrykatu, który oprócz funkcji konstrukcyjnej spełnia jednocześnie zadanie akumulacji energii oraz umożliwia wbudowanie w element wielu różnych urządzeń dodatkowych (instalacje). Materiał ten, w połączeniu z różnymi rodzajami lepszyczy i wypełniaczy, gwarantuje bardzo duże możliwości przenoszenia naprężeń ściskających, a po wzmocnieniu dodatkową strukturą także naprężeń rozciągających. Wszystko razem w równowadze – odpowiednio duktylne. Materiał trwały w czasie życia całego obiektu i łatwy do ponownego użycia w przyszłości po recyklingu.

Po trzecie estetyka – współczesny prefabrykat betonowy to element niewymagający dodatkowych zabiegów kosmetycznych. Proces projektowania, receptura, szalunek, zabezpieczenie podczas transportu i montażu to elementy, bez których nie można oczekiwać osiągnięcia zaplanowanego efektu.

Po czwarte montaż, czyli połączenie wzajemne oraz połączenie z pozostałymi elementami konstrukcyjnymi. Proste i sprawne. Dostosowane do przenoszonych obciążeń, umożliwiające zakładane przemieszczanie konstrukcji. Trwałe, odporne na korozję i oddziaływanie środowiska.

Po piąte uzbrojenie w funkcjonalne elementy systemu obiektu, takie jak instalacja elektryczna, oświetlenie, ogrzewanie, chłodzenie, czy też inne media niezbędne do funkcjonowania obiektu – zintegrowane w przestrzeni prefabrykatu.

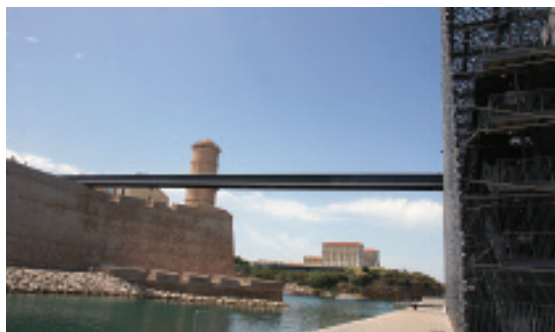
Rozwiązania konstrukcyjne

W zasadzie nie ma ograniczeń związanych z wykonaniem układów konstrukcyjnych z wykorzystaniem elementów prefabrykowanych. Istnieje już na świecie wiele obiektów pokazujących te możliwości. Rozważmy to zagadnienie na przykładzie obiektu MuCEM (*Museum of European and Mediterranean Civilisations*) (fotografia 1) zlokalizowanego w Marsylii, zrealizowane w latach 2010 – 2012. Architekt – **Rudy Ricciotti** przedstawia swoją wizję przestrzeni obiektu w rzucie 50 x 50 m wkomponowanego w strukturę starej za-

budowy miasta tuż u wejścia do Starego Portu. Cała budowla, w połączeniu z betonem monolitycznym (fotografia 2) – jest zestawem gotowych do funkcjonowania elementów prefabrykowanych. Już samo wejście w postaci zespołu smukłych kładek o długości 69 m (łączy stare mia-



Fot. 3. Panele prefabrykowane nakrywające tarasy MuCEM



Fot. 2. Kładka kablobetonowa z elementów prefabrykowanych łącząca fort z obiektem MuCEM

sto z fortem) i 115 m (łączy fort z muzeum – fotografia 2), wykonanych z elementów prefabrykowanych budzi podziw. Przekrój nośnych belek bocznych (balustrad) dopasowany jest idealnie do powstających w bryłach naprężeń sił wewnętrznych. Połączenie z zastosowaniem sprężonych kabli umożliwiło uzyskanie efektu niezwyklej smukłości. Smukłe dźwigary kablobetonowe wykonano z prefabrykowanych elementów z betonu wysokiej wytrzymałości zbrojonych włóknem szklanym i polipropylenowym, natomiast pomost z płyty z betonu UHPRFRC DUCTAL® o grubości 30 – 40 mm.

Poruszając się kładką w kierunku muzeum, nasz wzrok znajduje się na górnej płaszczyźnie ażurowych paneli z betonu o wymiarach 3 x 6 m o grubości nieprzekraczającej 10 cm (fotografia 3). Możemy odnieść wrażenie poruszania się po spękanej od suszy ziemi. Te same elementy tworzą tzw. drugą skórę obiektu, kształtując widoczne od zewnątrz ściany. Ich filigranowy kształt przy stosunkowo dużej powierzchni wymagał wyrafinowanej konstrukcji wsporczej lub podwieszającej. Zatonione marki kotwiące ze stali nierdzewnej umożliwiały swobodny montaż do ściśkano-rozciąganych cięgien również ze stali nierdzewnej (fotografia 4). Panele wykonane w technologii betonu DUCTAL® są zbrojone włóknami stalowymi oraz po-

lipropylenowymi. Tylko dzięki zastosowaniu technologii „uporządkowanej” struktury betonu możliwe było uzyskanie odpowiednich parametrów wytrzymałościowych.

Co prawda w tej beczce miodu można też znaleźć kilka uwag do projektantów, którzy nie przewidzieli, że w tym agresywnym środowisku nadmorskim należało zaizolować połą-

czenia elementów ze stali nierdzewnej ze stalą czarną zbrojącą beton i niestety już po pięciu latach widoczna jest korozja na styku tych materiałów. A może trzeba było zastosować zbrojenie rozproszone betonu wykonane ze stali nierdzewnej lub innego materiału? Te drobne mankamen-



Fot. 4. Systemy mocowania fasady z paneli betonowych MuCEM

ty nie zakłócają jednak głównego planu projektanta, jakim było osiągnięcie niezwykłej lekkości, dyskrekcji, a jednocześnie prostoty całego założenia architektonicznego. Beton, jako ascetyczny materiał, staje się nagle szlachetnym kamieniem o grafitowym wybarwieniu wyrastającym na tle lazurowej przestrzeni morza.

W przypadku kształtu nie ma w zasadzie ograniczeń. Wizja architekta przedstawiająca pnie drzew jako podstawowy element nośny konstrukcji obiektu została zrealizowana z iście aptekarską dokładnością. Elementy prefabrykowane wykonywane były o zmiennych przekrojach na długości – przeszło 310 kolumn (w dwudziestu podstawowych kształtach i osiemdziesięciu różnych typach) o długości 2,5; 6,0 i 9,0 m. Zespalone zostały z monolitycznymi belkami wieńcowymi stropu, wykonanego z dźwigarów sprężonych uciąganych w rejonie górnej półki, w sposób naśladujący naturalne rozgałęzienia kolejnych odrostów. Miejsce uciąglenia zamaskowano traconym szalunkiem z betonu UHPRFC (Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete).

Osiągnięcie smukłych przekrojów pozbawionych zbrojenia głównego mogło być zrealizowane jedynie przez przyjęcie odpowiedniego schematu zamocowania słupów (jako przegubowych), a jednocześnie zagwarantowanie przekazywania obciążeń jedynie w rdzeniu słupa. Należy zwrócić uwagę na niezwykłą dokładność wykonania elementów (do 1 mm). Stworzony katalog elementów pozwolił na odpowiednie zaplanowanie produkcji i montażu. W górnej kondygnacji zastosowano zwieńczenie w postaci teowych dźwigarów wspornikowych o długości 14 m i wysokości 4,5 m wykonanych z tego samego materiału.

Obserwator prowadzony wzdłuż naturalnych galerii ograniczonych z jednej strony ażurowymi panelami prefabrykowanymi odczuwa niezwykłą bliskość morza, a z drugiej strony porusza się wzdłuż szpalery drzew, za którymi znajduje się szklana fasada skrywająca mroczne tajemnice lasu... Przykuwa uwagę niezwykła estetyka powierzchni słupów betonowych, lśniących jak skamieniałe łodygi

roślin (fotografia 5). Było to możliwe dzięki zastosowaniu technologii betonowania form słupów pod ciśnieniem oraz zastosowaniu odpowiednich form i mieszanki z betonu UHPRFC.

Konstrukcja słupów w rejonie tarasów zewnętrznych została zwieńczona dźwigarami wspornikowymi w kształcie litery T, na których zamocowano ten sam rodzaj ażurowych paneli z betonu UHPRFC (fotografia 6). Oprócz funkcji konstrukcyjnej spełniają one rolę „żaluzji słonecznych”, przynosząc ulgę i cień zwiedzającym MuCEM.

Konstrukcja stropów wykonana została w postaci sprężonych dźwigarów dwuteowych o poszerzonej półce górnej, tworzącej gotową płytę stropową. W przestrzeni między dźwigarami ukryto instalacje oraz wszystkie systemy funkcjonalne obiektu muzeum. Duża rozpiętość umożliwiła autorowi budynku uzyskanie otwartych i wolnych przestrzeni do organizacji wystaw lub koncertów w amfiteatrze zlokalizowanym w obiekcie.

Podsumowanie

Technologia wytwarzania betonu stwarza duże możliwości kształtowania elementów prefabrykowanych, a bardzo dobre parametry wytrzymałościowe prefabrykatów pozwalają uzyskać oczekiwane przez użytkownika – architekta przestrzenie konstrukcyjne.



Fot. 5. Połączenie kolumn słupowych w wieńcu stropowym z kolejną kondygnacją



Fot. 6. Teowe dźwigary wspornikowe wraz z zadaszeniem panelami betonowymi

Elastyczne oprogramowanie do projektowania pozwala przekazywać dane do produkcji szalunków lub elementów prefabrykowanych bezpośrednio na urządzenia formujące. We współczesnych elementach prefabrykowanych można swobodnie umieścić wszystkie instalacje niezbędne do użytkowania obiektu. Powierzchnia elementu prefabrykowanego nie wymaga dodatkowych zabiegów kosmetycznych. Systemy połączeń umożliwiają przenoszenie wszystkich sił i naprężeń wynikających z projektu konstrukcji oraz stosowanie przyjaznych metod montażu. Na koniec można sobie zadać pytanie, czy to prefabrykat, czy gotowa do użycia część składowa obiektu.... – urządzenie z betonu.

Przyjęto do druku: 20.11.2017 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

