



ft. Sebastian Kaszuba

Siedmiotysięczny masyw w Pątnowie

Od początku 2002 roku na terenie Elektrowni Pątnów, wchodzącej w skład Zespołu Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin, trwają intensywne prace przy budowie nowego, jednego z największych w kraju, bloku energetycznego o mocy 460 MW.

Wielka budowa – mała powierzchnia

Na tym chyba największym placu budowy w Polsce, a na pewno największym pod względem ilości wbudowanego betonu, prace związane z betonowaniem masywów rozpoczęły się w kwietniu 2002 roku. Wcześniej przeprowadzono prace wyburzeniowe jednego bloku energetycznego starej Elektrowni Pątnów oraz wykonano pale pod fundamenty. Obiekty nowego bloku energetycznego były zlokalizowane na stosunkowo małej powierzchni 100 x 120 m (rys. 1). Były to dwa fundamenty Fk1 i Fk1*, dwie bunkrownie, dwa pylony, serce bloku – maszynownia i centralnie usytuowana kotłownia (tab. 1). Charakterystyczne dla tej budowy było równoległe prowadzenie prac na wszyst-

kich obiektach i to przez 24 godziny na dobę. Dlatego też ze względu na ciągle zmieniającą się sytuację prace projektowe dotyczące organizacji robót na placu budowy musiały być wielokrotnie aktualizowane.

Betonowanie masywów rozpoczęło się 11 kwietnia od małych fundamentów Fk1 i Fk1* pod konstrukcje budynku kotłowni. Pod koniec kwietnia betonowano fundament bunkrowni nr 2, a zaraz po nim 29 i 30 kwietnia fundament pylonu nr 2. Na początku maja 7 i 8 wykonano bliźniaczy fundament pylonu nr 1 i bezpośrednio po nim 9 maja rozpoczęto betonowanie fundamentu kotła.

Założenia projektowe

Dostawcą mieszanki betonowej na wszystkie bloki fundamentowe były wytwórnie holdingu CGS Beton Polska, zaś dostawcą pomp SPB Polska. Najbliżej placu budowy zlokalizowane były następujące zakłady: BT Kalisz, BT Włocławek, BT Poznań – Suchy Las i Janikowo oraz lokalna wytwórnia firmy Kon-Bet w Koninie (tab. 2). Za jakość betonu z tej wytwórni odpowiadał także CGS Beton Polska. Przewidziano, że betonowanie będzie prowadzone z wydajnością 30 m³/godz. na jedną pompę, co sprawdzono podczas poprzednich betonowań. Założono ponadto maksymalny czas dowozu 2 godz., maksymalny czas połączenia starej warstwy betonu ze świeżą również 2 godz. oraz betonowanie warstwami ukośnymi o nachyleniu 1:5.

Rys. 1. Rzut fundamentów – plan sytuacyjny

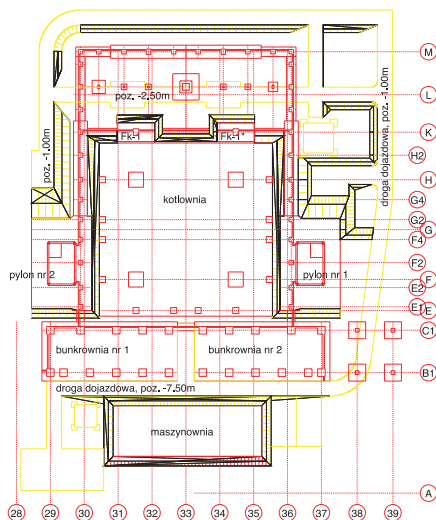


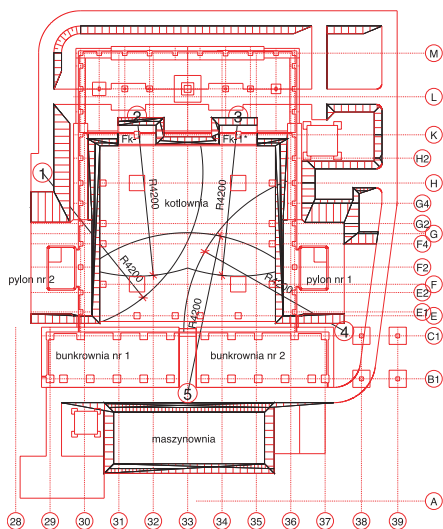
Tabela 1. Wymiary i kubatura fundamentów

Fundamet	Klasa betonu	Wymiary [m]	Kubatura [m ³]
Fk1 i Fk1*	B30	5,00x10,00x2,50	125
Bunkrownia nr 1 i nr 2	B30	15,75x36,00x1,80	1020
Pylon nr 1 i nr 2	B30	16,00x25,10x2,50	1004
Maszynownia	B25	14,00x39,84x3,00	1635
Kotłownia	B30	46,00x46,00x3,50	7406

Technologia i organizacja betonowania

Ciągle zmieniająca się sytuacja na budowie pozwoliła w końcu na ustalenie ostatecznego planu technologii zabudowy mieszanki betonowej. Zaplanowane wcześniej rozmieszczenie pomp, pochylenie warstwy układanej mieszanki betonowej oraz maksymalny czas połączenia starej warstwy ze świeżą uległy istotnym zmianom. Betonowanie postanowiono prowadzić równoległe z obu stron, od ściany przy fundamentach Fk1 i Fk1* w kierunku fundamentów bunkrowni i w przeciwnym kierunku, począwszy od ściany przy fundamentach bunkrowni. Z jednej strony pracowały pompy 1, 2 i 3, zaś z drugiej 4 i 5 (rys. 2).

Takie rozwiązanie wydłużyło czas połączenia starego betonu ze świeżym do maksymalnie 5 godz. Uznano, że dla przyjętego składu betonu jest to możliwe. Betonowanie fundamentu



Rys. 2. Fundament kotłowni – stanowiska pomp

kotła rozpoczęło się 9 maja o godz. 12. W ciągu pierwszych 30 godz. w wyniku różnych komplikacji technologicznych z założonej wydajności 150 m³/godz. zabudowywano średnio 90 m³/godz. Realnie większy okazał się też kąt pochylenia naturalnego rozptyłu mieszanki. Zwiększył się on do 1:7. Należy zaznaczyć, że był to pierwszy fundament betonowany warstwami ukośnymi, wcześniejsze fundamenty były betonowane warstwami poziomymi. Zdecydowanie mniejsza niż planowana wydajność i większe pochylenie skosu spowodowały wydłużenie czasu połączenia świeżego betonu ze starym do 6, a nawet do 6,5 godz. Najtrudniejsza sytuacja wystąpiła 10 maja w godzinach pomiędzy 11 a 17. Wysoka temperatura otoczenia (25 do 28°C) i operujące słońce powodowało szybszą utratę własności reologicznych mieszanki betonowej. Zalecono, aby nad polami roboczymi była utrzymywana bez przerwy mgiełka wodna. Zdecydowany wzrost wydajności nastąpił 10 maja około godz. 20 i dochodził w godzinach nocnych do 200 m³/godz. Odtąd też mieszanka betonowa dostarczana była przez 90 betonomieszarek. Beton był wibrowany wibratorami buławowymi o średnicy 60 mm i częstotliwości 100 Hz (po cztery wibratory na jedną pompę). Z zachowania się (pogrążania się) buławy wibrato-

Wytwórnia	Odległość od placu budowy, [km]	Wydajność [m ³ /godz.]	Czas obrotu betonomieszarki [godz.]
BT Kalisz	61	70	4,0
BT Włocławek	65	25	5,0
BT Poznań-Janikowo	89	55	5,0
BT Poznań-Suchy Las	95	100	5,1
Kon-Bet	5	30	1,5

ra można było ocenić, czy połączenie świeżego betonu ze starym jest jeszcze właściwe. Betonowanie tego największego fundamentu zakończono 11 maja po północy. Tak więc blok o objętości 7406 m³ zabudowano w niespełna 62 godziny.

Tabela 2. Zestawienie wytwórni betonu i ich parametrów technologicznych

Mieszanka betonowa

Podstawowe wymagania co do właściwości mieszanki betonowej przeznaczonej na tego typu obiekt to przede wszystkim czas jej przerobu – co najmniej 4 godz., czas zachowania konsystencji – co najmniej 2 godz., oraz – co najważniejsze – niskie ciepło hydratacji zastosowanego cementu i niski wskaźnik wodno-cementowy. Utrzymanie tych parametrów wraz z zachowaniem odpowiednich dla tak dużych masywów warunków pielęgnacji betonu eliminuje ryzyko powstania naprężeń będących głównym powodem powstawania rys. Po konsultacjach pomiędzy Katedrą Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej (KBB PŁ) pełniącą nadzór autorski, dostawcą betonu – CGS Beton Polska i firmą Addiment Polska ustalono, iż wymagana mieszanka klasy B30 o konsystencji 210 mm opadu stożka zaprojektowana zostanie między innymi z cementu CEM III/A 32,5NA z cementowni Strzelce Opolskie wraz z domieszkami BVT 99 i FM 34.

Skład betonu zaprojektowanego przez laboratorium Barg M. B. Poznań był następujący:

Żwir 16/31,5, „Wójcice”	409 kg
Żwir 8/16, „Rakowice”	358 kg
Żwir 2/8, „Rakowice”	427 kg
Piasek 0/2, „Halinów”-	663 kg
Cement CEM III/A 32,5NA-	300 kg
Popiół lotny, EC2 Karolin, Poznań	55 kg
Woda	155 kg
Plastyfikator BVT 99 (0,65% m.c.)	1,95 kg
Superplastyfikator FM 34 (0,8% m.c.)	2,40 kg

W celu sprawdzenia parametrów zaprojektowanej mieszanki w laboratorium KBB PŁ, w temperaturze 18°C wykonano zarób próbną. Uzyskane wyniki obrazuje tabela 3.

Po zakończeniu betonowania fundamentu kotła, w związku z przekroczonym czasem przerobu mieszanki, przeprowadzono test laboratoryjny. W jego trakcie sprawdzano konsystencję mieszanki i pobierano próbki do badań wytrzymałościowych.

Tabela 3. Parametry próbnej mieszanki betonowej

Parametr	Parametr badany po czasie...	Wartość parametru
Zawartość powietrza	2 godz.	2,2%
Konsystencja	15 min.	220 mm
	2 godz.	200 mm
Wytrzymałość na ściskanie $f_{c,cube}$	3 próbki po 15 min	$R_{c,15}$ 48 MPa
	3 próbki po 1 godz.	$R_{c,1h}$ 54 MPa
	3 próbki po 2 godz.	$R_{c,2h}$ 60 MPa

Tabela 4.
Konsystencja i wytrzymałość – badania laboratoryjne

Czas badania konsystencji i pobrania próbek	Konsystencja opad stożka [mm]	Średnia wytrzymałość $f_{c,cube}$ [MPa]
0h 30'	240	38,5
1h	240	39,5
1h 30'	230	42,0
2h	230	46,5
2h 30'	230	45,0
3h	230	47,5
3h 30'	230	49,0
4h	230	50,5
4h 30'	210	50,0
5h	130	50,0
5h 30'	50	50,0
6h	30	49,0

Tabela 5.
Podsumowanie wyników badań

Parametr	Liczba pomiarów	Wartość średnia parametru	Średnie odchylenie standardowe	Współcz. zmienności
Laboratorium KBB PŁ				
Konsystencja opad stożka	76	195 mm	41,30 mm	0,21
Temperatura	76	23,1°C	2,45°C	0,11
Skurcz	9	(po 90 dniach) 0,242‰	0,035‰	0,14
Wytrzymałość $f_{c,cube}$	76	51,1 MPa	7,94 MPa	0,15
Laboratorium Barg M.B. Poznań				
Wytrzymałość $f_{c,cube}$	147	50,3 MPa	6,01 MPa	0,12

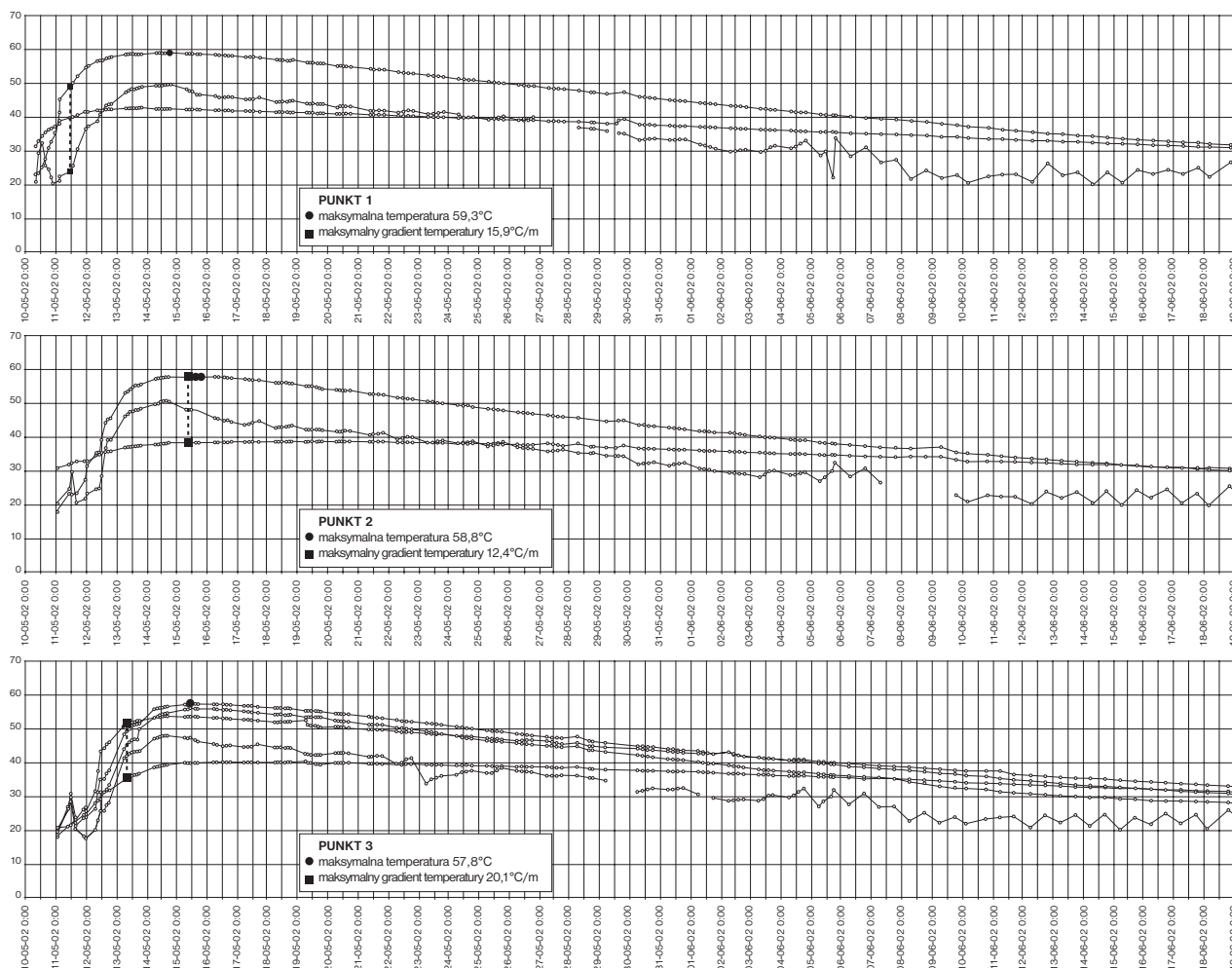
Test trwa 6 godzin. Temperatura mieszanki betonowej i otoczenia wynosiła 23°C. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 4.

Kontrola jakości betonu

Kontrolę jakości betonu na budowie prowadziły niezależnie dwa laboratoria – laboratorium Barg M.B. Poznań i laboratorium KBB PŁ. Pracownicy techniczni z obydwu tych laboratoriów z losowo wybranych betonmieszarek pobierali próbki betonu. Na placu budowy sprawdzano temperaturę i konsystencję mieszanki oraz pobierano próbki

ki do badań wytrzymałościowych. Laboratorium KBB PŁ pobierało dodatkowo próbki pryzmatyczne 100x100x500 mm do badania skurczu oraz prowadziło monitoring temperatury wewnątrz fundamentu. Próbki do badań wytrzymałościowych, jak i skurczu, były po rozformowaniu przechowywane w wodzie, w pierwszym okresie na placu budowy, a później w laboratorium. Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono po 28 dniach i od tego dnia prowadzono badania skurczu przechowując próbki w komorze klimatycznej w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$ i wilgotności

Rys. 4. Wykresy temperatury w fundamentie



względnej $50 \pm 2\%$. W laboratorium Barg M. B. Poznań otrzymano prawie takie same wyniki wytrzymałościowe (tab. 5).

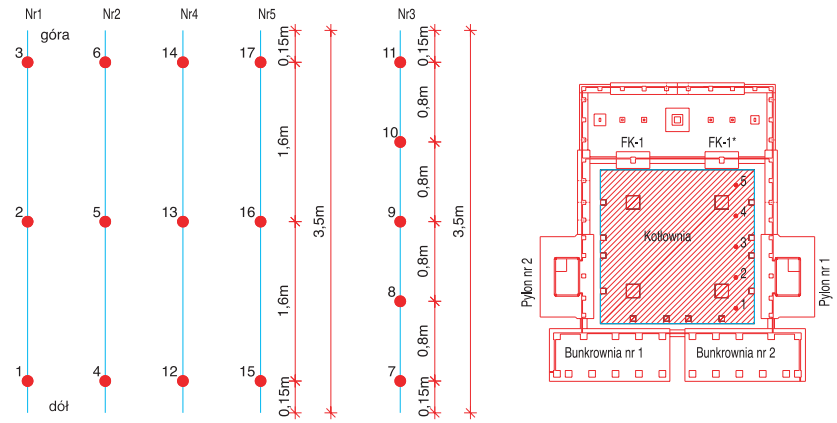
Pielęgnacja betonu

W miarę postępu prac wygładzono górną powierzchnię fundamentu i w zależności od warunków otoczenia (dzień, noc, zachmurzenie, wiatr lub pogoda bezwietrzna) przystępowano w odpowiednim czasie do jej spryskiwania wodą. Decyzję o podjęciu i intensywności zraszania podejmował nadzór autorski KBB PŁ. Zraszanie było kontynuowane aż do stwardnienia wierzchniej warstwy betonu, a następnie fundament był przykrywany płytami styropianowymi o grubości 20 mm i folią budowlaną. Mimo tych zabiegów fundament cały czas polewany był wodą.

Monitorig temperatury wewnątrz fundamentu

Metody, sposób oraz intensywność pielęgnacji masywów zależą nie tylko od warunków zewnętrznych, ale też od wielkości i rozkładu temperatury wewnątrz masywu. Temperatura rzędu 55°C nie jest niebezpieczna w masywnych konstrukcjach zbrojonych. Aby jednak nie dopuścić do powstania rys w takich konstrukcjach, należy tak sterować pielęgnacją, aby maksymalny gradient temperatury nie przekroczył $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Zalecany gradient nie powinien przekroczyć 15°C . Badanie rozkładu temperatury prowadzono za pomocą czujników półprzewodnikowych zamontowanych w wybranych miejscach fundamentu. Zastosowano czujniki firmy National Semiconductor typ LM35D o nieliniowości $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, czułości $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, dokładności $0,6^{\circ}\text{C}$ i zakresie od -55°C do $+155^{\circ}\text{C}$. Rozmieszczenie czujników pokazano na rys. 3.

Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresach rys. 4. i 5. Maksymalną temperaturę $59,6^{\circ}\text{C}$ zanotowano w punkcie 5 dnia 11 maja o godz. 18, czyli po 66 godz. od zakończenia betonowania. Maksymalny gradient temperatury $20,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$



Rys. 3. Monitoring temperatury – rozmieszczenie czujników

wystąpił w punkcie 3 między czujnikami nr 10 i 11. Na wniosek wykonawcy przeprowadzono próbę wcześniejszego usunięcia folii i styropianu. W miejscu usytuowania czujników (punkt 3) usunięto 22 maja warstwy izolacyjne o powierzchni $2,0 \times 2,0 \text{ m}$. Jak widać na rys. 4 nastąpił szybki spadek temperatury na czujniku 11, a tym samym wzrost gradientu do prawie $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Fundament ponownie przykryto. Folię i styropian zdjęto po 25 dniach na wniosek nadzoru autorskiego KBB PŁ. Nowy blok energetyczny nosi nazwę Pątnów II. Generalnym wykonawcą jest Elektrim-Megadex SA, zaś podwykonawcą konsorcjum Hydrobudowa-6 SA i PUB Ekobud Brzeg. Cała inwestycja pochłonie ok. $50\,000 \text{ m}^3$ betonu. Jej koszt oszacowano na ok. 425 mln dol. Oddanie obiektu do użytku przewidziano na lipiec 2006 roku.

dr hab. inż. Artem Czkwianianc
dr inż. Jerzy Pawlica
Katedra Budownictwa Betonowego
Politechniki Łódzkiej
mgr inż. Mariusz Saferna
CGS Beton Polska Sp. z o.o.

Rys. 5. Wykresy temperatury w fundamencie

