



fol. Archiwum aubora

Betonowanie pod wodą w praktyce

Wymagania techniczne i logistyczne na przykładzie betonowego korka pod fundament budynku Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku

W maju 2014 roku zakończył się jeden z kolejnych etapów budowy Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku. Skomplikowane i nietypowe zadanie polegało na wybetonowaniu dna wykopu pod fundament muzeum i utworzeniu tzw. „korka” w celu odcięcia wód gruntowych od podłoża, ustabilizowania gruntu oraz zabezpieczenia fundamentów przyszłego budynku, który ma zajmować powierzchnię około 23 tys. m².

W ramach ogłoszonego przetargu wybrano firmę Lafarge (obecnie LafargeHolcim) jako jedyne go dostawcę mieszanki betonowej do wykonania tego zadania. Betonowanie, które trwało 10 dni, 24 godziny na dobę, było największym betonowaniem zrealizowanym pod wodą w Polsce i jednym z największych w Europie. Mieszanka produkowana była w pięciu wytwórniach betonu Lafarge oraz w dwóch wytwórniach rezerwowych. 25 tys. m³ mieszanki betonowej klasy C 30/37 transportowane było na budowę z zaangażowaniem 50 betonowozów, a następnie przy pomocy trzech pomp

i dwóch podajników do betonowania. Mieszanka podawana była na głębokość 15 m poniżej lustra wody. Grubość warstwy wylanego betonu wynosiła od 1,5 do 2,5 metra.

Wymagania jakościowe i ilościowe odnośnie składników do betonów podwodnych nie są sprecyzowane w żadnych normach europejskich. Bardziej szczegółowe wytyczne co do składników betonu oraz właściwości reologicznych mieszanek do betonowania podwodnego można znaleźć w instrukcjach amerykańskich i japońskich. Jednym z podstawowych wymagań betonowania w wodzie jest niedopuszczenie do przenikania wody w mieszankę betonową oraz do wyfłukania z mieszanki cementu. Według wytycznych amerykańskich straty wyfłukania mieszanki nie powinny przekraczać 12% masy całkowitej dla betonów zwykłych i 8% dla betonów wysokowartościowych. Dlatego istotą wszystkich technik betonowania podwodnego jest minimalizowanie kontaktu mieszanki z wodą w czasie podawania jej w wodzie i układania na dnie. Informacje zawarte w instrukcjach określają,



fol. Gregorz Urbanowicz



fol. Archiwum aubora



fol. Archiwum aubora



fol. Archiwum aubora

że niezależnie od metody betonowania podwodnego należy stosować cementy z dodatkami o opóźnionym początku wiązania. Zalecane jest stosowanie cementów rodzaju: CEM IV, CEM II i CEM III. Cement powinien być odporny na agresję chemiczną środowiska, które będzie otaczało beton. Co do rodzaju zastosowanego kruszywa instrukcje pozostawiają dowolność ze względu na lokalną dostępność, jednak lepszą urabialność i płynność mają mieszanki z kruszywem o ciągłej krzywej przesiewu i o właściwym kształcie ziaren. Do wypełnienia przestrzeni między ziarnami grubego kruszywa powinien być stosowany piasek krzemionkowy płukany. Beton układany pod wodą różni się od układanego na lądzie ze względu na utrudniony proces odpowiedniego zagęszczenia, dlatego wymaga się, aby mieszanka betonowa układana pod wodą cechowała się:

- dobrą urabialnością, odpowiednią ciekłością i zagęszczeniem pod ciężarem własnym
- odpornością na segregację i rozmywanie
- gęstością ograniczającą przenikanie w mieszankę czynników agresywnych
- osiągnęła projektowaną wytrzymałość po stwardnieniu.

Mając na uwadze opisane wytyczne do realizacji „korka” w Gdańsku użyto:

- 7000 ton cementu CEM IV/B(V) 32,5 R-LH/NA z Cementowni Kujawy
- 3000 ton popiołu lotnego krzemionkowego

– ponad 50 000 ton kruszywa z kopalni Ostrowite. Mieszanka betonowa przy betonowaniu „korka” podawana była 15 m poniżej lustra wody metodą kontraktor, czyli betonowania grawitacyjnego przez rurę wlewową, co jest najbardziej rozpowszechnioną metodą betonowania podwodnego. Stosuje się w niej długą rurę wlewową, doprowadzoną do dna wykopu. Zadaniem rury wlewowej jest zapobieganie rozplukaniu, segregacji i zanieczyszczeniu mieszanki betonowej w czasie doprowadzania jej do dna wykopu oraz zapewnienie ciągłości dopływu świeżej mieszanki do wnętrza tej już ułożonej w wykopie. Istotą tej metody betonowania jest zapewnienie ruchu mieszanki betonowej w rurze wlewowej z właściwą prędkością, w warunkach naczyń połączonych. Zmiana zagłębienia rury w mieszance zmienia wartość oporu napotykanego przez świeżą mieszankę przy wyptywaniu jej z rury. Umożliwia to regulowanie prędkości ruchu mieszanki w rurze i szybkości betonowania.

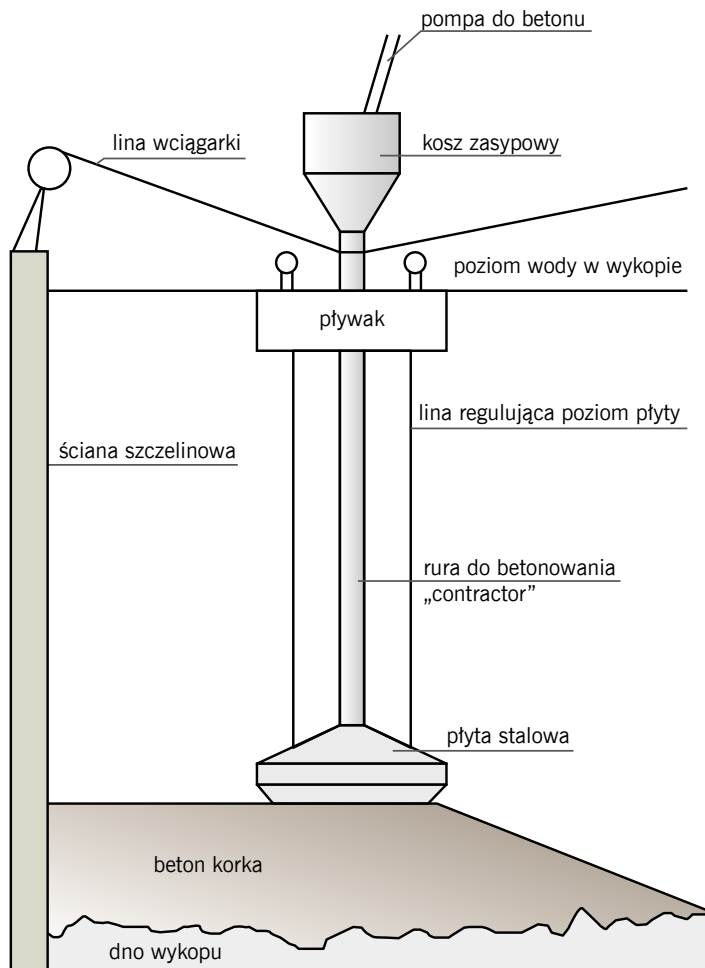
Rozpoczynanie betonowania polega na umieszczeniu w rurze wlewowej korka i wlaniu w nią mieszanki. Korek oddziela pierwszą porcję mieszanki betonowej od wody znajdującej się w rurze i przez to chroni mieszankę przed segregacją i rozmyciem. Pod ciężarem mieszanki korek obniża się, wypychając z rury wodę. Jeżeli koniec rury znajduje się nieco nad dnem, wtedy korek wypada z rury, a następnie zaczyna wyptywać z niej mieszanka, z której formuje się bryła wokół spodu rury. Przeciwdziała ona



fol. Archiwum aubora



fol. Archiwum aubora



Rys. 1. Schemat podajnika do betonowania podwodnego

Podsumowanie betonowania „korka” w liczbach:

Dostarczona ilość betonu 25 000 m³

Wydajność 200 m³/h

Betonowanie ciągłe przez 10 dni

Mieszanka dostarczana z 5 zakładów

50 betonomieszarek wykonało prawie 4 tys. kursów

Wykonano 624 oznaczenia konsystencji i pobrano 324 próbki betonowe

Zużyto 7000 ton cementu, 3000 ton popiołu lotnego i ponad 50 000 ton kruszywa

napłynięciu w rurę wody, co powoduje segregację mieszanki w rurze i wypukanie cementu. Wlewanie mieszanki betonowej w rurę powinno przebiegać bez długich przerw, a rura powinna być podciągana w miarę postępu betonowania. Metoda betonowania grawitacyjnego przez rurę wlewową nadaje się do układania mieszanki pod wodą lub zawieszina, gdy grubość formowanej warstwy betonu wynosi co najmniej 1 m. Promień rozprzeczania mieszanki wokół rury wynosi około 2,5 m. Przykładowy schemat podajnika „dobera” przedstawia rys. 1

W czasie betonowania bardzo istotną rolę odgrywała ciągła kontrola dostarczanych na bieżąco surowców oraz właściwości mieszanki betonowej. Pożądane właściwości betonu „korka” układanego pod wodą wymusiły wprowadzenie specjalnych zasad kontroli, które obejmowały wszystkie etapy procesu technologicznego. Kontrola jakości mieszanki betonowej



fol. Archiwum autora

odbywała się zarówno w wytwórni jak i na budowie. Polegała na sprawdzeniu konsystencji, temperatury i gęstości pozornej oraz zawartości powietrza w mieszance betonowej. Zawartość powietrza była kontrolowana, aby nie doprowadzić do obniżenia wytrzymałości betonu z powodu niewłaściwego napowietrzenia. Próbki były pobierane na wytwórniach i na budowie co 50 m³. Konsystencję sprawdzono łącznie ok. 4 tys. razy. Próbki przechowywane były w wodzie, zanurzone w specjalnie przygotowanym do tego celu pojemniku na budowie oraz w laboratorium w warunkach normowych. Wymagania oraz specyfika betonowania podwodnego wymagała zastosowania innej niż w przypadku zwykłych betonów metodyki badań właściwości mieszanki betonowej jak i stwardniałego betonu przeznaczonego do wykonania „korka”. Już na etapie projektowania mieszanki starano się uwzględnić jak największą liczbę czynników mających wpływ na jakość mieszanki betonowej i betonu, takich jak:

- czas transportu i układania mieszanki betonowej z uwzględnieniem ewentualnego wystąpienia awarii sprzętu
- występujące zmienne warunki atmosferyczne (wahania temperatur w ciągu dnia i w nocy)
- temperatura i ciśnienie wody.

Zebranie informacji na temat wytycznych dotyczących projektowania mieszanki, rodzaju surowców możliwych do wykorzystania przy realizacji betonowania podwodnego oraz restrykcyjne przestrzeganie określonych zasad produkcji, transportu i podawania mieszanki pozwoliły na osiągnięcie następujących parametrów: gęstość mieszanki – 2,325 kg/dm³, stopień wymywania zaczynu – 3,9-4,7%, wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach – 45 MPa, wytrzymałość na rozciąganie przy zgięciu po 28 dniach 4,0-4,5 MPa.

Daniel Owsiak, Marzena Kurpińska Lafarge Kruszywa i Beton Sp. z o.o.



fol. Archiwum autora