

# **Wielkogabarytowy beton masywny na przykładzie płyty fundamentowej kotłowni EC Kozienice**

LARGE SIZE MASSIVE CONCRETE BASING ON EXAMPLE OF  
FOUNDATION SLAB IN KOZIENICE POWERPLANT

## **Streszczenie**

Niniejszy referat prezentuje doświadczenia z betonowania płyty fundamentowej kotłowni w nowo budowanym bloku energetycznym Elektrowni Kozienice. Było to jedno z największych betonowań w ostatnich latach w Polsce. Powierzchnia betonowanej płyty fundamentowej wynosiła 6515 m<sup>2</sup>, a jej grubość wahała się od 3,0÷6,6 metra. W ciągu 143 h wyprodukowano i wbudowano ~18500 m<sup>3</sup> betonu z dwóch wytwórni betonu towarowego zlokalizowanych na placu budowy. Doświadczenia zdobyte podczas tej kolejnej dużej realizacji ugruntowały stan naszej wiedzy w zakresie betonów o niskim cieple hydratacji przeznaczonych na konstrukcje masywne. Przy projektowaniu składu mieszanki betonowej wyciągnięto wnioski z poprzednich tego typu betonowań i wdrożono nowe rozwiązania. W trakcie przygotowań do realizacji szczególnie dużo czasu poświęcono na odpowiedni dobór sposobu układania mieszanki betonowej, kluczowe było nawiązanie ścisłej współpracy pomiędzy projektantem, wykonawcą i producentem. Dodatkowym dużym wyzwaniem była realizacja założonego celu optymalizacji procesu produkcji oraz logistyki, aby zrealizować betonowanie przy jak najmniejszej ilości zaangażowanego sprzętu (ilości wytwórni betonu oraz betonomieszarek).

## **Abstract**

This paper present experiences from the concreting of big foundation slab in new build power plant Kozienice. It was one of the biggest concreting in Poland in last years. Surface of this slab was 6512 m<sup>2</sup> and his thickness 3.0–6.6 m. During 143 hours was producing and placing ~18500 m<sup>3</sup> of concrete from two plants located on building job site. Experiences

from this job increase our knowledge in the topic of concrete with low heat. During this job conclusions have been drawn from previous this type concreting and implemented new solutions. Especially a lot of time was spent on the appropriate choice of method of laying concrete, the key was to establish close cooperation between the designer, contractor and producer.

## 1. Wprowadzenie

W marcu 2014 roku odbyło się kolejne w Polsce duże ciągle betonowanie masywnego fundamentu kotłowni, tym razem w Elektrowni Kozienice. Betonowanie było realizowane w ramach budowy nowego bloku energetycznego na parametry nadkrytyczne opalanego węglem kamiennym o mocy 1075 MWe brutto w ENEA Wytwarzanie S.A. Generalnym Wykonawcą inwestycji jest konsorcjum firm Polimex Mostostal oraz Hitachi, wykonawcą żelbetowej konstrukcji płyty fundamentowej była firma Eiffage Polska, a dostawcą betonu Lafarge Kruszywa i Beton.

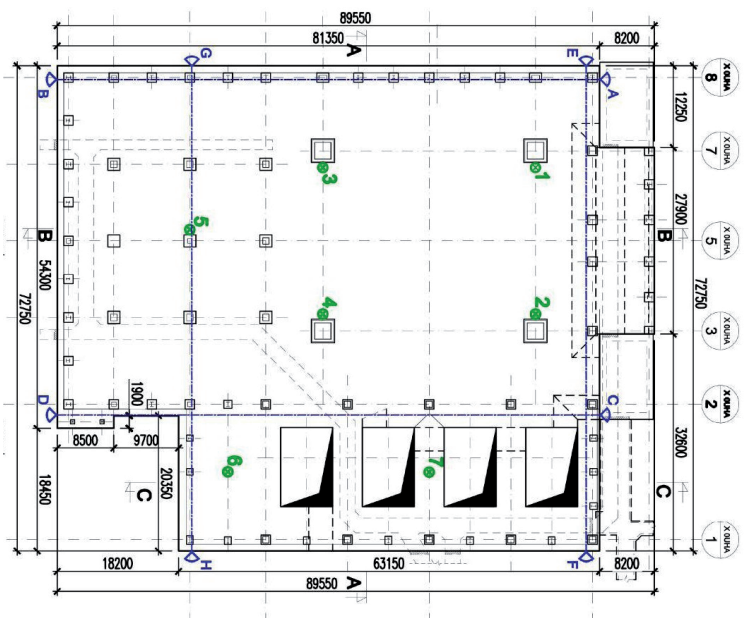


Fot. 1. Wizualizacja nowego bloku energetycznego

## 2. Informacje o projekcie

Przedmiotowa płyta fundamentowa miała gabaryty w rzucie  $89 \times 73$  m. Wysokość płyty wynosiła w przeważającej części 3,0 m, jednak pod kanałami i w rejonie czterech młynów węgla wysokość płyty dochodziła do 6,6 m.

W grubości płyty znajdowały się tunele kablowe o wysokości 3,3 m i 2,8 m. W części górnej zaprojektowane zostały kanały kablowe i siatka kanałów odwadniających. Pod płytą na warstwie betonu podkładowego zaprojektowano membranę przeciwwodną, a na niej bezpośrednio ułożono zbrojenie. Zbrojenie główne dolne i górne przewidziano w postaci od jednej do czterech warstw prętów pojedynczych łączonych na zakład, przy podstawowej średnicy  $\varnothing 32$  mm. Otulenie zbrojenia przyjęto przy wszystkich powierzchniach 50 mm, a najmniejszy poziomy rozstaw osiowy głównego zbrojenia, biegnącego równoległe do siebie wstępnie założono 125 mm.

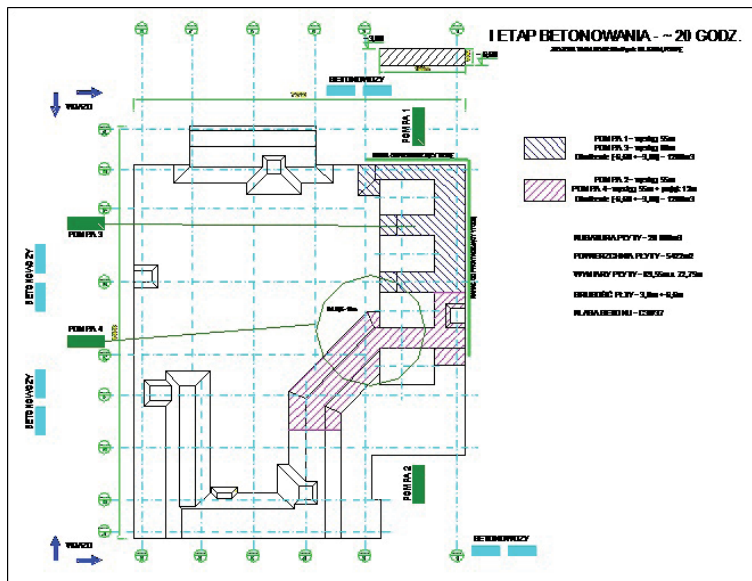


Rys. 1. Rzut z góry płyty fundamentowej

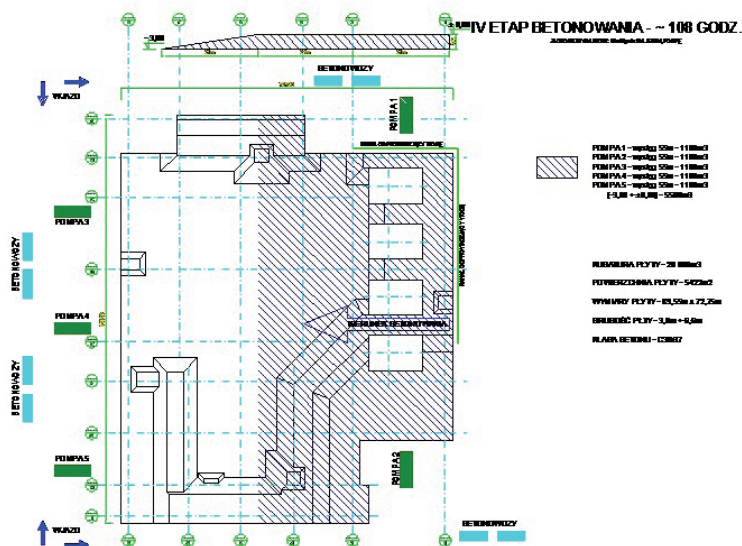
### 3. Projekt technologii i organizacji betonowania

Przygotowania rozpoczęto kilka miesięcy przed ostatecznym terminem betonowania. Do realizacji zadania zostały przygotowane dwie wytwórnie betonu znajdujące się na placu budowy oraz trzecia wytwórnia wspierająca w Górze Kalwarii, oddalona o około 40 km od budowy. Producent mieszanki betonowej zorganizował także rezerwową wytwórnię betonu w Radomiu, która nie brała bezpośredniego udziału w betonowaniu, ale była przygotowana do produkcji w przypadku awarii pozostałych wytwórni. Wytwórnie betonu znajdujące się na placu budowy uruchomiono na około rok przed betonowaniem. Rozpoczęły one produkcję mieszanek betonowych na inne elementy konstrukcji nowego bloku energetycznego. W tym czasie testowano wszystkie urządzenia każdej z wytwórni i wyeliminowano wszelkie usterki. Na kilka tygodni przed betonowaniem wytwórnie przeszły szczegółowy przegląd, wszystko po to aby zminimalizować ryzyko wystąpienia awarii w trakcie długotrwałego betonowania. Na czas betonowania powołano specjalny zespół utrzymania ruchu, którego członkowie pełnili całodobowy dyżur podczas całej realizacji zadania, będąc gotowymi do natychmiastowego usunięcia ewentualnej awarii, monitorowali także parametry maszyn, konserwując je w trakcie betonowania. Poza stanem technicznym maszyn i urządzeń producent skupił swoją uwagę także na logistyce. Opracowany został szczegółowy plan poruszania się wszelkich pojazdów zarówno betonowozów, jak i ciężarówek dostarczających składniki mieszanki betonowej. Z każdym z dostawców surowców ustalony został indywidualny schemat przejazdu pojazdów oraz realizacji dostawy. Przygotowane zostały precyzyjne harmonogramy dostaw, a także wyznaczono miejsca postoju samochodów dostawczych oczekujących na rozładunek.

Ustalono osobny plan poruszania się betonowozów pomiędzy wytwórniami a poszczególnymi pompami na budowie.



Rys. 2. Rzut z góry z organizacją betonowania – etap 1



Rys. 3. Rzut z góry z organizacją betonowania – etap 2

Cały plan poruszania został przetestowany w warunkach produkcyjnych na około tydzień przed betonowaniem. Wtedy to naniesiono jeszcze drobne poprawki i przyjęto ostateczny układ ruchu. Równolegle z wcześniej opisanymi kwestiami był opracowywany projekt technologii betonowania. Ustalono, że w pierwszym etapie betonowanie rozpocznie się od strony młynów węgla używając jedynie czterech pomp. Przyjęto metodę wylewania warstwami ukośnymi zapewniającą w pełni bezpieczną jego realizację, gdyż woda z ewentualnych opadów deszczu będzie samoistnie spływała w kierunku przeciwnego boku i wypływała poza obrys fundamentu przez otwory usytuowane przy dolnej krawędzi szalunku. W końcowym etapie betonowania zaplanowano włączenie piątej pompy do betonu. Ze strony wykonawcy do wbudowania mieszanki betonowej przydzielono w sumie 62 pracowników pracujących na zmianę.

## 4. Mieszanka betonowa

Prace nad opracowaniem składu mieszanki betonowej zostały zapoczątkowane na około rok przed betonowaniem. Przetestowano wiele wariantów receptur w celu opracowania betonu o jak najniższym cieple hydratacji. Centralne Laboratorium badawczo-rozwojowe Lafarge przeprowadziło pomiary kalorymetryczne wszystkich wariantów, zastosowano także system monitorowania i symulacji cech młodego betonu używany przez Lafarge. W skutek przeprowadzonych badań do składu mieszanki betonowej zastosowano cement CEM III/A 42.5 N – LH/HSR/NA z Cementowni Małogoszcz wzbogacony dodatkiem mineralnym w postaci krzemionkowego popiołu lotnego z EC Kozenice. Do mieszanki kruszywowej zastosowano trzy frakcje gysu dolomitowego z kopalni Radkowice 2/8, 8/16 oraz 16/22. Doskonałą urabialność mieszanki betonowej oraz odpowiednie opóźnienie czasu wiązania zapewniał specjalnie dobrany układ domieszek BASF.

Tabela 1. Skład mieszanki betonowej

Klasa wytrzymałości: Klasa konsystencji: W/C W/C+P	C30/37 S4 (16-21cm) 0.64 0.41
CEM III/A 42.5 N – LH/HSR/NA	220 kg
Popiół lotny krzemionkowy	120 kg
Kruszywo 0-22mm	1915 kg
Superplastyfikator	2.2kg
Plastyfikator	1,1 kg
Opóźniacz	0,5 kg

## 5. Betonowanie

Betonowanie rozpoczęto dnia 14 marca 2014 w godzinach wieczornych. Mieszanka betonowa była produkowana głównie na dwóch wytwórniach znajdujących się na placu



budowy. Wytwórnia w Górze Kalwarii była wytwórnią jedynie wspierającą i w trakcie całego zadania dostarczyła jedynie około 4000 m<sup>3</sup>. Całe betonowanie trwało dokładnie 143 godziny, uzyskano wydajność średnią 126 m<sup>3</sup>/h. Co 24 godziny każda wytwórnia miała godzinny przestój na konserwację, podobnie było z pompami do betonu. Podczas betonowania zadziałały wszystkie wcześniej zaplanowane mechanizmy, nie nastąpiły żadne awarie ani usterki.



Fot. 2. Zdjęcie z realizacji



Fot. 3. Zdjęcie z realizacji

## 5.1. Kontrola jakości betonu

W celu zapewnienia najwyższej jakości dostarczanego produktu został powołany specjalny zespół technologiczny. W betonowaniu brali udział specjaliści Lafarge z całej Polski. Na każdej zmianie pracowało dwóch technologów, jeden na wytwórni, a drugi bezpośrednio w miejscu wbudowania, a także kilku laborantów. Pierwsza kontrola jakości odbywała się już w trakcie produkcji, następnie każda gruszka mijała kilka punktów kontrolnych. Pierwszy z nich zlokalizowany był na wyjeździe z wytwórni, każdy betonowóz podlegał wizualnej ocenie konsystencji, a z co piątego była pobierana mieszanka do pomiaru konsystencji metodą stożka opadowego. Jeżeli konsystencja nie spełniała założeń projektowych nie opuszczała wytwórni betonu. Następnym punktem kontrolnym był kilkaset metrów dalej na wjeździe na plac budowy, gdzie odbywała się kolejna wizualna ocena konsystencji z każdego betonowozu prowadzona przez laboratorium wykonawcy. Ostatnim punktem kontroli znajdował się w miejscu wbudowania. Były tam prowadzone najczęstsze pomiary konsystencji oraz pobierane próbki do badań stwardniałego betonu. Wyniki badań kształtowały się następująco:

Tabela 2. Wyniki badań mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.

Wartości średnie	
Konsystencja mieszanki betonowej	195 mm
Wytrzymałość na ściskanie po 7 d	19 MPa
Wytrzymałość na ściskanie po 28 d	47 MPa
Wytrzymałość na ściskanie po 56 d	58 MPa
Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem	20 mm
Skurcz betonu po 90 d	0,27 mm/m

## 5.2. Pielęgnacja betonu

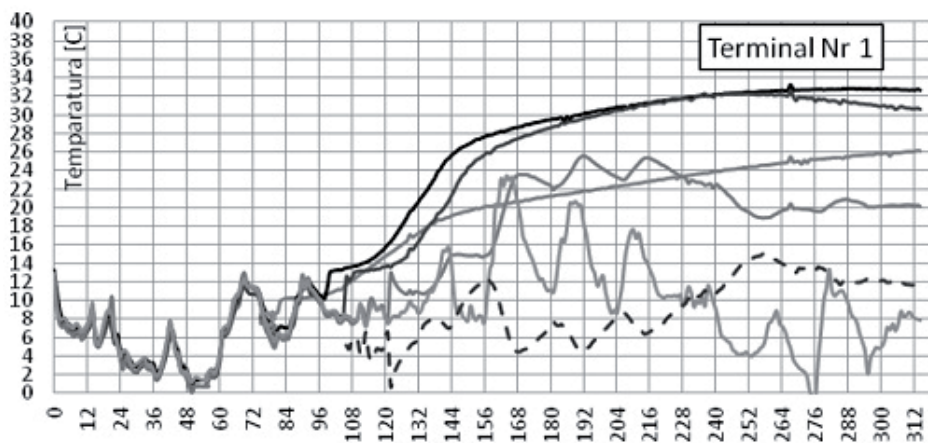
Po zatarciu i wstępnym stwardnieniu powierzchni elementu fundament został zroszony wodą i szczelnie przykryty grubą jasną folią. Wykonawca miał zmagazynowany na budowie także styropian, aby w razie wystąpienia zbyt dużego gradientu temperatur docieplać element i minimalizować różnice temperatur. Taka konieczność jednak nie nastąpiła i pielęgnacja zakończyła się na okryciu folią i zraszaniu powierzchni.

## 5.3. Monitoring temperatury wewnątrz elementu

Kluczową kwestią dla przeprowadzenia prawidłowej pielęgnacji konstrukcji masywnej jest monitoring temperatury wewnątrz elementu. Zadanie to było realizowane przez Laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej, a także przez Laboratorium Lafarge. Oba laboratoria monitorowały kilkadziesiąt punktów pomiarowych.

Maksymalna uzyskana temperatura w elemencie wyniosła w zależności od grubości 32°C przy 3 m oraz 37°C przy 6,6 m. Gradient temperatur nie przekroczył 16°C.





Rys. 4. Przykładowe wyniki monitoringu temperatur wewnątrz konstrukcji