



Zagrożenia w betonowaniu w warunkach zimowych

1. Wprowadzenie

Wiadomo, że zasadniczym zagrożeniem w robotach betonowych w okresie zimowym są niskie temperatury, które mogą przyczynić się nawet do całkowitej destrukcji świeżo wbudowanego betonu. Negatywne skutki obniżonych temperatur skupiają się w dwóch zasadniczych problemach – pierwszy – to zamarznięcie świeżego betonu w stanie jego pełnego nasycenia wodą i nieodwracalne uszkodzenie struktury, drugi – to spowolnienie procesów hydratacji istotnie opóźniające osiągnięcie wymaganej wytrzymałości operacyjnej betonu (demontaż deskowania, demontaż podpór, zakończenie pielęgnacji itp.).

Wiadomo także, że najskuteczniejszym sposobem zapobiegania takim zagrożeniom jest prawidłowo prowadzona ochrona i pielęgnacja zaformowanego i dojrzewającego betonu w elemencie konstrukcyjnym [np. 1, 2, 3, 4, 5]. Tym razem artykuł dotyczy pewnych szczegółów technologicznych, które mogą urosnąć do problemów wielkiej rangi – zwłaszcza w dobie wszechobecnego wyścigu do minimalizacji kosztów produkcji i wykonawstwa.

2. Temperatura betonu/mieszanki betonowej

W myśl sformułowania zawartego w normie PN-EN 13670 „Wykonywanie konstrukcji z betonu” [6] najważniejszym z zaleceń koniecznych do przestrzegania w okresie zimowym jest punkt (12) w rozdz. 8.5, który brzmi: „temperatura powierzchni betonu **nie powinna spadać poniżej 0°C**, dopóki wytrzymałość na ściskanie w jego warstwie powierzchniowej nie osiągnie wartości co najmniej 5 MPa”. Spełnienie tego warunku pozwala oczekiwać, że nie nastąpi destrukcja struktury od rozsadzania wypełnionych zamarzającą wodą porów w betonie.

Jak zatem zapewnić spełnienie tego warunku? Obecnie na budowach najchętniej stosowaną i pra-

wie wyłączną metodą jest wbudowanie mieszanki betonowej o odpowiedniej temperaturze i takie jej zabezpieczenie izolacją termiczną, by rozpoczęły się egzotermiczne reakcje hydratacji cementu. Przy dalszym dobrym zabezpieczeniu termicznym następuje samonagrzewanie elementu i tym samym podtrzymanie tempa procesów dojrzewania betonu. Aby rozwikłać sformułowane wyżej stwierdzenia „odpowiednia temperatura mieszanki” oraz „takie zabezpieczenie izolacją termiczną”, każdorazowo trzeba poddać analizie indywidualny przypadek betonowanego elementu i wszystkich czynników technologicznych mających wpływ na sukces zastosowanej metody.

Przed wszystkim wydawać by się mogło, że im niższa temperatura otoczenia, tym trzeba zastosować cieplejszą mieszankę betonową. W pewnym zakresie tak, ale przy coraz niższych temperaturach otoczenia można doprowadzić do absurdu technologicznego. Za taki można uznać wymogi wycofanej już normy PN-S-10040:1999 [7] dotyczącej betonowych konstrukcji mostowych, ale idea ta ciągle jest żywa, zwłaszcza wśród starszej kadry inżynierskiej. Otóż norma ta generalnie zaleca wykonywanie robót betonowych wyłącznie przy temperaturach otoczenia nie mniejszych niż +5°C – dopuszcza jednak wyjątkowo prowadzenie robót do minus 5°C, pod warunkiem jednak, że wbudowywana mieszanka betonowa będzie miała temperaturę +20°C. Trzeba w tym przypadku jednak uruchomić odrobinę wyobraźni, jak bardzo można takim postępowaniem zaszkodzić materiałowi konstrukcyjnemu przy niesprzyjających warunkach technologicznych. Przy odległym transporcie, przy tak niskiej temperaturze otoczenia może się okazać, że mieszanka betonowa podczas produkcji powinna mieć temperaturę na poziomie ok. +30°C. To zagraża nieoczekiwanemu przyspieszeniu procesów wiązania mieszanki – ale i niespodziewa-

nemu, przecież dookoła jest zimno. By tak wysoką temperaturę uzyskać, trzeba podgrzać składniki betonu nawet o kilkadziesiąt stopni – zwykle składowane w zasiekach lub silosach, wyjściowo mogą mieć temperaturę otoczenia. Nawet najlepsze systemy podgrzewania kruszywa w powszechnie stosowanych zakładach produkcyjnych betonu towarowego nie są w stanie zapewnić ciągłego równomiernego nagrzewu materiału zużywanego w trakcie wytwarzania. Z reguły rzeczywistość wygląda tak, że pierwsze dwie, trzy betonomieszarki samochodowe tuż po rozpoczęciu produkcji zapełnia się betonem znacznie przegrzanym – bo w ramach przygotowań do betonowania kruszywo nagrzewało się przez kilka godzin wcześniej. Dalsze natomiast mają już temperatury znacznie poniżej oczekiwań, bo wydajność kotła grzewczego nie nadąża za zapotrzebowaniem.

Trzeba tutaj jeszcze zwrócić uwagę na jeden istotny niuans dotyczący podgrzewania kruszywa – w ciągłym procesie podgrzewania surowców poszczególne ziarna nie są równomiernie ogrzane w całej swojej masie. Warstwy bliskie powierzchni ziarna są przegrzane, a wewnętrzne niedogrzone. Rozkład temperatur wewnątrz ziaren stabilizuje się później w procesie transportu czy wbudowywania, a to może wpływać na negatywne zróżnicowanie właściwości w skali mikrostruktury materiału, a nawet powodować mikrouszkodzenia warstwy stykowej: kruszywozaczyn.

Podsumowując temat temperatury wbudowywanej mieszanki betonowej najlepiej trzymać się jako zasady zaleceń normy PN-EN 206:2014-04 [8] sformułowanych w p. 5.2.9:

- „temperatura mieszanki betonowej w momencie dostawy nie powinna być niższa niż $+5^{\circ}\text{C}$ (...)”.

Taki poziom temperatury mieszanki w żadnym wypadku nie zagraża jakimikolwiek negatywnymi skutkami ubocznymi. Trzeba tylko zadbać, by po wbudowaniu nie nastąpiło wychłodzenie do temperatury niższej niż 0°C , aż do osiągnięcia przez beton wy-

trzymałości bezpiecznej dla pierwszego możliwego zamarznięcia jego struktury, czyli 5 MPa. Trzeba też zadbać, zwłaszcza w zależności od składu betonu (cementu w szczególności), by uruchomiła się wystarczająco intensywna hydratacja wyzwalamąca wystarczającą ilość ciepła, co najmniej do podtrzymania dodatniej temperatury dojrzewającego betonu.

3. Domieszki w betonowaniu zimowym

Odnosnie roli domieszek we wspomaganii betonowania w okresie zimowym trzeba przypomnieć generalną zasadę, że nie istnieje taka domieszka, która zastąpiłaby przedstawione powyżej wymogi temperaturowe dla betonu we wczesnym okresie dojrzewania [5, 9]. Niestety, zastosowanie domieszek tzw. przeciwmrozowych nagminnie znieczula wykonawców robót do jakiegokolwiek ochrony świeżo zaformowanego elementu. Żadna domieszka nie zabezpieczy betonu przed zamarznięciem. Może natomiast przyspieszyć i zintensyfikować procesy hydratacji, tak by skrócić ten trudny dla betonu okres.

4. Cementy wolne/szybkie

Wykonawca robót bezwzględnie musi posiadać wiedzę odnośnie rodzaju cementu zastosowanego w danej recepturze betonu. Informacja ta w przypadku betonu towarowego projektowanego nie jest obligatoryjnie przekazywana wykonawcy przez producenta betonu. Dlaczego to takie istotne?

W ostatnich latach, z roku na rok, zwiększa się udział w rynku cementów innych niż CEM I, które z reguły charakteryzują się wolniejszymi lub znacznie wolniejszymi przyrostami wytrzymałości wczesnych i mniejszym ciepłem hydratacji. Zastępują je cementy CEM II z dużą zawartością (B) składników innych niż klinkier portlandzki – w Polsce głównie z popiołem lotnym (V) lub mielonym granulowanym żużlem wielkopiecowym (S), lub zastępują je cementy hutnicze CEM III, w których jest bardzo duży udział zmielnego żużla wielkopiecowego. W wielu przypadkach



Wykonywanie robót betonowych zimą z zastosowaniem ciepłaka

ich użycie zdecydowanie poprawia walory użytkowe wykonanego z nich betonu, ale..., ale w zimie są one **bardzo wymagające!!!** Wolniejsze lub zdecydowanie wolniejsze od cementów CEM I, wyzwajające znacznie mniej ciepła w trakcie hydratacji – i to w laboratoryjnych warunkach temperaturowych. Im niższa temperatura mieszanki betonowej, tym różnice te w porównaniu z CEM I jeszcze bardziej się rozjeżdżają. Producenci betonu chętnie po nie sięgają, bo z reguły są produktami tańszymi, ale zapominają (lub nie chcą pamiętać), że w Polsce jesteśmy skazani na zmienne warunki środowiskowe skorelowane z porami roku. Pozostają z takimi recepturami również na okres zimowy, niechętnie informując odbiorców o konieczności szczególnego postępowania ochronnego i pielęgnacyjnego. Interes ekonomiczny jest po jednej stronie tylko, a nieświadomy odbiorca kupuje towar z zagrożeniami. Producent pozostaje czysty, bo badając beton w ramach kontroli zgodności, odnosi go do laboratoryjnych warunków dojrzewania. A w konstrukcji bez odpowiedniej ochrony i pielęgnacji tych parametrów może nie osiągnąć nigdy! Czy to oznacza zatem, że nie wolno stosować w zimie cementów innych niż CEM I? Nic bardziej mylnego – często jest to konieczne z powodu innych (np. trwałościowych) wymogów stawianych betonowi. Ale znów – trzeba pamiętać o spełnieniu co najmniej wymogów temperaturowych określonych w p. 1 powyżej.

5. Optymalizacja procesów produkcyjnych betonu

Czy tak ładnie, „naukowo”, nazwane działywanie może zagrażać betonowi, a zwłaszcza wykorzystywanemu w warunkach zimowych?

Wspomniany we wstępie wyścig o minimalizację kosztów produkcji wywołany niskimi obecnie cenami betonu na rynku prowokuje producentów do takiego optymalizowania procesów produkcyjnych, że zaczy-

na brakować „zapasów” nawet w normalnych warunkach produkcji. Przy stabilnym jakościowo zestawie surowcowym i dużej produkcji węzła betoniarskiego można doprowadzić skład poszczególnych receptur na granicę akceptowalności. Jeśli doda się do tych zabiegów ocenę zgodności dla rodzin betonów oraz certyfikację Zakładowej Kontroli Produkcji, wchodzi się w inny zakres określonych kryteriami zgodności wartości poszczególnych właściwości betonu. To się oczywiście opłaca – producentowi zwłaszcza. Jest też zgodne z wymogami norm, ale... Ale wymusza znacznie wyższą kulturę wykonawczą robót betonowych, bo ostateczna jakość betonu to także wykonawstwo – sposób transportu, wbudowywania, zagęszczania, ochrony, pielęgnacji itd. Nie ma miejsca na błędy, potknięcia – a ryzyko ich wystąpienia wraz z obniżaniem temperatury znacząco wzrasta. Optymalizacja procesów produkcyjnych to także żonglowanie rodzajami i jakością składników, np. cementu – czego wpływ opisano powyżej w p. 4.

6. Rozdeskowywanie (obciążanie) konstrukcji

Domyślnie, jeśli w projekcie inaczej nie zaznaczono, beton ma osiągnąć swoje pełne parametry w 28. dniu dojrzewania. Pełne parametry potrzebne są do pełnego obciążenia konstrukcji, ale do rozdeskowania już nie. W zależności od rodzaju elementu konstrukcyjnego oczekuje się różnego poziomu wytrzymałości betonu koniecznej do rozdeskowania lub demontażu podpór deskowania. Dla elementów pionowych, typu ściana, czy masywnych – typu stopa (ława, płyta) fundamentowa, możliwość rozdeskowania pojawia się natychmiast po osiągnięciu przez nie samonośności, a ta występuje praktycznie w momencie rozpoczęcia procesów dojrzewania (czyli po uzyskaniu wytrzymałości rzędu kilku MPa). Inaczej jest dla elementów poziomych, typu płyty stropowe, żebra,

Zabezpieczenie folią bąbelkową zabetonowanych elementów konstrukcji



fol. Archiwum autor

podciągi, dla których konieczne jest uzyskanie wysokiego poziomu wytrzymałości (dużej wartości modułu odkształcenia), by nie wystąpiły w nich nadmierne ugięcia od ciężaru własnego. Podobnie może być konieczne obciążenie pali formowanych w gruncie w niedługim czasie po ich wykonaniu, gdy potrzebna jest szybka kontynuacja robót związana z wykonaniem na nich płyty fundamentowej i całej kondygnacji podziemnej. Problem rozdeskowania elementów to nie tylko wymogi związane z osiągnięciem wytrzymałości operacyjnej pozwalającej na wykonanie tych czynności bez szkody dla konstrukcji. To także wysokie koszty związane z dzierżawą elementów systemowych deskowania i zbędnym ich przetrzymywaniem na zaformowanych elementach.

Warunki zimowego betonowania w żadnym wypadku nie sprzyjają przyspieszeniu demontażu deskowania. Procesy hydratacji są spowolnione, narastanie wytrzymałości także. Problemy zapewnienia osiągnięcia wymaganej wytrzymałości rozformowania (obciążenia) są podobne do opisanych wyżej problemów związanych z osiągnięciem wytrzymałości uodparniającej beton na możliwość pierwszego zamarznięcia, ale z reguły bardziej wymagające. Konieczna jest zatem precyzyjna wiedza wykonawcy, z jakim betonem ma do czynienia – jaki rodzaj i klasa cementu, jakie domieszki zastosowano przy wytwarzaniu betonu. Do tego można się wspomagać dodatkowymi informacjami o stopniu zaawansowania dojrzewania betonu poprzez kontrolę aktualnej wytrzymałości betonu w konstrukcji. Mogą to być zgnioty próbek betonowych dojrzewających w warunkach podobnych do tych w wykonanym elemencie konstrukcyjnym. Może to być ciągły pomiar temperatury dojrzewającego betonu i ocena wytrzymałości na podstawie funkcji dojrzalności. Może to być także sprawdzanie wytrzymałości na podstawie badań nieniszczących – np. wyskalowaną metodą sklerometryczną.

Zwrócić tutaj trzeba też uwagę na coraz częstszy praktykę producentów betonu na „uszczęśliwienie” wykonawców produktem, który osiągnie swoje pełne parametry po np. 56 lub 90 dniach dojrzewania – w warunkach laboratoryjnych, trzeba dodać. Słowo „uszczęśliwienie” jest tutaj adekwatne do większości sytuacji, kiedy wykonawca uświadamia sobie ten fakt poprzez doczytanie tej informacji dopisanej drobnym druczkiem na dokumentach dostawy, w chwili, kiedy ma kłopoty z rozdeskowaniem elementu lub z osiągnięciem wymaganej wytrzymałości w trakcie badań sprawdzających. Zagrożenie to ma jeszcze jeden negatywny aspekt. Brak świadomości wykonawcy, że stosowany przez niego beton ma dojrzewać np. 90 dni, by uzyskać pełne parametry, może spowodować, że ten beton nigdy nie osiągnie wymaganych właściwości. Potrzebna jest przecież do tego wydłużona w czasie pielęgnacja wilgotnościowa betonu, tak by nie zabrakło w nim wody jako czynnika koniecznego do hydratacji.

Szczególnym przypadkiem obniżonej temperatury dojrzewania betonu są pale zaformowane w gruncie. Wprawdzie nie grozi im zamarznięcie, ale nie występuje w nich zjawisko wyraźnego samonagrzewania, bo chłodzone są natychmiast przez przylegający do nich grunt. Przyrosty zatem wytrzymałości betonu w konstrukcji są wolniejsze niż określone laboratoryjnie w ramach badań wstępnych. Jeśli zatem stosuje się beton wykonany z cementu hut-



foto: Archiwum autora

niczego CEM III, z dodatkiem popiołu lotnego FA – gdzie obydwa składniki mają pozytywny wpływ na podniesienie trwałości betonu pracującego w środowisku gruntowym, to możemy drastycznie wydłużyć czas możliwego obciążenia takiej konstrukcji. Taki zestaw spoiwowy znacząco spowalnia hydratację przy obniżonej temperaturze dojrzewania.

Zabezpieczenie płyty fundamentowej włókniną, styropianem i osłoną z folii

7. Podsumowanie

Celem tego kolejnego przypomnienia problematyki zimowego betonowania jest ponowne zwrócenie uwagi, że są to warunki specyficzne, zagrażające uzyskaniu pozytywnego efektu końcowego w postaci prawidłowo wykonanego elementu konstrukcyjnego – pozbawionego wad, uszkodzeń, osłabienia struktury. Tak by nie trzeba było rozpoczynać użytkowania konstrukcji od naprawy czy wzmocnienia. Ważne jest także, by możliwości komponowania składu betonu nie dawały korzyści wyłącznie producentowi betonu przy jednoczesnym przerzucaniu obowiązków na wykonawcę robót – dobrze byłoby, gdyby tymi korzyściami (ale jednocześnie ryzykiem) chciał się dzielić z wykonawcą.

dr inż. Grzegorz Bajorek
Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej

Literatura

- 1 Bajorek G., Bobrowicz J., *Problemy prowadzenia robót betonowych w warunkach zimowych*, Konferencja Dni Betonu, Wisła 2006, s. 709-718.
- 2 Bajorek G., *Betonowanie zimą*, Budownictwo, Technologie, Architektura, 4/2007, s. 48-53.
- 3 Bajorek G., *Wspomaganie robót betonowych w okresie zimowym domieszkami do betonu*, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, 1/2009, s. 52-56.
- 4 Bajorek G., *Rola domieszek w betonowaniu zimowym*, Materiały Budowlane 12/2013, s. 20-22.
- 5 PN-EN 13670 *Wykonywanie konstrukcji z betonu*.
- 6 PN-S-10040:1999 *Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania*.
- 7 PN-EN 206:2014-04 *Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- 8 Bajorek G., *Wspomaganie robót betonowych w okresie zimowym domieszkami do betonu*, Konferencja „Dni Betonu – Tradycja i nowoczesność”, Wisła 13-15 października 2008, s. 155-164.