

Betonowanie fundamentów masywnych w Elektrowni Opole – technologia i logistyka

CONCRETE WORKS RELATING TO MASSIVE FOUNDATIONS IN THE OPOLE POWER PLANT - TECHNOLOGY AND LOGISTICS

Streszczenie

Betonowanie płyty fundamentowej, kotłowni nr 5, było kolejnym etapem budowy dwóch nowych kotłowni zasilanej surowcem w postaci węgla kamiennego o mocy 1800 MW, które powstają na terenie elektrowni w Opolu w ramach zadania inwestycyjnego – budowa bloków energetycznych nr 5 i 6 w PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna Oddział Elektrownia Opole. Wspomniane betonowanie było jednym z największych przedsięwzięć w Polsce i jednym z większych w krajach Europy. W okresie 6 dni w jednym, nieprzerwanym cyklu betonowania, zostało dostarczonych 18.478 m³ mieszanki betonowej, która posłużyła do zabetonowania płyty fundamentowej o powierzchni 12.429 m² i grubości od 3,0 do 3,8 metra.

Przedstawiony przez autora artykuł ma na celu przedstawienie praktycznych zastosowań jakie miały miejsce podczas betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5. Autor wspomnianego artykułu uczestniczył w projekcie budowy nowych bloków energetycznych nr 5 i 6 elektrowni Opole z ramienia Generalnego Wykonawcy – Mostostal Warszawa S.A. Niniejszy artykuł przedstawia zagadnienia z tematyki produkcji, dostawy, wbudowania oraz pielęgnacji mieszanki betonowej, które związane z szeroko pojętym budownictwem powinny być rozpowszechniane i udostępniane, przyczyniając się tym samym do rozwoju działań na rzecz rozbudowy naszego kraju.

Abstract

The concrete works relating to the foundation slab of boiler house No. 5 was another stage of construction of two new boiler houses supplied with the raw material in the form of hard coal with power output of 1800 MW, which are being constructed on the premises of the power plant in Opole as part of the investment task titled Construction of two power

units No. 5 and 6 at PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna Opole Power Plant Branch. The said concrete works were one of the largest projects in Poland and a major one in Europe. Over 6 days, in one uninterrupted concrete work cycle, 18,478 m³ of concrete mix were delivered, which was used for concreting of the foundation slab with the surface area of 12,429 m² and thickness ranging from 3.0 to 3.8 m.

The article presented by the author is aimed at showing the practical applications that were applied during concrete works relating to the foundation of the boiler house for the power unit No. 5. The author of the said article participated in the project consisting in construction of two new power units No. 5 and 6 in the Opole power plant on the part of Mostostal Warszawa S.A. - the EPC Contractor. This article presents issues concerning production, delivery, pouring and curing the concrete mix that, as those related to broadly understood construction industry, should be distributed and made available, thus contributing to enhancement of activities toward development of our country.

.

1. Wstęp

Pod koniec kwietnia 2015 r. w m. Brzezie k. Opola miało miejsce betonowanie jednego z największych elementów konstrukcyjnych zaliczanych do elementów masywnych w ostatnich kilkudziesięciu latach w Polsce. W przeciągu zaledwie 6 dni wbudowano mieszankę betonową w ilości 18.478 m³, którą wyprodukowano i dostarczono z 6 wytwórni betonu towarowego. Proces betonowania odbył się w ramach zadania inwestycyjnego – budowa bloków energetycznych nr 5 i 6 w PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna Oddział Elektrownia Opole o mocy 1800 MW. Zakładany termin oddania inwestycji szacowany jest na początek 2019 roku. Procesem realizacji inwestycji zajęło się konsorcjum firm: Polimex-Mostostal, Mostostal Warszawa S.A. oraz Alstom Power Sp. z o.o. Wykonanie dwóch fundamentów kotłowni bloku nr 5 i 6 przypadło spółce Mostostal Warszawa S.A. Głównym dostawcą mieszanki betonowej było konsorcjum firm Górażdże Beton Sp. z o.o. oraz JD Beton Sp. z o.o., które dostarczały mieszankę z sześciu wytwórni. Patronat merytoryczny nad robotami betonowymi objęła Katedra Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej oraz Centrum Technologiczne Betonu przy Politechnice Rzeszowskiej.

1.1. Projekt elektrowni – informacje ogólne

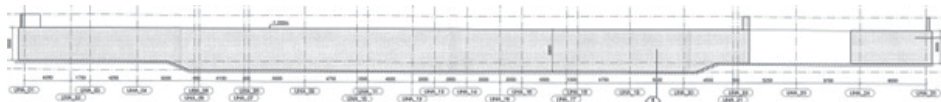
Budowa nowych bloków energetycznych nr 5 i 6 elektrowni w Opolu (fot. 1), niosła za sobą zaangażowanie wielkiego potencjału ludzkiego, poczynając od strony inwestora oraz nadzoru, poprzez sztab projektantów, zaplecze i personel wykonawcy, kończąc na dostawcach wszelkich materiałów potrzebnych do wbudowania. Jednym z najtrudniejszych etapów budowy było wykonanie fundamentu kotłowni bloku nr 5.



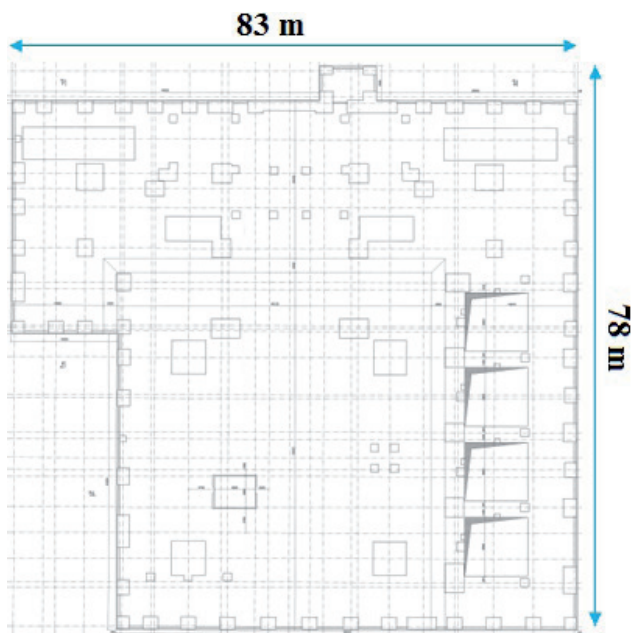
Fot. 1. Projekt graficzny nowych bloków energetycznych nr 5 i 6 elektrowni w Opolu

Projekt budowlany został opracowany przez firmę Energoprojekt Katowice S.A., natomiast projekt wykonawczy został opracowany przez firmę Alstom Power sp. z o.o. Zgodnie z założeniami, blok kotłowni nr 5 został posadowiony na fundamencie, którego kubatura wynosiła 18.478 m³. Powierzchnia betonowanej płyty w kształcie litery „L” posiadała wymiary boków 78 x 83 m. Płyta ma zmienną grubość przekroju od 3,0 do 3,8 m w części

posadowienia głównej konstrukcji kotła. Pomiędzy górnym powierzchnią płyty, na której znajdują się będzie posadzka, znajdują się żelbetowe kanały odwadniające, cokoły urządzeń technologicznych oraz częściowe elementy tras kablowych. Płyta fundamentu została posadowiona na palach, na których znajduje się dylatacja z warstwy tłuczni oraz betonu podkładowego klasy C12/15. Izolację między powierzchnią betonu podkładowego, a fundamentem kotłowni bloku nr 5 stanowi dwuwarstwowa folia zabezpieczona warstwą papy termozgrzewalnej. Rzut oraz przekrój fundamentu kotłowni pokazano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Przekrój fundamentu kotłowni bloku nr 5



Rys. 2. Rzut fundamentu kotłowni bloku nr 5

Betonowanie fundamentu kotłowni bloku nr 5 niosło za sobą szereg czynników, których przykładowe dane liczbowe przedstawiają stopień złożoności całego procesu jakim było wykonanie w/w fundamentu:

- Wbudowanie stali handlowej i prefabrykowanej w ilości około 2700, trwało prawie dwa miesiące. W tym czasie wykonano ok. 11000 połączeń prętów zbrojeniowych (gwintowanie i łączenie za pomocą muf). Pracami zbrojarskimi zajmowało się ok. 100 osób, pracujących w systemie dwuzmianowym.
- W 6-dniowym okresie betonowania zużytych zostało około: 4350 ton cementu, 2000 ton popiołu lotnego, 33100 ton kruszyw (piasku i żwiru), oraz 124 tony betonowych domieszek chemicznych.

- Transport mieszanki betonowej odbywał się przy użyciu 50 betonomieszarek, w tym 4 rezerwowych – łącznie wykonano 1980 kursów. Mieszankę podawano za pomocą 5 pomp w pierwszym etapie, których udział zwiększono do 7 w etapach końcowych pracujących non stop, w tym 2 pompy rezerwowe. Wysięgi pomp wynosiły od 48 do 58 m. Średnia wydajność betonowania wyniosła ok. 175 m³/h.
- Producent i dostawca betonu – konsorcjum Góraźdże Beton Sp. z o.o. (GB) i JD Beton Sp. z o.o. (JD), transportowało mieszankę betonową z 6 wytwórni zlokalizowanych w obrębie budowy. Wytwórnie GB zlokalizowane były w miejscowościach Brzezie, Brzeg i Kędzierzyn, natomiast wytwórnie JD zlokalizowane były w miejscowościach Brzezie, Opole i Olszowa.
- Na terenie budowy laboratorium Wykonawcy wykonało 1980 pomiarów konsystencji mieszanki betonowej, temperatury mieszanki oraz temperatury otoczenia. W sumie pobrano 180 próbek do oznaczenia badań wytrzymałości oraz badań trwałościowych betonu.
- Monitoring przyrostu ciepła hydratacji cementu w betonie prowadzony był przez Politechnikę Łódzką, która monitorowała temperaturę w 48 punktach pomiarowych.
- Strona dostawców mieszanki betonowej zaangażowała do procesu betonowania ok. 120 osób w postaci kierowców betonowozów, operatorów pomp, operatorów wytwórni betonu towarowego, operatorów ładowarek oraz technologów i koordynatorów wraz z laborantami.
- Wykonawca przeznaczył do prac betoniarskich, tj. układania i zagęszczania wraz z pielęgnacją mieszanki betonowej 27 osób fizycznych, wyposażonych w 8–10 szt. wibratorów wgłębnych (w tym 4 rezerwowe) oraz zacieraczki spalinowe – 4 szt., 8 osób z nadzoru i 5 osób z laboratorium. Wymieniona ilość personelu przypadała na jedną zmianę.

2. Przygotowanie produkcji

Przygotowanie procesu betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5 rozpoczęto kilka miesięcy przed betonowaniem. W trakcie przygotowań skrupulatnie zapoznano się z projektem wykonawczym, wymaganiami w stosunku do mieszanki betonowej oraz ustalono organizację i technologię wykonania poszczególnych robót, jak również ustalono projekt logistyki i jakości dostawy mieszanki betonowej na miejsce przeznaczenia. Finalnym produktem ustaleń związanych z przygotowaniem do betonowania był projekt Technologii i organizacji Robót, opracowany przez zespół Mostostal Warszawa S.A., Katedrę Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej oraz Centrum Technologiczne Betonu przy Politechnice Rzeszowskiej, który został przedłożony do zatwierdzenia stronie Projektowej oraz Nadzorowi Inwestora.

Przyjęty dokument – „TiORB”, zakładał spełnienie poniższych zadań:

- odpowiednio dobrane zaplecze produkcyjne oraz logistyczne w celu uzyskania planowanej wydajności rzędu 155 m³/h,
- zorganizowanie placów składowych na dostawy materiałów do produkcji mieszanki betonowej,
- odpowiednia jakość poszczególnych składników mieszanki betonowej (kruszywo, cement, dodatki i domieszki),

- zaprojektowanie mieszanki betonowej rozpatrywanej w charakterze betonu specjalnego zgodnie z wytycznymi technicznymi i projektem budowlanym,
- opracowanie technologii betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5,
- stały monitoring przyrostu ciepła mieszanki betonowej na skutek hydratacji cementu.

2.1. Parametry mieszanki betonowej

Mieszanka betonowa zaprojektowana i zastosowana na potrzeby betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5 jest typem betonu specjalnego, charakteryzującego się niskim ciepłem hydratacji cementu w betonie w celu uniknięcia możliwych do powstania naprężeń termicznych prowadzących do powstania rys i możliwych uszkodzeń masywu. Dodatkowo przed zastosowaniem mieszanki wykonano badania kaloryczności w celu sprawdzenia ilości wydobywanego się ciepła z mieszanki betonowej. Zastosowana mieszanka zawiera w swoim składzie cement hutniczy oznaczony jako CEM III/A 32,5 N NA/HSR/LH z Cementowni Chorula oraz dodatek typu II w postaci popiołu lotnego krzemionkowego. Dobrą urabialność oraz płynność uzyskano dzięki domieszkom chemicznym w postaci plastyfikatorów oraz super plastyfikatorów najnowszej generacji firmy BASF. W celu uzyskania odpowiedniej zabudowy poszczególnych warstw, zastosowano domieszkę opóźniającą początek wiązania do ok. 20 godzin. Po przeprowadzeniu konsultacji ze stroną Politechniki Łódzkiej oraz Centrum Technologicznego Betonu przy Politechnice Rzeszowskiej, zatwierdzono ostatecznie skład mieszanki na potrzeby betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5, który przedstawiony został w tabeli 1. Przyjęty w projekcie beton charakteryzuje się klasą C 30/37, dla którego z uwagi na zastosowanie cementu hutniczego określenie wytrzymałości charakterystycznej przewidziano po 90 dniach.

Tabela 1. Skład mieszanki betonowej

Właściwości mieszanki betonowej				
Współczynnik $w/c = 0,64$				
Założona klasa wytrzymałości na ściskanie – C30/37				
Założona konsystencja – S3/S4 (110 – 210 mm)				
L.p.	Nazwa składnika	Pochodzenie	Jednostka	Ilość
1	Piasek 0/2	Konsorcjum GB-JD	kg	600
2	Żwir 2/8	Konsorcjum GB-JD	kg	357
3	Żwir 8/16	Konsorcjum GB-JD	kg	392
4	Żwir 16/32	Konsorcjum GB-JD	kg	446
5	CEM III/A 32,5 N – LH/HSR/NA	Góraźdże	kg	235
6	Woda		kg	160
7	Zawartość powietrza w mieszance		%	2,0
8	Popiół lotny	El. Opole	kg	110
10	MasterGlenium Sky 686	BASF	1,40% m.c.	3,29
11	MasterPozzolith BV18C	BASF	0,95% m.c.	2,23
12	MasterSet R 433	BASF	0,50% m.c.	1,18
Razem				2306

Projektant mieszanki betonowej – firma Betotech, wykonała zaroby próbne w ramach badań wstępnych. Wyniki badań potwierdziły zgodność z założeniami projektowymi. Wyniki badań zarobów próbnych przedstawiono w tabeli 2.

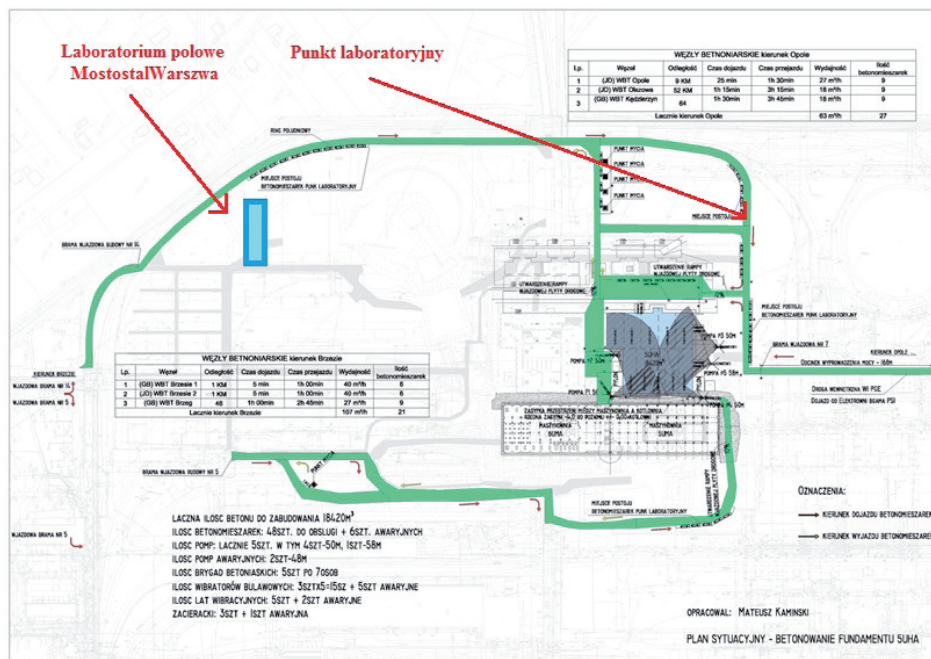
Tabela 2. Wyniki zarobów próbnych

Lp.	Identyfikacja zarobu	Opad stożka [mm]	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	Temperatura [°C]
1	Zarób 1	180	52,4	20
2	Zarób 2	190	53,1	20
3	Zarób 3	180	50,6	20

2.3. Logistyka na placu budowy

Kolejnym wyzwaniem związanym z betonowaniem fundamentu kotłowni bloku nr 5 było zapewnienie odpowiedniej ilości mieszanki betonowej wraz z poszczególnymi materiałami wsadowymi do jej produkcji. Na potrzeby betonowania ww. fundamentu opracowano program dostaw mieszanki betonowej, który uwzględniał wszystkie aspekty związane z niniejszym przedsięwzięciem. Mieszanka betonowa była dostarczana z sześciu wytwórni jednocześnie 24h/dobę, które pracowały w układzie dwuzmianowym (11 godzin + 1 godzina przerwy). W czasie wspomnianej przerwy wytwórnie mieszanek betonowych poddawane były obsłudze w postaci sprawdzenia działania podzespołów, systemów produkcji oraz konserwacji i zmiany personelu obsługującego wytwórnię.

Transport mieszanki betonowej odbywał się po drogach publicznych betonomieszarkami o pojemności do 12 m³ w ilości 50 sztuk + 4 rezerwowe. Betonowozy zostały specjalnie oznaczone (numerami od 1 do 55) w celu łatwiejszej identyfikacji i poruszania się po placu budowy. Wjazd na teren budowy odbywał się przez 2 bramy wyznaczone na potrzeby wspomnianego betonowania. Wyznaczono również miejsca oczekiwania betonowozów, wraz z punktem kontroli, w którym prowadzono ewidencję dostaw mieszanki betonowej. W punkcie kontrolnym przeprowadzano również badania mieszanki betonowej, począwszy od oceny wizualnej, poprzez badanie konsystencji metodą „opadu stożka” i temperatury do poboru próbek do badań trwałościowych betonu. Założono również możliwość korekcji konsystencji mieszanki betonowej przywiezionej na plac budowy za pomocą domieszek chemicznych. Wszystkie osoby przebywające na terenie budowy w trakcie opisywanego procesu zostały przeszkolone z dziedziny BHP oraz przeszkolone i zapoznane z procesem betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5. W trakcie betonowania nie stwierdzono wypadków, jak również drobnych uszkodzeń ciała poszczególnych pracowników uczestniczących w realizacji wspomnianego procesu. Zapewnienie łączności na terenie placu budowy było realizowane za pomocą urządzeń radiotelefonicznych. Plan sytuacyjny wraz ze schematem dróg dojazdowych przedstawiono na rysunku 3.



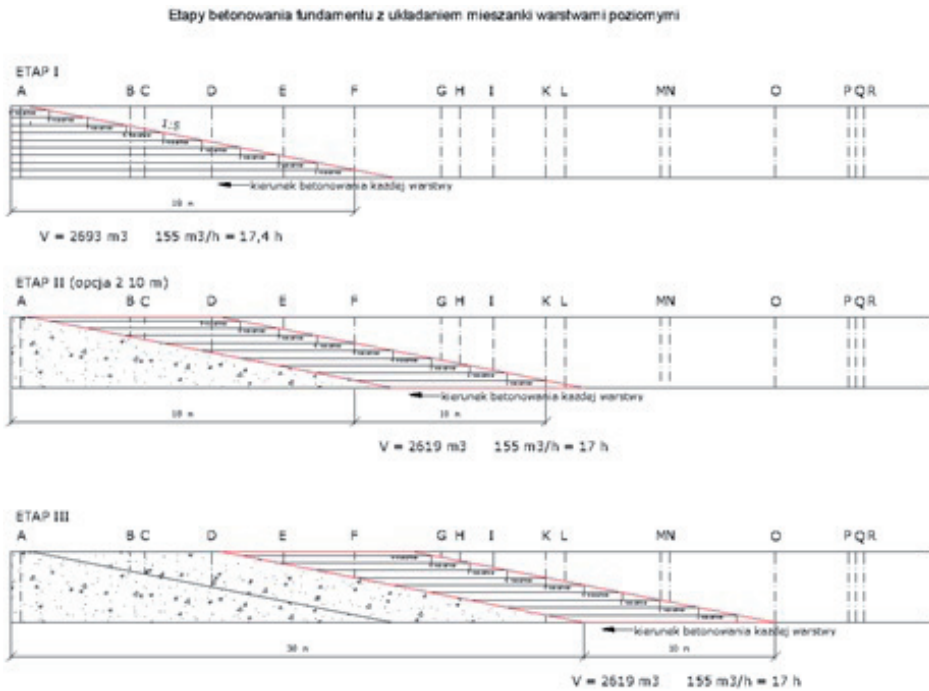
Rys. 3. Plan sytuacyjny wraz ze schematem dróg dojazdowych

2.4. Proces technologii betonowania

Przyjęta technologia betonowania została opracowana przez dr. Jerzego Pawlicę oraz mgr. inż. Radosława Walendziaka z Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej pod kierownictwem dr. hab. inż. P. Jerzego Urbana. Technologia betonowania zakładała układanie warstw mieszanki betonowej warstwami poziomymi w skosie, począwszy od strony południowo-zachodniej w kierunku północno-wschodnim na całej długości fundamentu, co przedstawiono na rysunku 4. Układanie mieszanki betonowej warstwami poziomymi w skosie uznano za najlepsze rozwiązanie z uwagi na specyfikę kształtu i rozmiaru elementu konstrukcyjnego. Przyjęta technologia zakładała systematyczne wyrównywanie powierzchni fundamentu, co przekładało się na szybszą i łatwiejszą pielęgnację świeżo wbudowanej mieszanki.

W pierwszej kolejności betonowanie prowadzone było za pomocą 5 pomp o wydajności >40 m³/h i wysięgu od 48 do 58 m, ustawionych zgodnie w przyjętym planie betonowania (rys. 5).

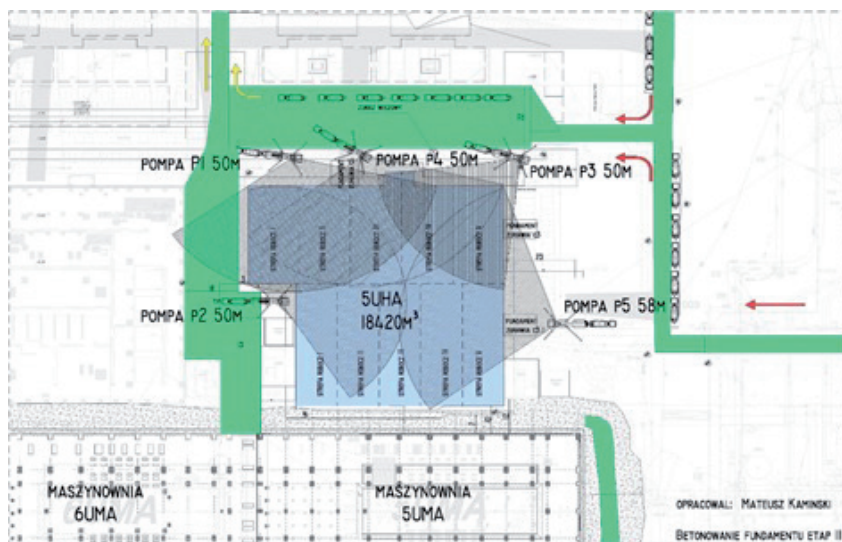
W kolejnych etapach betonowania, z uwagi na przesuwanie się „klina betonowego” oraz frontu robót w kierunku północno-wschodnim, przyjęto schemat ustawienia pomp zgodnie z rysunkiem 6, bez wpływu na skrócenie czasu i wydajności betonowania wspomnianego elementu. W przypadku awarii pomp do dyspozycji 24h/dobę znajdował się sprzęt zapasowy w postaci 2 pomp, jak również serwis maszyn i urządzeń.



Rys. 4. Schemat układania warstw mieszanki betonowej fundamentu kotłowni bloku nr 5



Rys. 5. Plan betonowania i rozmieszczenia pomp – etap I



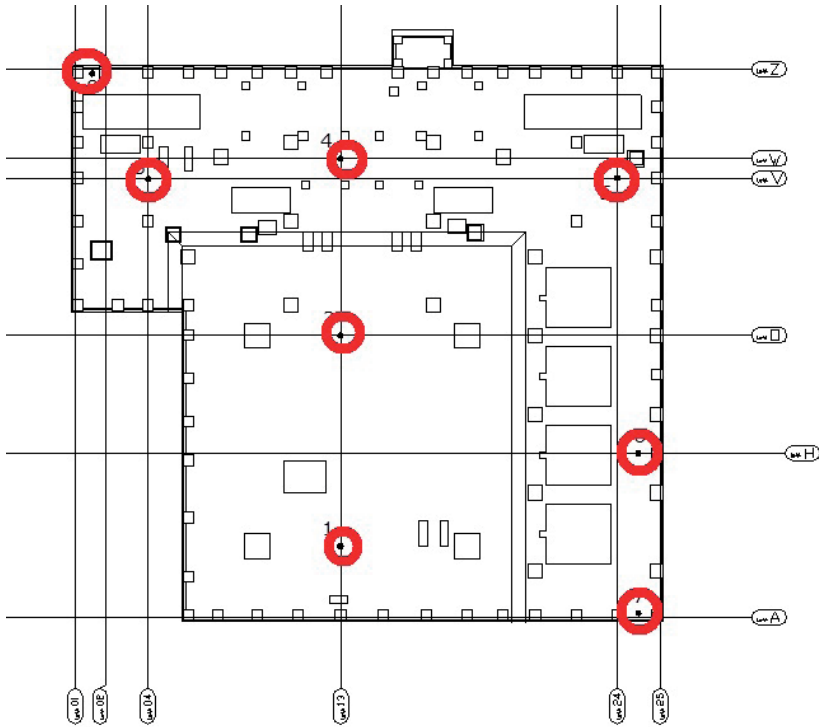
Rys. 6. Plan betonowania i rozmieszczenia pomp – etap II

3. Kontrola jakości dostarczanej mieszanki betonowej

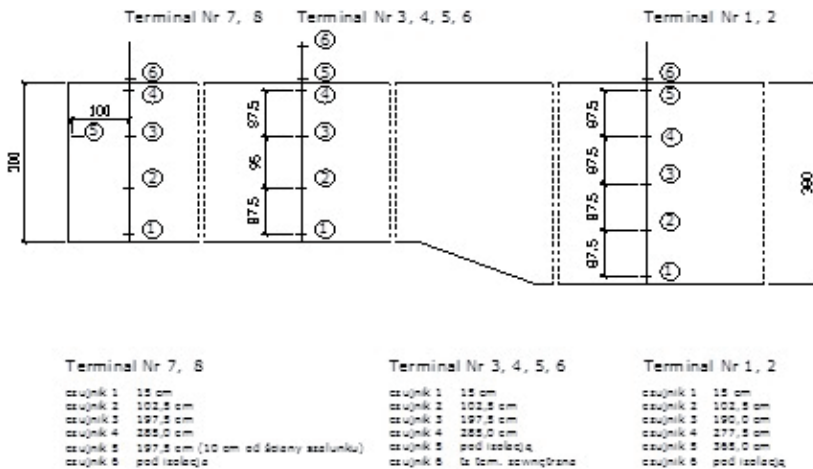
W trakcie betonowania fundamentu kotłowni bloku nr 5 na bieżąco prowadzona była kontrola jakości dostarczanej na plac mieszanki betonowej przez certyfikowane laboratorium Mostostal Warszawa S.A. Dodatkowo na wszystkich wytwórniach mieszanek betonowych prowadzone były kontrole jakości mieszanki betonowej. Proces kontroli obejmował ocenę wizualną, badanie konsystencji metodą „opadu stożka”, ewentualnie metodą za pomocą stolika rozplływowego, temperatury mieszanki betonowej wraz z temperaturą otoczenia. W celu oznaczenia wytrzymałości betonu stwardniałego, pobrano próbki do badań wytrzymałościowych na ściskanie po 7, 14, 28, 56 i 90 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych. W sumie pobrano 180 próbek do badań trwałościowych.

3.1. Kontrola temperatury fundamentu bloku nr 5

Z uwagi na wielkość fundamentu kotłowni bloku nr 5, rozpatrywanego w charakterze elementu masywnego, zastosowano monitoring temperatury w betonie, który prowadzony był w trakcie, jak i po zakończeniu procesu betonowania. Niezależnie od pomiaru temperatury w masywie prowadzony był monitoring powietrza w sąsiedztwie betonowanej płyty. Monitoring prowadzony był przez Laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej za pomocą sond wgłębnych traconych w fundamencie. Monitoring prowadzony był za pomocą 7 terminali (rys. 7), w którym dla każdego terminalu zastosowano 6 czujników (rys. 8) umieszczonych na poziomach 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,4 m od spodu płyty.



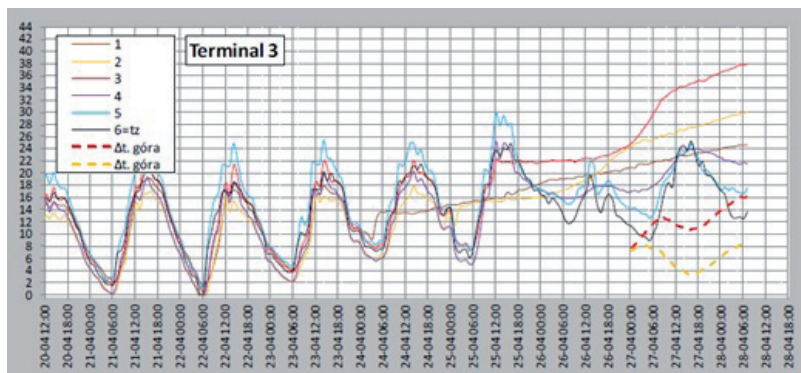
Rys. 7. Rozmieszczenie terminali w fundamencie kotłowni bloku nr 5 – rzut fundamentu



Rys. 8. Rozmieszczenie terminali wraz z czujnikami w fundamencie – przekrój fundamentu

Zarejestrowana maksymalna temperatura wyniosła 44°C na grubości płyty fundamentu równej 3,0 m oraz 46°C na grubości płyty równej 3,8 m. Maksymalny gradient temperatury wyniósł 19,2°C z granicznego gradientu równego 20°C, w wyniku czego

podjęto decyzję o dociepleniu powierzchni fundamentu płytami styropianu o grubości 3 cm. Zastosowany zabieg spowodował obniżenie gradientu temperatury płyty fundamentu, dzięki któremu nie doszło do przekroczenia dopuszczalnych naprężeń termicznych. Na rysunku 9, przedstawiono przykładowy wynik pomiaru warunków cieplnych dojrzewającego betonu.



Rys. 9. Przykładowy wynik monitoringu przyrostu ciepła hydratacji cementu w betonie – terminal nr 3

3.2. Pielęgnacja betonu

Podstawowym czynnikiem decydującym o trwałości wbudowanej i zagęszczonej mieszanki betonowej jest jego pielęgnacja. Założona i przyjęta technologia betonowania zakładała pielęgnację wilgotnościową, która miała zapobiec nadmiernemu odparowaniu wody z wbudowanej mieszanki. Bezpośrednio po zatarceniu wierzchniej warstwy, powierzchnia została zroszona mgłą wodną oraz zabezpieczona trzema warstwami w postaci folii, geowłókniny oraz brezentu. W przypadku możliwych do występowania w okresie pielęgnacji temperatur poniżej $+5^{\circ}\text{C}$ przewidziano ułożenie warstwy płyt styropianowych grubości 3 cm w celu docieplenia fundamentu. Pielęgnacja wspomnianego fundamentu miała za zadanie zapewnić odpowiednią izolację cieplno-wilgotnościową, która była dostosowywana do panujących w okresie betonowania warunków atmosferycznych i korygowana o dane z terminali monitorujących warunki temperaturowe w środku jak i na zewnątrz fundamentu.

4. Podsumowanie

Pierwszy kwartał 2015 r. na terenie budowy elektrowni Opole został zakończony wykonaniem fundamentu głównego kotłowni bloku nr 5 o powierzchni 12.429 m^2 i kubaturze $18\,478\text{ m}^3$. Dzięki pełnemu zaangażowaniu wszystkich stron biorących udział w procesie nad betonowaniem wspomnianego fundamentu wraz z przyjętym i zastosowanym reżimem technologicznym uchroniono wykonany element konstrukcyjny od możliwych do powstania różnic temperaturowych we wnętrzu fundamentu i na jego powierzchni, skutkujących powstaniem niekorzystnych naprężeń termicznych przekładających się na

powstanie rys wpływając na trwałość konstrukcji w zakładanym okresie eksploatacji. Powstała we wnętrzu fundamentu maksymalna temperatura betonu nie przekroczyła wartości dopuszczalnej równiej 70°C jak również granicznego gradientu temperaturowego równego 20°C.

Literatura

1. PN-EN 206-1, Beton: Część1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność,
2. PN-EN 13670, Wykonywanie konstrukcji z betonu,
3. Neville A. M., Właściwości betonu, Polski Cement 2000,
4. Kiernożycki W., Betonowe konstrukcje masywne, Polski Cement, Kraków 2003.
5. Jamroży Z., Beton i jego technologie. PWN, Warszawa – Kraków 2000,
6. Pawlica J., Walendziak R., Projekt technologii betonowania oraz monitoringu temperatury betonowych elementów masywnych, Katedra Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej, 14 kwietnia 2015r.,
7. Janas W., Program dostawy mieszanki betonowej dla betonowania fundamentów kotłowni bloków nr 5 i 6 część: 1 – 5UHA kotłownia bloku 5, Chorula, 13 kwiecień 2015r.,
8. Wituń K. Kamiński M., Projekt technologii i organizacji robót wraz z planem kontroli jakości dla wykonania fundamentu 5UHA – Kotłownia bloku nr 5 Faza C2 Fundament Główny – Brzezie k. Opola 2015r.