

Zastosowanie cementu CEM III/A na przykładzie realizacji pylonów w technologii ślizgowej bloku energetycznego EL. Jaworzno III

USE OF CEM III/A CEMENT FOR REALIZATION OF PYLONS OF
„JAWORZNO III” POWER UNIT IN SLIP-FORMING TECHNOLOGY

Streszczenie

Prowadzenie betonowania metodą „ślizgu” stawia przed wykonawcą i technologiem betonu wyzwanie w postaci doboru odpowiedniej mieszanki betonowej w zestawieniu z tempem prowadzonych prac oraz wznoszeniem szalunku. W większości przypadków prowadzenia betonowań w szalunkach ślizgowych do produkcji betonu używane są cementy typu „R” o szybkim przyroście wytrzymałości, które pozwalają na osiągnięcie odpowiednich wytrzymałości wczesnych, co bezpośrednio przekłada się na tempo wznoszenia szalunków i postęp prac.

Pylony komunikacyjne bloku 910 MW, który powstaje w Elektrowni Jaworzno III charakteryzują się wysokością 140 m oraz skomplikowanym przekrojem poprzecznym i grubościami ścian od 20 do 50 cm. Prace budowlane prowadzone były w okresie od lipca 2015 do stycznia 2016 r., co przełożyło się na znaczne różnice temperatury zewnętrznej na różnych etapach budowy. Z powodu gorącego lata do wytworzenia mieszanki betonowej zastosowany został cement hutniczy CEM III/A charakteryzujący się bardzo niskim ciepłem hydratacji. Receptury dobrane zostały w taki sposób by bez ryzyka przegrzania mieszanki szalunek ślizgowy mógł być wznoszony w odpowiednim tempie.

Poniższy referat przedstawia wytyczne, które umożliwiły prowadzenie prac na różnych wysokościach przy zmiennych warunkach atmosferycznych oraz zapewniając optymalne tempo wznoszenia pylonów.

Abstract

The concreting using the self-climbing formwork puts for the contractor and concrete technologist challenge of selecting the proper mix of concrete which is combination with the pace of the work and lifting the construction of the formwork. In most cases, concreting in slip forming technology, for concrete production are used cement types "R" on the fast increase of strength, which could achieve the appropriate strength early, which directly translates into a rate of climb formwork and work progress.

Communication Pylons in power unit Jaworzno III exceeding 140 meters height and characterized complicated cross section where wall thicknesses is from 20 to 50 cm. Construction works were carried out in the period from July 2015 to January 2016. During this period have occurred significant differences in outside temperature at various stages of construction. Because of the hot summer, to produce concrete mix, company used blast furnace cement CEM III / A ,which is characterized by a very low heat of hydration. The recipes have been selected in such a way, that without the risk of overheating the concrete mixture ,the self-climbing formwork could be lifted at an appropriate pace.

The following paper presents the guidelines, which enabled carrying out the work at different heights with changing weather conditions and to ensure the optimal rate of climb the pylons.

1. Wstęp

Technologia betonowania metodą ślizgu jest popularną metodą stosowaną do wznoszenia wysokich konstrukcji betonowych takich jak kominy, wieżowce czy silosy. Polega na dobraniu takiej mieszanki betonowej, która w krótkim czasie osiąga na tyle dużą wytrzymałość by możliwe było uniesienie w górę szalunku ślizgowego. Istotne jest zachowanie równowagi pomiędzy zdolnością szybkiego wiązania i urabialności. Beton musi być na tyle plastyczny, aby po zabudowaniu był zdolny do konsolidacji z poprzednią warstwą (przez zawibrowanie), a jednocześnie związać na tyle szybko, aby można było podnieść szalunki (ślizgiem), bez naruszania struktury betonu, który jednocześnie musi wytrzymać obciążenie nowej mieszanki. Najczęściej używanymi cementami do wznoszenia konstrukcji w technologii ślizgowej są cementy o szybkim przyroście wytrzymałości, jednak mając na uwadze czas budowy oraz czasochłonne prace uniemożliwiające szybkie wznoszenie zdecydowano się na rozwiązania pozwalające wydłużyć czas urabialności mieszanki oraz zmniejszyć wydzielane ciepło hydratacji.



Fot. 1.

2. Opracowywanie receptur

Ponieważ planowany czas na wybudowanie pylonów komunikacyjnych największej inwestycji Grupy TAURON przyjmowany był na około pół roku konieczne było przygotowanie rozwiązań recepturowych, które można by było zastosować w różnych, niejednokrotnie skrajnie niekorzystnych, warunkach atmosferycznych. Dodatkowym utrudnieniem były zmienne szerokości ścian (od 20 do 50 cm), mieszanka betonowa musiała się zachowywać w odpowiedni sposób zarówno w grubszych jak cieńszych przekrojach, co powodowało dodatkowe komplikacje. W Centralnym Laboratorium Betonu i Kruszyw Cemex mieszczącym się w Mysłowicach przygotowany został pakiet receptur betonu klasy C30/37

umożliwiający sprostanie temu zadaniu. Receptury zostały opracowane w oparciu o następujące składniki:

- Cement CEM I 42,5 R-NA CEMEX Zakład Cementownia Rudniki
- Cement CEM III/A 42.5 N-LH/HSR/NA CEMEX Zakład Cementownia Rudniki
- Popiół lotny EDF Rybnik
- Kruszywo żwir 2-8 oraz 8-16 CEMEX Zakład produkcyjny Bierawa
- Domieszki Isola Isoflow 755 oraz Isola BV CEMEX Admixtures

Z wyżej wymienionych składników powstało 9 podstawowych receptur różniących się między sobą przede wszystkim kombinacją spoiwa oraz domieszek. Receptury przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 1.

Receptura	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Materiał	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Piasek 0/2 mm	670	670	670	670	665	670	660	660	660
Żwir 2/8 mm	470	470	470	470	470	470	470	470	460
Żwir 8/16 mm	700	700	700	700	700	700	700	700	700
CEM I	300	320	350	300	300	290	210	90	0
CEM III							90	210	300
popiół	50	30	0	60	60	60	60	60	60
woda	155	155	155	155	155	155	155	155	155
domieszka	1,77	1,88	2,1	2,1	3,3	3,77	3,9	3,9	3,9

Wszystkie powyższe receptury spełniają wodoszczelność W4, jak również założenia normy PN-EN 206 w zakresie klas ekspozycji XC3 oraz XA1, które to były wskazane w projekcie.

3. Badania mieszanki betonowej

Dla każdej receptury wykonano następujące badania świeżej mieszanki betonowej:

- zachowanie konsystencji/urabialności w czasie badanie metodą opadu stożka w odstępach czasowych T0+5min, T0 + 30min, T0 + 1h., T0 + 1h.30, T0 + 2h;
- zawartość powietrza w betonie w odstępach czasowych T5, T0+1h.,
- temperatura mieszanki i powietrza w otoczeniu przy każdym badaniu konsystencji metodą opadu stożka T5, T0 + 30min, T0 + 1h., T0 + 1h.30, T0 + 2h;

Wizualna ocena mieszanki betonowej (wycieki mleczka cementowego, segregacja składników).

Dla stwardniałego betonu wykonano następujące badania:

Dla każdej receptury wykonano 16 próbek sześciennych o wymiarach 100x100x100 mm: 1x f_{c8h} , 3x f_{c12h} , 3x f_{c24h} , 3x f_{c27} , 3x f_{c28}

4. Wyniki badań

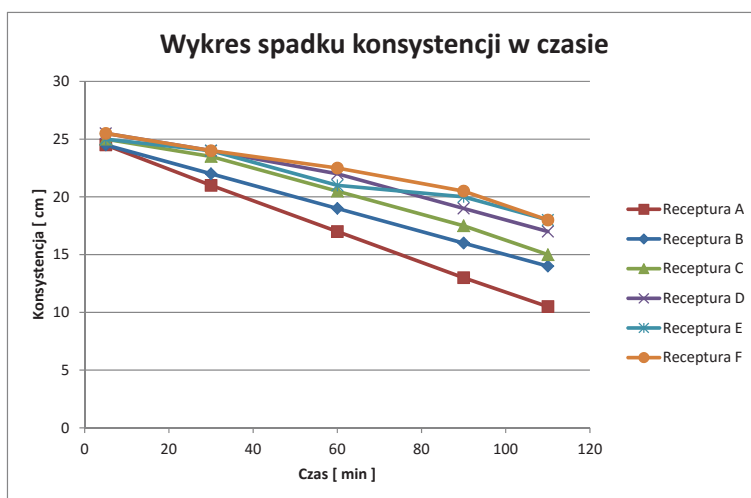
4.1. Reologia mieszanki

W tabeli 2 znajdują się wyniki konsystencji uzyskane podczas próbnych zarobów wykonywanych w laboratorium przy temperaturze zewnętrznej 20–22°C dotyczące receptur od A do F. Receptury od G do I poddano badaniom w warunkach temperatury wyższej średnio o 5°C, dodatkowo recepturę I przebadano w trzech zakresach temperatur .

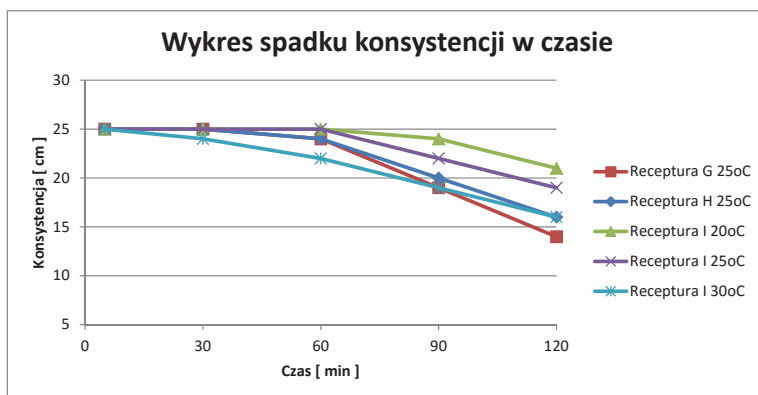
Tabela 2.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	I	I
Temperatura mieszanki		21,7°C	21,8°C	21,9°C	26,0°C	21,5°C	21,7°C	26,7°C	26,3°C	21,9°C	25,9°C	31,7°C
Temperatura powietrza		22,5°C	22,6°C	22,4°C	27,2°C	22,1°C	22,3°C	25,2°C	25,2°C	20,4°C	25,2°C	31,1°C
Konsystencja wg stożka Abramsa [cm]	5 min	24,5	24,5	25	25,5	25	25,5	25	25	25	25	25
	30 min	21	22	23,5	24	24	24	25	25	25	25	24
	60 min	17	19	20,5	22	21	22,5	24	24	25	25	22
	90 min	13	15	17,5	19	20	20,5	29	20	24	22	19
	110 min	10,5	14	15	17	18	18	14	16	21	19	16

Na poniższych wykresach przedstawiono zależność spadku konsystencji świeżej mieszanki betonowej od czasu.



Rys. 1.



Rys. 2.

4.2. Wytrzymałość

W poniższej tabeli przedstawiono wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu wykonywane zgodnie z normą PN-EN 12390-3 2011.

Tabela 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Początek twardnienia betonu	4h30'	4h	3,5h	5h30'	6h30'	8h	7,5 h	8,5 h	10 h
Koniec twardnienia betonu	5h30'	5h	4,5h	7h	8h30'	11h	9,5 h	11 h	12,5 h
fc 8 godzin	0,86	0,9	1	0,7	0	0	-	-	-
fc 12 godzin	1,63	1,93	2,14	1,5	0,67	0,5	-	-	-
fc 1 dzień = 24 godzin	14,9	15,4	16,4	14,7	12,1	10,4	9,2	7,5	5,8
fc 2 dni = 48 godzin	25,1	27,9	29,1	25,2	22,2	19,5	22,5	20,7	18,2
fc 7 dni = 168 godzin	39,7	40,3	41,2	39,5	38,8	37,5	35,7	32,2	29,7
fc 28dni = 672 godziny	46,7	47,8	48,3	46,4	46,7	45,6	45,2	44,6	42,3

5. Rozwiązania technologiczne w skrajnych warunkach

5.1. Transport mieszanki

Produkcja mieszanki betonowej na pylony elektrowni w Jaworznie, wykonywane w technologii ślizgu, odbywała się z dwóch Wytwórni Betonu Towarowego CEMEX Sp. z o.o. w Mysłowicach i Siemianowicach Śląskich. Czas załadunku mieszanki betonowej wynosi ok. 10 min. Natomiast czas transportu przy średnim natężeniu ruchu wynosił, w zależności od wytwórni na której mieszanka była produkowana – od 30 do 40 minut.

Zgodnie z założeniami recepturowymi czas utrzymania konsystencji mieszanki, a co za tym idzie jej wbudowania mieściła się od 90 do 180 minut (w zależności od temperatury). Zakładana konsystencja mieszanki na budowie mieściła się w zakresie S4 (160–210 mm) z odchyleniami zgodnymi z normą PN EN 206. Dopuszczalne było wbudowanie mieszanki betonowej w konsystencji S3 w przypadkach jednostkowych.

5.2 Zabiegi stosowane podczas upałów

Temperatura mieszanki nie powinna przekraczać 35°C, co stanowiło krytyczną wartość temperatury dla wbudowania mieszanek w elementy ścian pylonów. W przypadku gdy wartości temperatury mieszanki betonowej zbliżały się do wartości krytycznej stosowane były zalecenia dotyczące wbudowywania mieszanki w okresie wysokich temperatur.

Za warunki o podwyższonej temperaturze uznawane były okresy, w których temperatura otoczenia przekraczała 30°C. Dla takich warunków zgodnie z założeniami recepturowymi czas utrzymania konsystencji mieszanki, a co za tym idzie jej wbudowania mieścił się od 75 do 120 minut i w zależności od temperatury zewnętrznej wynosił:

- do 30°C – 120 minut
- 30–35°C – 90 minut
- powyżej 35°C – 75 minut

W celu obniżenia temperatury mieszanki, oprócz stosowania receptur na cemencie hutniczym wdrożone były następujące zabiegi w cyklu produkcyjnym:

- zraszanie kruszywa grubego na hałdzie,
- przehałdowanie i przemieszanie kruszywa w celu wyrównania temperatury powierzchniowej ziaren,
- utrzymywanie betonowozów przed załadunkiem w miejscu zacienionym,
- przed rozpoczęciem załadunku każdy betonowóz był zwilżany zimną wodą,
- podczas załadunku dodatkowo był schładzany zewnętrznie bęben betonowozarki

W celu utrzymania możliwie najniższej temperatury mieszanki na budowie stosowano takie zabiegi jak:

- możliwie jak najszybsze rozpoczęcie rozładunku,
- zastosowano chłodzenie wodą zewnętrznego płaszcza bębna betonowozarki (pozwoliło to na obniżenie temperatury betonu o około 2°C),
- stosowano chłodzenie kosza do podawania betonu poprzez przepłukiwanie zimną wodą,
- kosz, którym podawana była mieszanka betonowa został wyposażony w plandekę osłaniającą transportowaną mieszankę przed ubytkiem wilgoci w czasie podnoszenia go na wysokość rozładunku, plandeka miała również zadanie osłonięcia mieszanki przed nadmiernym nasłonecznieniem,
- w trakcie dużego nasłonecznienia, jak i wysokich temperatur płukanie kosza wykonywano jak najczęściej (przed każdym przyjazdem betonowozu).

Dodatkowym, koniecznym do bezpiecznego wbudowania betonu zabiegiem było obniżenie temperatury szalunków. Na drodze doświadczalnej można było dojść do wniosków, że nie należy wprowadzać betonu do szalunków, których temperatura przekracza 40°C, ze względu na niebezpieczeństwo niekontrolowanego zjawiska przesuszenia mieszanki, przyspieszenia procesu hydratacji, co w konsekwencji mogło doprowadzić do gwałtownego rozpoczęcia procesu wiązania betonu w strefie przypowierzchniowej. Takie temperatury powodują zwiększenie tempa przyrostu wytrzymałości wczesnej betonu oraz powodują zbyt szybkie odprowadzenie wody w powierzchni betonu co skutkuje jego przesuszeniem i w konsekwencji obniżeniem wytrzymałości docelowej. Kontakt

mieszanki betonowej z tak nagrzanym elementem, z punktu widzenia przebiegu procesu hydratacji cementu jest także niekorzystne i w konsekwencji może prowadzić do obniżenia parametrów mechanicznych takiego betonu. W przypadku szalunku ślizgowego może to doprowadzić do zjawiska wyrwania młodego betonu przez szalunek. W celu obniżenia temperatur panujących w okolicach szalunku pod powierzchnią pomostów roboczych zamontowane zostały klimatyzatory oraz dodatkowe kratki wentylacyjne co w konsekwencji pozwoliło na znaczne obniżenie temperatury szalunków, poprawiło to również komfort pracy robotników pracujących na pomostach.

5.3. Zabiegi stosowane w okresie obniżonych temperatur

W okresie jesienno-zimowym gdy średnia dobowa temperatur spadła poniżej 5°C stosowano szereg zabiegów zapobiegających przedwczesnemu wychłodzeniu betonu w szalunkach oraz zwiększeniu tempa przyrostu wytrzymałości m.in.:

- podgrzewanie kruszyw i wody dzięki czemu utrzymywano temperaturę mieszanki betonowej powyżej 13°C w zależności od temperatury otoczenia utrzymując jak najniższy gradient temperatury, unikając jednocześnie przegrzania składników mieszanki, aby nie doprowadzić do zbyt szybkiego wiązania co mogłoby niekorzystnie wpłynąć na rozwój wytrzymałości betonu, (utrzymywano temp. wody na poziomie 30-40°C, temp kruszyw na poziomie 10 – 20°C.)
- stosowano receptury o niższym w/c, na cemencie czystym – receptury A-E,
- w przypadku temperatur otoczenia poniżej -2°C stosowano recepturę „C”
- betonowozy ładowane były maksymalną możliwą ilością mieszanki betonowej co stwarzało mniejsze ryzyko wychłodzenia betonu

6. Wnioski

Wykonanie serii zarobów próbnych oraz opracowanie schematu postępowania i stosowanie szeregu zabiegów technologicznych w sytuacjach skrajnych pozwoliło na bezpieczne wznoszenie konstrukcji w technologii ślizgowej przez 24h 7 dni w tygodniu w okresie ekstremalnie wysokich temperatur lata 2015, gdzie średnia dobowa temperatur wynosiła na Śląsku ok. 22°C z maksymalnymi temperaturami dochodzącymi do 37°C w cieniu (był to najcieplejszy sierpień w Polsce od 1807 roku z anomalią temperatury wyliczoną w stosunku do wielolecia 1961-1990 równą +4.71K). Zakończenie budowy odbywało się zimą podczas panujących ujemnych temperatur dochodzących do -15°C w styczniu 2016 r., zatem największym utrudnieniem było stałe utrzymanie tempa wznoszenia szalunków mimo zmiennych warunków zewnętrznych. Głównymi recepturami używanymi podczas prowadzonych prac były: receptura E – stosowana jesień/zima oraz H – stosowana w lecie, każda z nich stosowana była do wzniesienia około 40% konstrukcji. Potwierdzono zatem słuszność stosowania receptur o obniżonym cieple hydratacji na cemencie CEM III do wznoszenia budowli o skomplikowanych przekrojach w technologii ślizgowej.

Literatura

- [1] Protokoły zarobów wykonanych w CLBiK Cemex Mysłowice
- [2] Dokumentacja projektowa Pylonów komunikacyjnych
- [3] Technologia betonowania Pylonów – opracowanie wspólne CEMEX Polska oraz biuro budowy
- [4] A.M. Neville, "Właściwości betonu", V edycja, 2012
- [5] <http://www.mojapogoda.com/wiadomosci-pogodowe/archiwum.html>
- [6] www.blok910.pl/Strony/blok910.aspx
- [7] <http://www.swiatbetonu.pl/realizacje/deskowania-slizgowe-na-budowie-silosow/>