

Wybrane aspekty kontroli jakości robót betonowych konstrukcji masywnych

dr inż.

GRZEGORZ BAJOREK, PROF. PRZ
Politechnika Rzeszowska
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Centrum Technologiczne Budownictwa
Instytut Badań i Certyfikacji
ORCID: 0000-0001-5312-8866



inż.

MACIEJ BARĆ
Centrum Technologiczne Budownictwa
Instytut Badań i Certyfikacji
ORCID: 0000-0002-5921-4930



W artykule przedstawiono zasady nadzoru nad jakością betonu i robót betonowych w realizacji elementów masywnych.

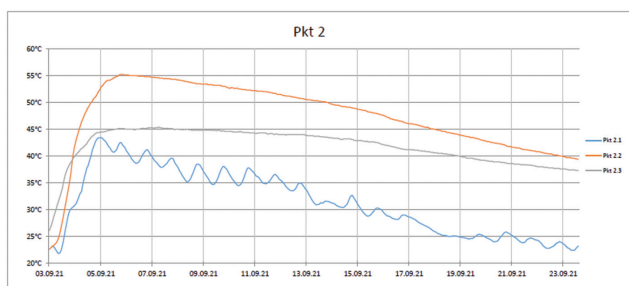
Wprowadzenie

W wielu obiektach związanych z energetyką ich elementy realizowane w technologii betonowej charakteryzują się dużymi gabarytami ($\geq 0,80$ m przekroju) i są zaliczane do konstrukcji masywnych – a to oznacza konieczność pokonania szczególnych trudności na etapie ich wykonywania. Są one kojarzone przede wszystkim z koniecznością opanowania zjawisk termicznych dojrzewającego betonu w zaformowanym elemencie, ale mogą dotyczyć również etapów wcześniejszych. Tych związanych z układaniem i zagęszczaniem mieszanki betonowej, ale także przygotowujących cały proces wykonawczy. Brak docenienia ich roli najczęściej kończy się wadami oraz usterkami lub nawet uszkodzeniami wykonanych konstrukcji [1]. Poniesione wtedy koszty koniecznych napraw wielokrotnie przekraczają te związane z właściwym przygotowaniem i nadzorowaniem robót betonowych. Warto zatem zwrócić uwagę na:

- wymogi w zakresie dokumentacji technologicznej oraz robót przygotowawczych;
- wymagania dla procesów transportu, wbudowywania mieszanki betonowej, jej rozkładania i prawidłowego zagęszczania;
- wymagania dla prawidłowej pielęgnacji betonu w dojrzewającym elemencie, szczególnie w zakresie kontroli warunków temperatury i wilgotnościowych;
- nadzorowanie i korygowanie rozkładu temperatur wewnątrz świeżo wykonanego elementu.

Zagrożenia w wykonawstwie konstrukcji masywnych

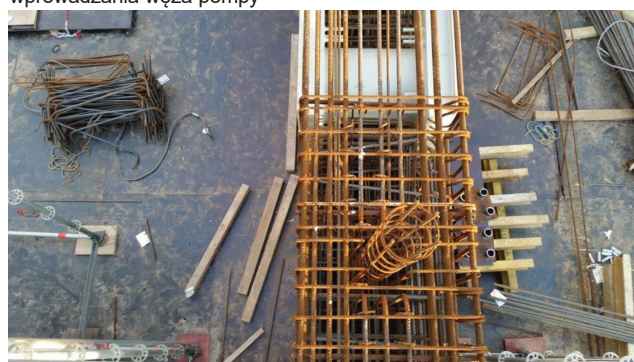
Ze względu na duże gabaryty betonowych elementów masywnych, długi czas robót przygotowawczych oraz czas konieczny do ich wykonania na etapie realizacji należy spodziewać się wielu różnych zagrożeń, które zestawiono w tab. 1.



Rys. 1. Przykład rzeczywistych danych z monitoringu temperatury w jednym miejscu pomiarowym, na różnych wysokościach przekroju elementu



Fot. 1. Przygotowane i oznaczone otwory w zbrojeniu do wprowadzania węża pompy



Fot. 2. Specjalna wkładka zbrojeniowa do głębokiego wprowadzania węża pompy



Fot. 3. Zbrojenie przed przygotowaniem otworów do wprowadzania węża pompy

Tab. 1. Zagrożenia i ich skutki w wykonawstwie betonowych konstrukcji masywnych

Zagrożenia	Efekt
możliwość powstania zimnych styków jako skutek długiego czasu trwania układania kolejnych warstw mieszanki betonowej (kilku do kilkunastu godzin), przeważnie przekraczającego czas początku wiązania bez użycia domieszek opóźniających	brak ciągłości konstrukcyjnej elementu, możliwość penetracji czynników agresywnych
możliwość pęknięć i zarysowań betonu dojrzewającego w dużym bloku wskutek naprężeń wywołanych różnicowanymi odształceniami termicznymi w różnych częściach uformowanego elementu, nagrzewanego od środka ciepłem wyzwalanym w trakcie egzotermicznych reakcji hydratyzującego cementu, a jednocześnie chłodzonego powierzchniowo przez emisję do otoczenia	rozszczerzenie struktury betonu, nawet podział elementu na mniejsze części, zmiana schematu statycznego konstrukcji, utrata funkcji tłumiących drgania itp.
brak utrzymania systematyczności układania mieszanki zarówno w rzucie elementu, jak i w zakresie grubości poszczególnych warstw, oraz systematyczności jej zagęszczania wibratorami pograżalnymi jako skutek braku przygotowania wyznaczonych miejsc wprowadzania węża pompy lub wibratorów w ukształtowanym szkielecie zbrojenia	segregacja mieszanki, raki w betonie, gniazda kruszywowe, odmienne właściwości betonu w różnych miejscach formowanego elementu, braki w otuleniu prętów zbrojenia itp.
niekontrolowane przepływy mieszanki układanej w zbyt grubych warstwach	segregacja mieszanki, różnicowanie właściwości betonu w różnych miejscach konstrukcji
utrudniona obserwacja układanych oraz zagęszczanych dolnych warstw mieszanki, zwłaszcza w przypadku elementów grubych i szczególnie w trakcie betonowania nocą	segregacja mieszanki, raki w betonie, odmienne właściwości betonu w różnych miejscach formowanego elementu, braki w otuleniu prętów zbrojenia itp.
zmęczenie i znużenie czynnościami powtarzającymi się przez kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt godzin – upraszczanie lub pomijanie np. systematycznego rozkładania czy wibrowania, brak koncentracji w miejscach dużego zagęszczenia prętów zbrojeniowych, pomijanie kontroli parametrów dostarczanego betonu (zwłaszcza konsystencji)	możliwa kompilacja wszystkich wskazanych powyżej efektów



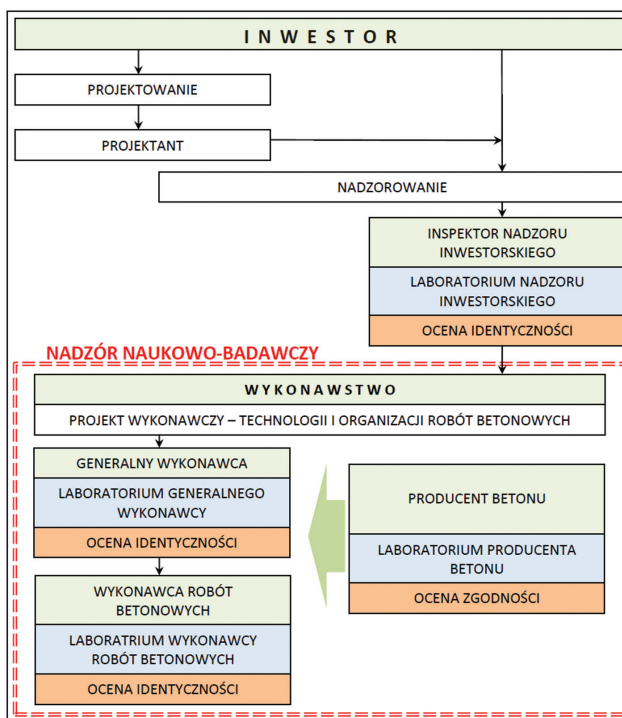
Fot. 4. Przygotowywanie deskowania i zbrojenia elementu o skomplikowanym kształcie



Fot. 5. Prawidłowe rozkładanie kolejnej warstwy betonu



Fot. 6. Rozkładanie mieszanki i jej wibrowanie w miejscu dużego zagęszczenia zbrojenia



Rys. 2. Zakres nadzoru naukowo-badawczego przy realizacji masywnych konstrukcji betonowych (klasa wykonania 3, klasa pielęgnacji 4, pielęgnacja termiczna) [2]

Planowanie robót betonowych – dokumentacja

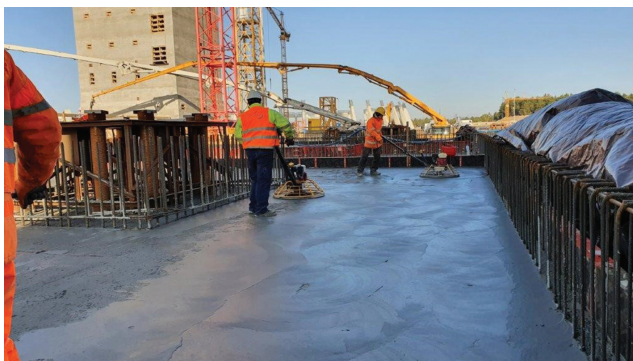
Betonowanie masywnych wielkogabarytowych elementów konstrukcyjnych bezwzględnie wymaga opracowania dokumentacji wykonawczej [2]. Wynika to wprost z zapisów normy PN-EN 13670 [3] dotyczącej wykonywania konstrukcji betonowych, która powiązana jest bezpośrednio z normami do projektowania, czyli Eurokodami 2 i 4 [4, 5], oraz normą dotyczącą betonu jako materiału konstrukcyjnego PN-EN 206 [6] – zakłada ona bowiem, że każde wykonawstwo konstrukcji betonowej ma być realizowane na podstawie kompletnego projektu konstrukcji (specyfikacji wykonawczej). W dokumentacji wykonawczej dla przedmiotowego przypadku, czyli „robót betonowych mających znaczenie dla nośności i trwałości konstrukcji”, powinna być wskazana najwyższa „klasa wykonawstwa”, czyli klasa „3”, która określa wymagany najwyższy poziom zarządzania jakością.



Fot. 7. Uszorstnianie powierzchni styku następnego etapu betonowania



Fot. 8. Zalewanie zaczynem szcpepnym powierzchni styku starego betonu z nowym



Fot. 9. Wykańczanie górnej powierzchni bloku fundamentowego

W opracowanym Projekcie Technologii i Organizacji Betonowania określającym wymagania w zakresie sprzętowo-osobowym, który jest elementem dokumentacji wykonawczej, powinny znaleźć się w szczególności instrukcje dotyczące:

- technologii betonowania konstrukcji (elementu),
- monitoringu temperatury,
- pielęgnacji betonu,
- kontroli jakości mieszanki betonowej i betonu.

Część obejmująca technologię betonowania powinna opisywać wszystkie operacje, czynniki i ograniczenia związane z prawidłowym procesem prowadzenia robót. Zasadniczym jej elementem jest prawidłowo dobrana receptura betonu. Na jej podstawie ma być wyliczony przewidywany wzrost temperatury Δt wewnątrz dojrzewającego elementu oraz oszacowana temperatura maksymalna t_{max} , po uwzględnieniu przewidywanej temperatury wbudowywanej mieszanki betonowej i przewidywanej temperatury otoczenia wykonanej konstrukcji. Uwzględniając gabaryty elementu masywnego, powinien być określony czas $T_{t,max}$ wystąpienia maksymalnej temperatury od momentu rozpoczęcia betonowania. Informacje te pozwolą na zaprogramowanie właściwej pielęgnacji termicznej betonu dojrzewającego w elemencie. Mieszanka betonowa powinna mieć ustalony czas prze-

Z uwagi na długi czas trwania betonowań masywów (nawet kilka dni) w projekcie należy określić brzegowe warunki atmosferyczne do prowadzenia robót, a ryzyko ich przekroczenia powinno prowadzić do rezygnacji rozpoczęcia.

robu, który może być dość szeroko i precyzyjnie sterowany dozowaniem domieszki opóźniającej, nawet w zakresie kilkudziesięciu godzin.

Ważnym elementem projektu jest dobór węzłów betoniarskich koniecznych do uzyskania oczekiwanej wydajności oraz zaprogramowanie logistyki dostaw mieszanki na budowę. Adekwatnie do gabarytów elementu i dostępnej przestrzeni w ramach placu budowy muszą zostać dobrane pompy do betonu o potrzebnym wysięgu wraz z ich ustawieniem względem konstrukcji. We wszystkich martwych polach zasięgu pomp w obrębie konstrukcji konieczne jest dobranie innych środków zapewniających prawidłowe wbudowywanie mieszanki.

Na etapie programowania procesu betonowania należy przyjąć ogólną metodę formowania masywu. Przy obecnie stosowanych polikarboksylianowych domieszkach upłynniających oraz odpowiednim opóźnieniu czasu wiązania w zasadzie jedyną możliwą metodą jest formowanie warstwami poziomymi (przy bardzo długich elementach – długimi skosami). Charakterystyka reologiczna urabialności mieszanki nie pozwala na wbudowywanie w krótkich stromych skosach, gdyż każde dostarczenie energii do wbudowanej mieszanki betonowej (uderzenie od świeżych jej porcji wyrzucanych z węża pompy, wibrowanie sąsiednich miejsc) powoduje jej ponowne pobudzenie do płynięcia, z reguły niekontrolowanego.

Z uwagi na długi czas trwania betonowań masywów (nawet kilka dni) w projekcie należy określić brzegowe warunki atmosferyczne do prowadzenia robót, a ryzyko ich przekroczenia powinno prowadzić do rezygnacji rozpoczęcia. Projekt nie może przewidywać ich przzerwania.

W projekcie wykonawczym, zgodnie z wymogami normy PN-EN 13670 [3], powinna być ustalona „klasa pielęgnacji 4”, natomiast w odniesieniu do pielęgnacji termicznej należy zaprojektować instalację monitorującą temperatury dojrzewającego betonu w wykonanym elemencie.

Do wszystkich zaplanowanych procesów muszą być dobrane odpowiednie zasoby ludzkie i sprzętowe, przewidujące odpowiednie rezerwy w tym zakresie oraz wykluczające jakiegokolwiek przerwy technologiczne zwiększające ryzyko wadliwego wykonania elementu.

Roboty przygotowawcze

Przed rozpoczęciem betonowania elementu masywnego muszą zostać zakończone wszystkie roboty związane z montażem deskowania oraz zbrojenia wraz z markami i elementami wyposażenia konstrukcji na stałe wbudowywanymi w beton, zgodnie z zaleceniami PN-EN 13670 [3] (fot. 4., 7., 8.).

W górnym zbrojeniu muszą być przygotowane otwory umożliwiające wprowadzenie węża pompy (fot. 1–4.), tak aby mieszanka betonowa nie spadała z większej wysokości niż 1 m (fot. 5., 6.). Otwory powinny być rozmieszczone w miarę możliwości regularnie, w odstępach nie większych niż 3 m, oraz trwale oznaczone jaskrawą farbą, by były wyraźnie widoczne, także w nocy, aż do betonowania ostatniej warstwy.



Fot. 10. Montaż instalacji monitoringu temperatur dojrzewającego betonu w elemencie



Fot. 11. Pielęgnacja wilgotnościowa powierzchni betonu



Fot. 12. Pielęgnacja termiczna zabetonowanego bloku fundamentowego

Kontrola dostaw betonu i pielęgnacja betonu w czasie dojrzewania

Najważniejsze w tej kontroli jest rozróżnienie kompetencji w zakresie prowadzonych badań. Bezwzględnie obowiązkowe są badania wykonywane przez producenta betonu w ramach prowadzonej przez niego kontroli zgodności. Badania wykonywane przez odbiorcę betonu z punktu widzenia normy PN-EN 206 [6] są jego prawem, ale uwzględniając przyjętą najwyższą „klasę wykonawstwa”, czyli klasę „3”, stają się obowiązkowe, gdyż konieczny jest w tej klasie nadzór i kontrola niezależna.

Badania producenta powinny być realizowane w miejscu dostawy oraz z częstotliwością określoną w normie. Z kolei badania identyczności, także wykonywane w miejscu dostawy, wymagają ustalenia programu badań.

Uzyskiwane z monitoringu temperatury dane (rys. 1) są podstawą do podejmowania decyzji w zakresie docieplania lub odsłaniania poszczególnych stref wyrównanej i zatartej powierzchni elementu (fot. 9.). Celem tych operacji jest zrównoważenie temperatur wewnątrz dojrzewającego elementu. Energia cieplna wyzwana w wyniku

reakcji chemicznych procesu hydratacji cementu ogrzewa element od środka. W tym samym czasie następuje powierzchniowe wychładzanie elementu. Ograniczenie emisji ciepła materiałem izolacyjnym powoduje wyrównywanie się temperatury w poszczególnych częściach elementu. Właśnie to sterowanie izolacyjnością powierzchni emitujących ciepło (na podstawie prowadzonego monitoringu temperatury (fot. 10.)) ma być prowadzone w taki sposób i w takim zakresie, by nie dopuścić do powstania gradientu temperatury większego niż dopuszczony projektem wykonawczym (fot. 11., 12.). Pielęgnację termiczną prowadzi się do takiego schłodzenia elementu, gdy zanika zagrożenie nadmiernym gradientem.

Podsumowanie

Ze względu na znaczenie techniczne i ekonomiczne masywnych elementów betonowych oraz poziom złożoności procesów technologicznych przy ich wykonywaniu konieczne jest ich nadzorowanie już od momentu definiowania założeń technologicznych aż po zakończenie zabiegów pielęgnacyjnych. Oprócz standardowego nadzoru własnego wykonawcy robót betonowych i nadzoru inwestorskiego, które dotyczą odpowiedzialności za pewien wycinek zadań, potrzebny jest nadzór o charakterze ogólnym oraz całościowym. Można go zdefiniować jako nadzór naukowo-badawczy, zapewniający koordynację wszystkich czynności kontrolnych i doradczych. Schemat takiego modelu wzajemnych powiązań nadzoru przy realizacji wielkogabarytowych konstrukcji betonowych przedstawiono na rys. 2. Wdrożenie go zdecydowanie zmniejsza ryzyko wystąpienia błędów wykonawczych, zwłaszcza tych wynikających z rutyny oraz zmęczenia bezpośrednich wykonawców, zmęczonych długotrwałym procesem przygotowawczym przy montażu zbrojenia i deskowania, a także samym betonowaniem.

Literatura

- [1] Urban T., Walendziak R., Goldyn M., 2020, O problemach realizacyjnych fundamentu pod turbozespół, *Builder* 04 (273), DOI: 10.5604/01.3001.0013.8786.
- [2] Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Rola nadzoru przy wykonywaniu masywnych konstrukcji betonowych, IX Konferencja „Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność” Wisła 10–12 paź-dziernika 2016, Monografie Technologii Betonu, tom 1, s. 269–285.
- [3] PN-EN 13670:2011 – Wykonywanie konstrukcji betonowych.
- [4] PN-EN 1992 – Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu.
- [5] PN-EN 1994 – Eurokod 4 Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych.
- [6] PN-EN 206 – Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8020

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Bajorek Grzegorz, Barć Maciej, 2022, Wybrane aspekty kontroli jakości robót betonowych konstrukcji masywnych, „Builder” 4 (297). DOI: 10.5604/01.3001.0015.8020

Streszczenie: W artykule przedstawiono zasady nadzoru nad jakością betonu i robót betonowych w realizacji elementów masywnych. Opisano główne zagrożenia w ich wykonawstwie, po czym wskazano działania konieczne do ich właściwego przygotowania. Zwrócono uwagę na prawidłową kontrolę dostaw betonu oraz pielęgnację w trakcie dojrzewania. W podsumowaniu zaproponowano model działania nadzoru w wykonawstwie konstrukcji wielkogabarytowych.

Słowa kluczowe: beton, konstrukcje masywne, kontrola jakości, pielęgnacja

Abstract: SELECTED ASPECTS OF QUALITY CONTROL OF CONCRETE WORKS ON MASSIVE STRUCTURES. The article presents the principles of supervision concrete and concrete works quality during execution of massive structures. The main threats to their execution were described, and then the activities necessary for their proper preparation were indicated. The attention was paid to the correct control of concrete supplies and curing of maturing concrete. Summing up, a model of supervision operation in the execution of large-size structures is proposed.

Keywords: concrete, massive structures, quality control, curing