

Betonowanie podwodne – na przykładzie „Korka betonowego” pod Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku

UNDERWATER CONCRETING - FOR EXAMPLE, „CONCRETE STOPPER” ON
THE WORLD WAR II MUSEUM IN GDANSK

Streszczenie

Współcześnie coraz częściej można spotkać podwodne konstrukcje betonowe, które są wykonywane nawet na głębokościach dochodzących do 1000 m poniżej lustra wody. Świadczy to o poziomie opanowania technik betonowania podwodnego, która umożliwia wykonywanie konstrukcji zdolnych do przenoszenia ciśnienia otaczającego je ośrodka, wynoszące nawet kilka MPa. Można zatem sądzić, że beton ułożony pod wodą w warunkach budownictwa lądowego, czyli na głębokościach nie przekraczających 30 m, będzie miał dobrą jakość, nie różniącą się od jakości betonu ułożonego poza wodą.

W referacie autorzy przedstawili praktyczne uwagi dotyczące określenia parametrów i zaprojektowania składu mieszanki betonowej oraz sposobu jej wbudowania podczas betonowania podwodnego na przykładzie wykonania „korka” pod fundament budynku Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku. Szczególną uwagę zwrócono na stosowane cementy, domieszki, dodatki mineralne oraz wyzwania technologiczne i logistyczne przy tak dużym przedsięwzięciu. Kontrolę nad projektowaniem i zapewnieniem prawidłowej jakości produkowanej mieszanki sprawowali Technolodzy firmy LAFARGE dostawcy 25 000 m³ betonu na tę inwestycję. Betonowanie trwało 10 dni, 24 godziny na dobę, a mieszanka podawana była na głębokość 16 metrów poniżej lustra wody w technologii metody kontraktor. Było to największe betonowanie pod wodą w Polsce i jedno z największych dotychczas w Europie.

Abstract

Nowadays, more and more often you can meet the underwater concrete structures that are performed at depths of up to 1000 m below the water. This demonstrates the level of mastery of techniques, underwater concreting, which allows you to perform structure capable of handling the pressure surrounding the resort, ranging up to several MPa. So we can believe that concrete placed under water in terms of civil engineering, ie, at depths not exceeding 30 m, will have a good quality, not differing from the quality of the concrete laid out of the water.

In this paper the authors present practical comments concerning the determination of the parameters and design of the composition of the concrete mix and how it is incorporated during the underwater concreting on the embodiment of the „plug” the foundation of the Museum of World War II in Gdansk. Particular attention was paid to the used cement, additives, mineral additives and technological and logistical challenges with such a large project. Control over the design and ensuring proper quality of produced mixture exercised Technologists company LAFARGE suppliers 25 000 m³ of concrete for this investment. Concreting lasted 10 days, 24 hours a day and the mix was fed to a depth of 16 meters below the water technology methods contractor. This was the largest concrete under water in Poland and one of the largest studies ever in Europe.

1. Wstęp

W dniu 12 lipca 2011 roku na terenie byłej zajezdni przy ulicy Wałowej rozpoczęły się prace przygotowawcze na obszarze przeznaczonym na siedzibę Muzeum II Wojny Światowej. Budynek Muzeum ma zajmować powierzchnię około 23 tysięcy m². Na wystawę główną przeznaczono obszar około 5 tysięcy m², co uczyni ją jedną z największych wystaw prezentowanych przez muzea historyczne na świecie. W nowoczesny sposób ma ona prezentować II wojnę światową zarówno z perspektywy ówczesnej wielkiej polityki i przede wszystkim – przeżyć zwykłych ludzi [1].

Prace budowlane zostały podzielone na kilka etapów a ich zakończenie i otwarcie Muzeum planowane jest na przełomie 2016 i 2017 roku.

Jednym z kluczowych etapów budowy było wybetonowanie dna wykopu pod fundament tworząc tzw. „Korek betonowy” w celu odcięcia wód gruntowych od podłoża, ustabilizowanie gruntu oraz zabezpieczenie fundamentów przyszłego budynku. Generalny wykonawca projektu którym była firma Soletanche Polska, w ramach ogłoszonego przetargu wybrała firmę LafargeHolcim jako jedyne go dostawcę mieszanki betonowej do wykonania tego zadania. Betonowanie które trwało 10 dni, 24 godziny na dobę było największym betonowaniem pod wodą w Polsce. Firma LafargeHolcim na budowę korka dostarczyła ponad 25 tys. m³ mieszanki betonowej, która przy pomocy dwóch podajników podawana była 15 metrów pod wodę.



Fot. 1. Wizualizacja Muzeum II Wojny Światowej [2]

2. Wymagania Specyfikacji Technicznej

2.1. Wymagania materiałowe

Szczegółowe wymagania dotyczące parametrów mieszanki betonowej oraz betonu stwardniałego do „Korka betonowego” zawarte zostały w dokumencie „Specyfikacja techniczna

wykonania korka betonowego” zawierająca szczegóły dotyczące prac związanych z wykonaniem „Korka betonowego” stanowiącego poziomą przesłonę zapewniającą wraz z ścianami szczelinowymi szczelne odizolowanie suchego wykopu.

W tabeli 1 umieszczono wymagania dla mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu:

Tabela 1. Wymagania dot. mieszanki oraz stwardniałego betonu

Przeznaczenie betonu	Beton do wykonania „Korka betonowego”
Klasa wytrzymałości	C30/37
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	$\geq 3,5$ MPa ¹⁾
Klasa konsystencji mieszanki betonowej	S5
D _{max}	16 mm
Klasa zawartości jonów chlorkowych	Cl 0,4
Stopień wymywania zaczynu	$\leq 8\%$ ²⁾
Zdolność samozagęszczania	-----

¹⁾ Wytrzymałość oznaczona po 21 dniach.

²⁾ Parametry deklarowane według ASTM

Biorąc pod uwagę specyfikę i nietypowość zadania zaprojektowano mieszankę betonową, która charakteryzowała się odpowiednim utrzymaniem konsystencji oraz odpowiednim początkiem czasu wiązania tak, aby zapewnić scalenie kolejnych warstw układanego pod wodą betonu.

3. Etapy realizacji projektu, zastosowane materiały oraz technologia wykonania

3.1. Etapy realizacji

Realizacja projektu obejmowała następujące etapy:

- Zaprojektowanie składu mieszanki betonowej i dobór odpowiednich surowców.
- Wykonanie testów laboratoryjnych i produkcyjnych przygotowanych składów mieszank betonowych.
- Wykonanie badania odporności na wymywanie zaczynu z mieszanki.
- Zaakceptowanie składu mieszanki betonowej przez zamawiającego.
- Betonowanie korka.

3.2. Materiały

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. Informacje zawarte w instrukcjach określają, że niezależnie od metody betonowania podwodnego należy stosować cementy z dodatkami o opóźnionym początku wiązania. Wskazane jest stosowanie cementu CEM IV, CEM II i CEM III. Cement powinien być odporny na agre-

sję 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. 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,
- lekkością ograniczającą przenikanie w mieszankę czynników agresywnych,
- projektowaną wytrzymałość po stwardnieniu.

Przykładowy skład mieszanki do betonowania podwodnego podano w tabeli 2.

Tabela 2. Skład mieszanki do betonowania podwodnego

Składnik	Ilość [kg/m ³]
Cement	CEM IV/B(V) 32,5 R-LH/NA
Popiół lotny krzemionkowy	80
Kruszywa 0-2; 2-8; 8-16 (łącznie)	1850
W/C	0,47
Domieszka uplastyczniająca	2,5
Domieszka upłynniająca	2,0
Domieszka opóźniająca	0-1,0

Już na etapie projektowania mieszanki starano się uwzględnić jak najwięcej 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.

3.3. Sprawdzenie odporności na wymywanie zaczynu z mieszanki betonowej

Jednym z podstawowych wymagań betonowania w wodzie jest niedopuszczenie do przenikania wody w mieszankę betonową oraz do wypłukania z mieszanki cementu. Według wytycznych amerykańskich straty wypłukania 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.

Procedura odporności na wymywanie zaczynu z świeżej mieszanki betonowej w kontakcie z wodą wg. ASTM CRD-C 61-89A

Aparatura badawcza:

- Tuba – wykonana z przezroczystego tworzywa sztucznego rura o wymiarach (fot. 2):

- Średnica wewnętrzna – $190 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- Średnica zewnętrzna – $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- Wysokość – $2000 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- Cylindryczny pojemnik z pokrywą wykonany z perforowanej blachy grubość 1,4 mm, z okrągłymi otworami o średnicy 3 mm i odległości sąsiednimi otworami 5 mm (fot. 3).
- Pręt stalowy
- Lina o długości 2,1–2,5m
- Waga



Fot. 2. Tuba do badania [zdjęcie autora]



Fot. 3. Pojemnik cylindryczny [zdjęcie autora]

Procedura badawcza.

- Tubę uzupełnić wodą do wysokości $1700 \pm 5 \text{ mm}$.
- Określić masę pojemnika odbiorczego.
- Umieścić próbkę świeżego betonu, o masie ok. 2000 g i zagęścić przy pomocy pręta (10 uderzeń).
- Oczyszczyć wytłoczoną ilość betonu na zewnątrz pojemnika, a następnie określić masę pojemnika z mieszanką.
- Umieścić pojemnik w tubie do momentu styku z wodą, a następnie opuścić go na dno tuby i wyciągnąć w czasie 15 s.
- Zważyć masę pojemnika. Powtórzyć badanie 3-krotnie.

Wymywanie wyrażamy jako procent masy początkowej z próbki, obliczając go z wzoru:

$$D = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

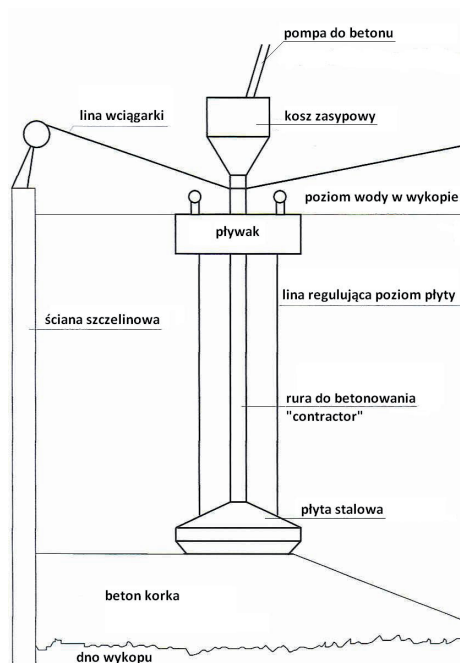
gdzie: D – % wymywania
 M_i – masa próbki przed pierwszym testem
 M_f – masa próbki po każdym badaniu

Dla zaprojektowanego składu mieszanki betonowej w trakcie kilku badań otrzymano wyniki od 3,9 – 5,5 % ubytku masy.

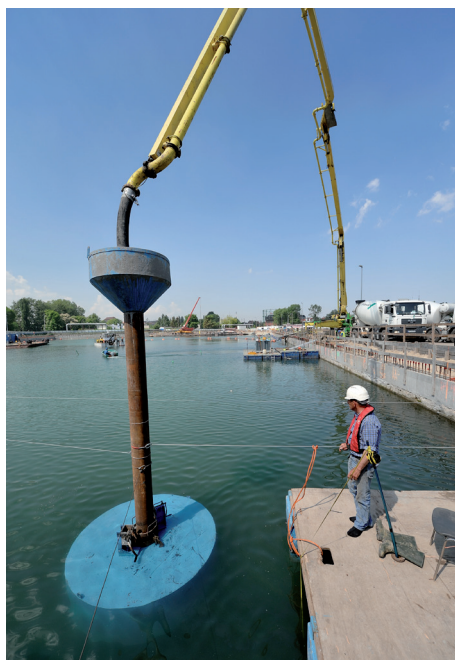
3.4. Technologia betonowania

Mieszanka betonowa przy betonowaniu „korka” podawana była 15 m pod wodą przy pomocy metody kontraktor czyli betonowania grawitacyjnego przez rurę wlewową, co jest najbardziej rozpowszechnioną metodą betonowania podwodnego. Stосуje 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 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 mieszanką przy jej wypływanu z rury. Umożliwia to regulowanie prędkości ruchu mieszanki w rurze i intensywności 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 wypływać z niej mieszanka, z której formuje się bryła wokół spodu rury. Przeciwdziała ona napłynięciu w rurę wody, co powoduje segregację mieszanki w rurze i wypłukanie 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 i zawiesiną, gdy grubość formowanej warstwy betonu wynosi co najmniej 1 m. Promień rozpliwania mieszanki wokół rury wynosi około 2,5 m. Przykładowy schemat podajnika „dobera” przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Dober do betonowania podwodnego



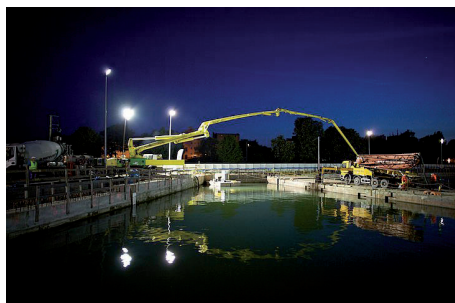
Fot. 4. Dober do betonowania podwodnego [zdjęcie autora]

3.5. Transport mieszanki betonowej

Bardzo ważnym aspektem podczas betonowania podwodnego jest odpowiednia organizacja produkcji i transportu mieszanki betonowej na budowę. Każda przerwa w dostawie betonu i każde odstępstwo od planu ruchu betonomieszarek zwiększa ryzyko rozpoczęcia wiązania betonu przed jego ułożeniem. Dlatego wymaga się, aby transport mieszanki był możliwie jak najkrótszy, a wszelkie zmiany warunków atmosferyczny wpływające na jakość dostarczanego betonu korygowane na bieżąco podczas produkcji. Brak regularności dostaw betonu może spowodować zatkanie się „doberów” i przestoje w betonowaniu.



Fot. 5. Dostawy betonu na budowę [zdjęcie autora]



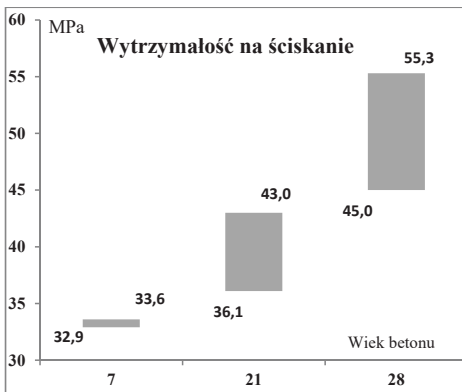
4. Kontrola jakości oraz wyniki badań

W czasie betonowania bardzo istotną rolę odgrywała ciągła kontrola dostarczanych na bieżąco surowców, jak i mieszanki betonowej. Pożądane właściwości betonu „korka” układanego pod wodą, pociągają za sobą specjalne zasady kontroli, które obejmują wszystkie elementy procesu technologicznego. Kontrola jakości mieszanki betonowej odbywa się zarówno w wytwórni, jak i na budowie. Sprawdzane są takie parametry jak: konsystencja, temperatura, gęstość oraz zawartości powietrza mieszanki betonowej. Zawartość powietrza sprawdzana była w celu kontroli niewłaściwego napowietrzenia mieszanki, co w rezultacie mogłoby doprowadzić do obniżenia wytrzymałości betonu.

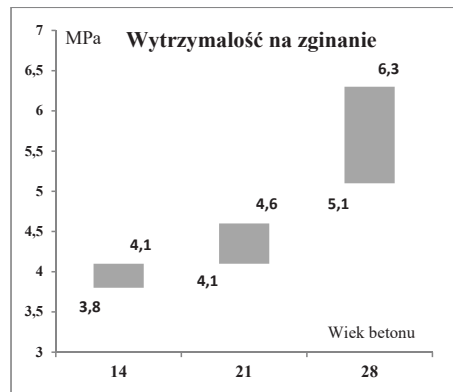
Tabela 3. Kontrola jakości mieszanki betonowej

Badany parametr	Metoda badawcza	Średnia z wyników	Zakres wyników
Konsystencja	Opad stożka wg PN-EN 12350-2	250 mm	210–270 mm
Zawartość powietrza	Metoda ciśnieniowa wg PN-EN 12350-7	2,2%	1,9–2,7%

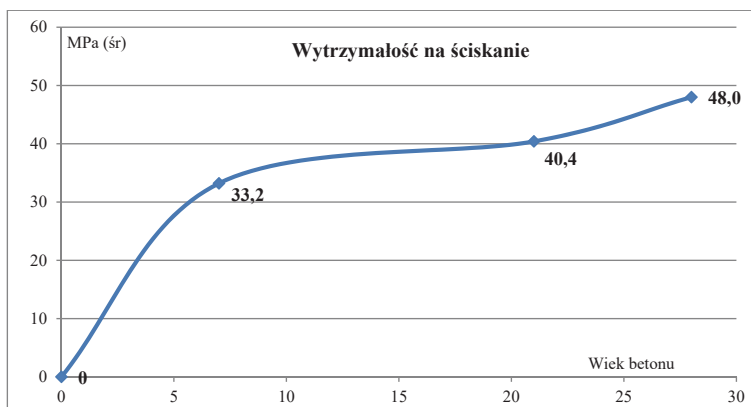
Podczas betonowania próbki pobierane były na wytwórniach i na budowie co 50 m³ a następnie przechowywane były w wodzie zanurzone w specjalnie przygotowanym do tego celu pojemniku na budowie oraz w laboratorium w warunkach normowych. Wymagania oraz specyfika betonowania podwodnego wymagała zastosowania innej niż w przypadku zwykłych betonów metodyki badań właściwości mieszanki betonowej jak i stwardniałego betonu przeznaczonego do wykonania „Korka betonowego”.



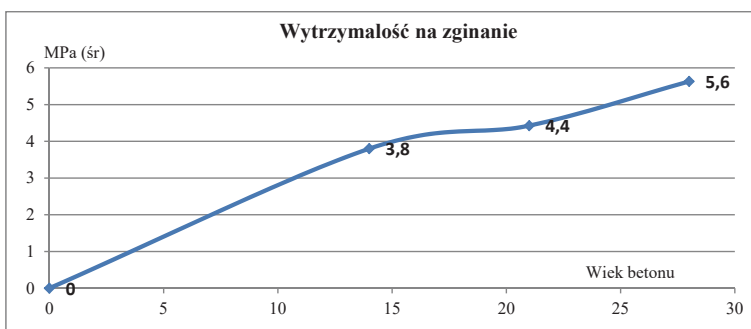
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie z wszystkich pobranych próbek



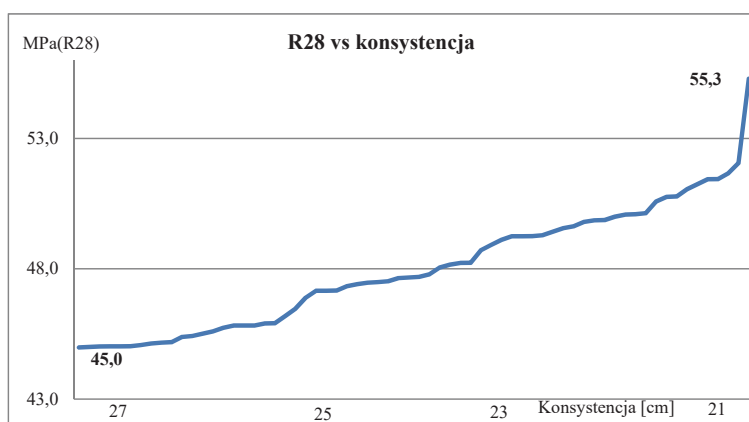
Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie z wszystkich pobranych próbek



Rys. 4. Rozwój wytrzymałości na ściskanie



Rys. 5. Rozwój wytrzymałości na zginanie



Rys. 6. Zależność wytrzymałości od konsystencji

5. Podsumowanie

Proces wylewania betonu pod wodą podczas wykonywania „Korka betonowego” pod Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku, był wyjątkowy pod wieloma względami. Było to pierwsze tak duże betonowanie podwodne w Polsce i wymagało ścisłej współpracy między wykonawcą, a producentem betonu już na etapie ofertowania i uzgadniania szczegółów realizacji. Brak krajowych doświadczeń w tego typu zadaniach wymagał zdobycia jak największej liczby informacji z podobnych realizacji na świecie i przełożenie ich na warunki lokalne. Odpowiednia organizacja i przygotowanie się do realizacji pozwoliło uniknąć problemów w produkcji, dostawie i układaniu mieszanki betonowej na dnie wykopu, 15 m poniżej lustra wody. Specjalnie przygotowany plan kontroli jakości surowców potrzebnych do produkcji mieszanki jak również szczegółowa kontrola jakościowa produkowanego betonu pozwoliły na dostarczanie mieszanki o stabilnych parametrach i zakładanych wymaganiach. Można więc twierdzić, że przy odpowiednim zaangażowaniu i współpracy w Polsce jesteśmy w stanie z sukcesem realizować betonowania podwodne.

Podsumowanie „Korka betonowego” 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 szt.** próbek betonowych

Zużyto **7000 ton** cementu, **3000 ton** popiołu i ponad **50000 ton** kruszyw



Fot. 6. Efekt końcowy [5]

Literatura

- [1] <http://trojmiasto.pl/Muzeum-II-Wojny-Swiatowej-o30774.html>
- [2] <http://www.muzeum1939.pl>
- [3] „Specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót dla zadania:
- [4] PN-EN 206-1: Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

- [5] <http://www.trojmiasto.pl/>.
- [6] PN-EN 12350-2: Badania mieszanki betonowej Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.
- [7] PN-EN 12350-7: Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe.
- [8] PN-EN 12390-3: Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- [9] ASTM CRD-C 61-89A "Test method for determining the resistance of freshllymixed concrete to washing out in water"