



foto: Archiwum

Beton – twardy sojusznik

Choć w polskich firmach budowlanych nadal pokutuje pogląd, że sięganie projektantów po elementy wykonane z betonu architektonicznego przysparzają inżynierom wyłącznie siwych włosów, kolejne śmiałe polskie realizacje, takie jak nowy gmach Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie, dowodzą niezbicie, że trud włożony w ich przygotowanie może się opłacić.

Każdy budynek wymaga od architekta doboru odpowiednich materiałów, których wybór pozostaje zawsze pochodną wielu uwarunkowań. Najczęściej jednak decyduje o tym kontekst, funkcja, forma oraz efekt, jaki chce uzyskać architekt. Wybór betonu jako materiału wykończeniowego, bardziej niż w przypadku innych materiałów, powinien być

świadomą decyzją. O odpowiedni efekt trzeba będzie bowiem zadbać już na etapie projektowym. Niestety, nie zawsze tak jest. Zdarza się, że wszelkie dylematy rozstrzygane są w pośpiechu dopiero na placu budowy. Pomimo znacznego rozwoju technologii związanych z obróbką betonu, pozostał on nadal materiałem wymagającym dużego zrozumienia, które następuje wraz z kolejnymi realizacjami. W przypadku elementów z betonu architektonicznego, tym bardziej tych wylewanych na mokro na placu budowy, błędów nie da się uniknąć. Jednak dzięki zaangażowaniu wszystkich stron uczestniczących w procesie powstania budynku, można ograniczyć to ryzyko do minimum.

Liczą się dobre podstawy

W przypadku głównego gmachu Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie to przede wszystkim geometria budynku przesądziła o zastosowaniu do jego budowy betonu architektonicznego. To z kolei pociągnęło za sobą szereg dalszych decyzji projektowych. Szukając inspiracji, architekci z berlińskiej pracowni Pysall.Ruge Architekten, współpracujący z krakowskim projektantem Bartłomiejem Kisielewskim, współwłaścicielem biura Horizon Studio, zwiedzali muzea lotnictwa w Europie i USA. Poszukując formy budynku, przycinali papier, zaginali brzegi podobnie jak w japońskiej zabawie origami. Powstało kilkadziesiąt modeli – aż pojawił się budynek przypominający swoim kształtem śmigło. Gmach służący ekspozycji prawdziwych samolotów musiał być jednak przyjazny zwiedzającym. Architekci połączyli więc zalety nowoczesnego dworca lotniczego i hangaru.

Na początek potrzebny był solidny fundament. Budynek posadowiono więc na płycie fundamentowej o rozmiarach 62,5 x 62,5 m. Jej wymiar odpowiadał wielkości stojącego na terenie muzeum



foto: Archiwum

historycznego hangaru z 1929 r. Płytę fundamentową – która powstała jako pierwszy element MLP – z uwagi na jej masowość wykonano z mieszanki opartej na niewielkiej ilości cementu hutniczego, charakteryzującego się niskim ciepłem hydratacji, oraz kruszywie dolomitowym do 31,5 mm. – Takie połączenie składników, wraz z przesunięciem czasu uzyskania przez beton wytrzymałości końcowej z normowego 28. dnia na 56. dzień dojrzewania, pozwoliło na wyprodukowanie mieszanki niskoskurczowej, a dzięki niej płyty betonowej wolnej od mikrospeką – tłumaczy Marcin Kurek, technolog betonu z firmy Cemex, dostarczającej dla firmy Budostal-2 mieszankę betonową do produkcji wszystkich betonowych elementów budynku.

Ze względu na wysokie temperatury powietrza w okresie, gdy realizowane były główne prace betonowe, a także długi czas transportu mieszanki betonowej na plac budowy, decyzję o zastosowaniu cementu hutniczego podjęto także przy realizacji ścian oraz stropów budynku. Użycie tego cementu pozwoliło na dłuższe utrzymanie właściwej konsystencji mieszanki betonowej, przez co możliwa była większa kontrola parametrów reologicznych mieszanki, a w konsekwencji uzyskanie jednorodnej kolorystyki oraz pożądanej gładkości elementów finalnych.

Na samym końcu realizacji wykonano posadzkę na zewnątrz budynku. – Posadzka to także ciekawe wyzwanie technologiczne, ponieważ oprócz podstawowych wymogów, jakie stawia się dla klasycznych betonów posadzkowych, mieszanka miała być barwiona na kolor antracytowy oraz dodatkowo napowietrzona, tak aby wytrzymywała wyspecyfikowaną dla niej ekspozycję środowiskową, związaną z naprzemiennym zamrażaniem oraz rozmrażaniem – tłumaczy Marcin Kurek.

Ryzyko można ograniczyć do minimum

Prawdziwym wyzwaniem okazało się wykonanie dziesięciometrowych ścian o stalowej konstrukcji i betonowym wykończeniu, pozaginanych tak jak wcześniej te w papierowym modelu. Architekci, w obawie przed błędami, większość szczegółowych wytycznych dotyczących wykonawstwa zawarli już w projekcie, nie pozostawiając wykonawcy miejsca na dowolność i przypadkowe działanie. Dotyczyło to zarówno określenia miejsc, w których na betonowej elewacji pojawiają się przerwy wykonawcze, jak i szerokości płyt szalunkowych czy stosowanych wkładek. – W przypadku elementów z betonu architektonicznego, tym bardziej tych wylewanych na mokro na placu budowy, błędów nie da się uniknąć. Jednak dzięki zaangażowaniu wszystkich stron uczestniczących w procesie powstania budynku można ograniczyć to ryzyko do minimum – podkreśla Bartłomiej Kisielewski.

Pomimo licznych zagrożeń związanych z wylewaniem olbrzymich betonowych ścian na mokro, gmach MLP niemal w całości wzniesiono z betonu architektonicznego (elementy prefabrykowane występują w nim marginalnie), i udało się osiągnąć doskonały efekt. Wewnątrz budynku prefabrykaty pojawiają się tylko jako biegi klatki schodowej, co – w opinii architektów – było rozwiązaniem najwłaściwszym z uwagi na ograniczenie przenoszenia drgań. Żelbetowe płyty, zanim umieszczono je na

spocznikach, zostały wytlumione gumowymi przekładkami absorbującymi mikrodrżania. Prefabrykowane elementy zastosowano również jako wykończenie dachu oraz attyki. W technologii betonu zbrojonego włóknem szklanym (GRC) wykonała je firma KRK Solutions z Małopolski. Takie rozwiązanie umożliwiło, po pierwsze, uzyskanie zwiększonej wytrzymałości betonu na zginanie, po drugie włókna rozproszone pozwoliły w znaczący sposób zmniejszyć grubość betonowych elementów do zaledwie 5 cm. W przypadku architektury MLP miało to duże znaczenie ze względu na samonośną konstrukcję dachu, której architekci nie chcieli dodatkowo obciążać. – Zastosowanie tradycyjnej siatki zbrojeniowej zwiększyłoby ciężar elementów i wymagałoby podparcia siatki przy wykonaniu prefabrykatów, a to z pewnością pozostawiłoby ślady na elementach. Tymczasem włókna szklane doskonale spełniają funkcję zbrojeniową, a wyeliminowanie stali pozwoliło na uzyskanie znacznie lżejszych, również wizualnie, form – wyjaśnia Marcin Kurek. Dla architektów oba te argumenty miały olbrzymie znaczenie. Projektanci od samego początku w sposób bardzo formalny podeszli bowiem do projektu bryły nowego muzeum. Wiedzieli, że obiekt będzie oglądany także z góry, dlatego w celu zachowania spójnej, betonowej struktury zdecydowali się na zastosowanie balastowej okładziny z płyt prefabrykowanych. Betonowe prefabrykaty pojawiły się także na attykach dachu, maskując elementy stalowej konstrukcji w postaci dwuteowych belek oczepowych.

– Wprawdzie na etapie projektowania wspólnie z konstruktorami z Arup rozważaliśmy możliwość obciążenia całej elewacji prefabrykatami, ostatecznie jednak nie zgodziliśmy się na to, ponieważ wszystkie trapezowe elewacje budynku, zamiast jednorodnej struktury, byłyby wówczas podzielone jak kartka w kratkę fugami o szerokości około jednego centymetra. Wyglądałoby to źle, a nasze założenie było jasne: zewnętrzna skorupa budynku ma być gładka i jednorodna. Oczywiście zdawaliśmy sobie sprawę z tego, że prefabrykat jest dużo dokładniejszy i wygodniejszy, szczególnie pod względem kontroli jakości. Zawsze istnieje wtedy możliwość, że w przypadku gdy nie spełnia on oczekiwań, można go po prostu nie przyjąć i zlecić do-



foto: Archiwum



foto: Archiwum



foto: Archiwum

starzenie nowych elementów. W przypadku betonu wylewanego na mokro nie da się tego zrobić, a efekt widoczny jest dopiero po rozszalowaniu – podkreśla architekt Bartłomiej Kisielewski. Kluczowym elementem całego założenia projektowego stało się więc sformułowanie przez projektantów szczegółowej specyfikacji technicznej budynku. Najtrudniejsze w ujęciu technologii okazało się jednak dobranie odpowiedniej mieszanki betonu na elewacji. Architektom zależało na uzyskaniu jednolitej antracytowej barwy, kontrastującej z jasnym, dolomitowym kruszywem, zaś technologom na ustaleniu odpowiednich parametrów reologicznych pozwalających na uzyskanie gładkiej powierzchni, niezależnie od panujących podczas realizacji warunków atmosferycznych. Ponownie, jak w przypadku płyty fundamentowej, kluczowe stało się opracowanie odpowiedniej mieszanki, która musiała uwzględniać również wymóg architektów związany z eliminacją nacięć przeciwskurczowych. Starannie dobrany skład miał ograniczyć do minimum zarówno ilość jak i wielkość mikrospektań na ścianach o szerokości 40 m i wysokości 10 m. Prócz ich wielkości oraz okrągłych otworów okiennych i nietypowych detali podwinieć ścian dodatkową trudność stanowiła zaledwie półtoracentymetrowa betonowa otulina zbrojenia (mocowanego na blasze trapezowej), którą należało dokładnie wypełnić. Dla uzyskania antracytowego koloru trzeba było skorzystać z barwnika. Z uwagi na elementy zbrojone szukano takiego, który będzie charakteryzował się niską zawartością chlorków. Ostatecznie wykorzystano pigment firmy LanXess spełniający wymagania normy PN-EN 12878:2007, dla barwników kategorii B. Choć nie należą one do tanich, to stanowiły aż 7 proc. masy spoiwa. Tak duża koncentracja barwnika pozwalała na zminimalizowanie ryzyka powstania przebarwień spowodowanych wahaniami wskaźnika wodno-cementowego. Ze względu na duże wymiary wylewanych elementów, ich skomplikowany kształt krzywizn i podwinieć, detal, a co najistotniejsze wysokie wymagania co do jakości samego betonu, zdecydowano się użyć mieszanek prawie samozagęszczalnych (ASCC) i samozagęszczalnych (SCC) z dodatkiem popiołów lotnych. – W przypadku betonu barwionego łatwiej jest uzyskać odpowiednią

gładkość, z uwagi na fakt, iż do mieszanki można użyć dodatku w postaci popiołów lotnych, których to z kolei nie należy stosować w betonie niebarwionym, ponieważ mogą spowodować pojawienie się smug i przebarwień na powierzchni elementów – wyjaśnia Marcin Kurek z firmy Cemex. Równie ważna jak dobór odpowiedniej mieszanki jest jakość szalunków oraz sposób ich ułożenia. Na dużej powierzchni precyzja jest bardzo istotna, a każdy błąd widać gołym okiem. Wszelkie nieszczelności powodują bowiem wyciek mleczka cementowego, co sprawia, że w miejscach, w których doszło do wycieku, beton ciemnieje, tworząc odbarwienia. Istnieje także inne zagrożenie. Jeżeli ubytek mleczka z barwnikiem i wodą będzie zbyt duży, w miejscu łączenia szalunków powstanie gniazdo żwirowe. Dochodzi do tego, gdy po wypłynięciu najdrobniejszych frakcji z mieszanki przy szalunku pozostają same kamienie. – Dobry szalunek to żaden hi-tech. Każdy sprawny cieśla jest w stanie właściwie go wykonać. Wymaga to tylko odpowiedniego nadzoru i uważnej pracy – podkreśla Kisielewski. Ze względu na zaledwie piętnastocentymetrową grubość ścian elewacyjnych nie było możliwości zastosowania wibratorów pograżalnych. – Wykorzystano więc wibratory mocowane do szalunku, udostępnione przez dostawcę deskowań, firmę Peri. Wymagało to jednak odpowiedniego rozstawienia urządzeń w pionie i w poziomie oraz ustalenia częstotliwości drgań – wyjaśnia Kurek.

Stwierdzić i wyeliminować słabe punkty

Realizacja wszystkich elementów betonowych w budynku MLP trwała blisko dwa lata. Nieoczekiwana okazała się współpraca projektantów z technologami betonu na wszystkich etapach prac projektowych i wykonawczych. W wielu przypadkach zwrócenie uwagi specjalistów na praktyczne aspekty podejmowanych decyzji pozwoliło na wprowadzenie zmian jeszcze na etapie powstawania projektu. W przypadku MLP zapisy dotyczące wykonania próbek betonu na dużych elementach zostały umieszczone w szczegółowej specyfikacji technicznej projektu. Dzięki temu wykonawca mógł wcześniej zaplanować etap prób, tak aby nie wpływały one na terminy realizacji inwestycji.



foto: Archiwum

Po pierwsze, makieta. Moduł testowy o wymiarach 4 m x 4 m musiał wiernie odpowiadać zaprojektowanym ścianom. Uwzględniono zatem stopień ich skomplikowania wraz ze wszystkimi najistotniejszymi detalami konstrukcyjno-elewacyjnymi, takimi jak gładka powierzchnia ze skośnymi krawędziami, zakończona łukiem i podwinięciami. Próby objęły zarówno sposób wibrowania jak i skład samej mieszanki. Sprawdzono, czy jej konsystencja pozwala na wypełnienie wszelkich, nawet najdrobniejszych szczelin oraz czy ilość spoiwa jest wystarczająca dla uzyskania pożądanej gładkości. W ten sposób upewniono się również, czy odcień betonu po jego zeszlifowaniu odpowiada kolorystyce okien i drzwi. Prędko okazało się, że jedna próba to za mało, aby uzyskać pożądane efekty. Proces powtarzano więc czterokrotnie, aż do uzyskania zadowalającego rezultatu. – Sytuacja uświadomiła wszystkim, jak ważna jest praktyczna weryfikacja pierwotnych założeń. Sam zdobyłem w ten sposób wiele doświadczenia i wiem dziś, że gdyby nie etap prób pozwalający w porę wychwycić i wyeliminować słabe punkty technologiczno-wykonawcze, nie udałoby się nam uniknąć wielu przykrych niespodzianek na etapie realizacji – podkreśla Marcin Kurek.

Początkowo niemałe zaskoczenie wykonawców wzbudził wymóg projektantów związany z wykonaniem ścian pomieszczeń technicznych w piwnicach budynku z betonu architektonicznego. – Z założenia miał to być poligon doświadczalny. Testowaliśmy tam skład mieszanki, jakość wykonawstwa i efekt kolorystyczny – zdradza Kisielewski. Pomimo testów przeprowadzonych na makiety oraz prób wykonanych w części podpiwniczenia budynku, w projekcie pojawił się jeszcze jeden zapis. Wykonawca miał rozpocząć prace na elewacjach z tyłu budynku, a zakończyć je na frontowych. – Zależało nam, aby na pierwszy ogień nie szły najbardziej eksponowane fasady. Mieliliśmy świadomość, że nie wszystko da się przetestować na mniejszych elementach. Równie ważny był początkowy etap realizacji pełnowymiarowych ścian. Wiedzieliśmy, że wykonawca także będzie nabierał doświadczenia wraz z powstawaniem kolejnych elewacji. I nie pomyliliśmy się. Te ostatnie, najważniejsze, od strony głównego wejścia do budynku wyszły zdecydowanie najlepiej – ocenia dziś Kisielewski. Zapewnienie wykonawcy czasu na przeprowadzenie odpowiedniej ilości prób i zarezerwowanie na to odpowiedniego budżetu to gwarancja jakości. Każdy budynek jest inny i wymaga innego podejścia. Terminy zawsze są napięte, ale przeprowadzenie testów jest kluczowe dla wyglądu elementów wykonywanych z betonu architektonicznego – podkreśla architekt. Obawa, że firma, która zdobędzie kontrakt na wykonanie obiektu lub też jej podwykonawca nie podejmie współpracy z technologiemi betonu, istnieje zawsze. Ostatnie słowo należy jednak do inwestora, który powinien egzekwować dotrzymanie odpowiednich standardów.

– Wykonywanie betonów architektonicznych jest zawsze pewnym problemem. Przede wszystkim dlatego, że już na etapie robót surowych należy pamiętać o wszelkich detalach. Kłopoty budowlane musi doskonale znać projekt, wchodząc na teren inwestycji, bowiem prace wymagają dużej rozwa-

gi i dobrej koordynacji. Wszystkie elementy na rzutach szalunkowych powinny być wyraźnie zaznaczone – podkreśla Marek Równicki z firmy Budostal-2, kierownik budowy Muzeum Lotnictwa Polskiego. – Ważne, aby architekt miał świadomość ograniczeń wynikających ze specyfiki danego materiału czy też dostępnych technologii. W przypadku tej inwestycji współpraca architekta z technologiem betonu była owocna, co widać po efektach. W Polsce tego typu przykładów roztropnej współpracy obu stron jest coraz więcej. W inwestycjach, z którymi ja się spotykam, za błędy odpowiada często są wręcz niemożliwe do dotrzymania, nie mówiąc już o czasie na przeprowadzenie odpowiedniej liczby prób. Problemem jest też brak norm dotyczących jakości betonu architektonicznego, co pozwala na dużą dowolność w ocenie, stwarzając nierzadko wiele problemów odbiorczych, ponieważ względy estetyczne mogą być różne – zauważa Równicki. – Dlatego bardzo ważne, aby w swoim projekcie architekt zawarł jak najwięcej wytycznych i szczegółowych wskazówek na temat elementów przewidzianych do wykonania z tego materiału – dodaje.

W potocznej opinii beton architektoniczny nadal kojarzony jest głównie z nierównymi powierzchniami i wyżłobieniami po szalunkach. Brutalizm w architekturze tylko utrwalił ten stereotyp. Dziś jednak świadomość dotycząca tego, czym jest beton architektoniczny, zmienia się. Za sprawą kolejnych śmiałych polskich realizacji architekci i wykonawcy dowodzą niezbicie, że trud włożony w ich przygotowanie może się opłacić. Obawy związane z geometrią i gabarytami betonowych elementów, przy wysokich wymaganiach dotyczących jakości ich wykonania postawionych w projekcie, stanowiły olbrzymie wyzwanie. Niewątpliwie jednak dla wszystkich zaangażowanych w powstawanie obiektu stron budowa ta miała aspekt doświadczalny. Z perspektywy czasu można jednak ocenić, że zarówno dla dostawcy betonu, ale także wykonawcy i samych architektów inwestycja stanowiła swego rodzaju kamień milowy, a wątpliwości, które pojawiały się na początku budowy, dziś nie stanowią już problemu.

Dawid Hajok



foto: Archiwum



foto: Archiwum



foto: Archiwum