fot. Grzegorz Bajorek

*Usuwanie śniegu i lodu przed betonowaniem*

# Betonowanie zimą

*Wraz z nadejściem zimy, jak co roku, powraca problem prowadzenia robót betonowych w warunkach obniżonych temperatur. Mało jest inwestorów i wykonawców, którzy byliby do tej sytuacji dostatecznie wcześnie i dostatecznie dobrze przygotowani.*

Coroczna praktyka zderzenia się z tymi problemami i liczba popełnianych błędów wskazuje na ciągle małą świadomość w środowisku budowlanym, zarówno w zakresie zagrożeń jak i przeciwdziałań tym zagrożeniom. Skutki zaniedbań mogą mieć nawet charakter katastrofy budowlanej, np. [1].

**1. Zagrożenia dla robót betonowych spowodowane zimą**

Zagrożenie dla robót betonowych dotyczy dwóch podstawowych aspektów. Pierwszy to znaczące spowolnienie procesów wiązania i twardnienia betonu – powoduje to opóźnienia w uzyskiwaniu przez wykonane elementy konstrukcyjne oczekiwanej nośności w odniesieniu do możliwości ich rozdeskowania czy obciążania konstrukcyjnego. Drugi, znacznie groźniejszy, to uszkodzenia struktury świeżego betonu wskutek jego przemrożenia. Ich źródłem jest bardzo proste zjawisko fizyczne związane ze zwiększeniem się objętości wody (cieczy) w trakcie przemiany fazowej w lód (ciało stałe). Najmniejszą objętość zajmuje woda o temperaturze +4°C. Zarówno jej podgrzewanie, jak i oziębianie powoduje zwiększanie objętości, ze skokową zmianą w trakcie przemiany fazowej, wynoszącą 9,2%. Jeśli w trakcie zamarzania woda ma swobodę odkształcania, to po zamarznięciu odkształci się, nie czyniąc żadnych szkód. Jeśli natomiast jest uwięźnięta w zamkniętym naczyniu (przestrzeni), a takim właśnie są pory w betonie, rozsadza je, gdy tylko naprężenia wywołane pęcznieniem przekroczą wytrzymałość otaczającej materii na rozciąganie.

W świeżym betonie występuje kumulacja zjawisk negatywnych. Po pierwsze, struktura przesycona jest wodą, bo ta nie zdążyła jeszcze przereagować z cementem a także odparować. Nie zdążyła odparować, bo przy niskich temperaturach tempo parowania jest mniejsze, a poza tym kłóci się to z zasadą koniecznej pielęgnacji betonu wymagającej stałego nasycenia struktury wodą przez ustalony okres. Po drugie, wytrzymałość betonu na rozciąganie (która jest co najmniej kilkukrotnie mniejsza od wytrzymałości na ściskanie) w początkowej fazie jest znikoma, prawie niezauważalna. Ważne jest zatem, kiedy beton zamarznie po raz pierwszy.

Powszechnie uważa się za najgorszy do zamarznięcia okres dojrzewania betonu od chwili określanej jako początek wiązania do momentu, kiedy osiągnie on wytrzymałość tzw. „krytyczną". Zrywane są wtedy te pierwsze, najważniejsze więzy krystaliczne świeżo budującej się struktury hydratyzującego cementu. Zniszczenie ich powoduje nieodwracalne negatywne skutki dla wytrzymałości betonu na ściskanie. Wymaga się zatem, aby beton w momencie pierwszego zamarznięcia wykazywał wytrzymałość co najmniej 5 MPa. Jest to wartość najczęściej podawana w literaturze [np. 2, 3], przy czym najbardziej radykalnie sformułowano to w Prenormie Europejskiej ENV 13670-1 [4], tzn. *„temperatura powierzchni betonu nie powinna spadać poniżej 0°C, dopóki powierzchnia betonu nie osiągnie wytrzymałości, przy której jest odporna na zamarzanie bez uszkodzeń (zazwyczaj gdy $f_c$ > 5 MPa)"*. Stwierdzenie to jest o tyle radykalne, że temperatura zamarzania wody w betonie jest zawsze niższa niż 0°C. Dodatkowo, w literaturze [2, 5] rozróżnia się odporność pełną – gdy beton narażony na działanie czynników atmosferycznych uzyskał wytrzymałość na ściskanie co najmniej

5 MPa przy użyciu cementów portlandzkich czystych (CEM I), 8 MPa przy użyciu cementów portlandzkich z dodatkami (CEM II, CEM IV, CEM V) i 10 MPa przy użyciu cementów hutniczych (CEM III), oraz odporność warunkową – gdy stwardniały beton nie jest narażony na bezpośredni wpływ wilgoci, a wykonane elementy lub konstrukcje znajdują się pod dachem lub są odpowiednio osłonięte. Przy odporności warunkowej pozostaje wymóg osiągnięcia co najmniej 5 MPa, bez względu na rodzaj cementu, natomiast przy odporności pełnej rozróżnia się beton ze względu na rodzaj cementu, z uwagi na odmienny charakter hydratacji, a zwłaszcza jej dynamiki.

Przyjęło się również uważać, że nie jest szkodliwe zamarznięcie betonu przed rozpoczęciem procesu wiązania. Istotnie, nie następuje wtedy destrukcja struktury, bo nie zaczęła się ona jeszcze budować – woda po zamarznięciu powiększa swoją objętość i rozpulchnia strukturę mieszanki betonowej. Stając się ciałem stałym, praktycznie wyhamowuje procesy hydratacji. Procesy hydratacji w stanie zamrożenia przebiegają w bardzo wolnym tempie nawet w temperaturze -10°C. Po rozmrożeniu reakcje przyspieszają i przebiegają dalej normalnie. Nie można jednak wymagać, aby zamrożenie w ogóle nie zaszkodziło betonowi. Rozpulchnienie mieszanki w znacznej swej części jest nieodwracalne, musi więc skutkować zmniejszeniem wytrzymałości na ściskanie. Teoretycznie można by temu zapobiec poprzez ponowne zagęszczenie betonu po rozmrożeniu, ale nietrafienie w odpowiedni możliwy moment z tą czynnością może dać skutek odwrotny i zaszkodzić betonowi, zwłaszcza gdyby rozpoczął się już proces wiązania. Dotychczasowe doświadczenia [6] dowodzą, że wpływ zamrożenia betonu na wytrzymałość betonu na ściskanie przed rozpoczęciem procesu wiązania jest z reguły niewielki. Zjawisko to czasami jest wykorzystywane w strefach klimatycznych z długotrwałym okresem temperatur mrozowych (Syberia, Alaska) przy betonowaniu konstrukcji mniej odpowiedzialnych, np. podbudów, fundamentów – wbudowuje się mieszankę betonową, po czym pozwala się na jej zamarznięcie, a później dojrzewanie po rozmrożeniu w krótkotrwałym okresie temperatur dodatnich.

Przedstawione wyżej uwagi odnoszą się do zagrożeń dla wytrzymałości betonu na ściskanie. O ile ten wpływ może być mniej lub bardziej znaczący z uwagi na zaawansowanie dojrzewania, to należy tutaj wyraźnie stwierdzić, że zawsze bardzo negatywnie odbija się to na innych parametrach betonu, ważnych ze względu na trwałość betonu. Chodzi tutaj zwłaszcza o nasiąkliwość, wodoszczelność czy mrozoodporność. Doświadczenia własne dowodzą, że przy stracie wytrzymałości na ściskanie betonu zamrożonego przed rozpoczęciem procesu wiązania, sięgającej kilku do kilkunastu procent (można powiedzieć – strata znikoma), może nastąpić całkowita utrata wodoszczelności czy mrozoodporności. Zdarzały się przypadki w badaniach wodoszczelności betonu, że następował przeciek wody w kilka minut po zainstalowaniu próbek w aparacie i wprowadzeniu ciśnienia. Rozpulchnione przestrzenie z zamrożoną wodą zarobową wytwarzają strefy specyficznych połączeń kapilarnych, całkowicie rozszczelniających strukturę betonu – a ta, jako otwarta, narażona jest na agresywne oddziaływanie czynników środowiska [7].

Należy jeszcze zwrócić uwagę na istotny problem – wszystkie powyższe stwierdzenia dotyczą możliwości pojedynczego zamarznięcia dojrzewającego betonu. Nie można tych zagadnień mylić (a ma to często miejsce) z mrozoodpornością betonu, czyli odpornością na cykliczne zamrażanie i odmrażanie.

**2. Betonowanie w obniżonych (ujemnych) temperaturach**

Najczęściej cytowanymi wytycznymi dla robót budowlanych prowadzonych w okresie zimowym, w tym betonowych, jest Instrukcja ITB nr 282 [2]. Bardzo często w dokumentacji, czy to projektowej czy wykonawczej, nie formułuje się zasad określonych w tej instrukcji, a tylko jest przywołana jako dokument, według którego należy realizować roboty przy obniżonych temperaturach. Jest to wygodne dla uczestników procesu budowlanego występujących po stronie nadzoru, bo uważają, że tym sformułowaniem i odniesieniem załatwiony jest problem robót w okresie zimowym, ale niestety dość uciążliwe dla wykonawców robót. Ten

fot. Grzegorz Bajorek

*Betonowanie ślizgowe – osłona i nagrzewanie strefy betonowania*

fot. Grzegorz Bajorek

*Osłona dobetonowanej części fundamentu*

dość obszerny dokument wymaga rozsądnego stosowania, gdyż w wielu miejscach zdezaktualizował się wobec galopującego postępu w technologiach budowlanych. Trzeba zatem umiejętnie wybrać z niego te podstawowe niezmienne reguły postępowania i połączyć je z najnowszymi osiągnięciami technologiczno-materiałowymi.
Interpretacja przywołanej instrukcji [2] sprowadza się do generalnej zasady, by „pozwolić betonowi dojrzewać" – bez względu na zewnętrzne temperatury atmosferyczne – należy zapewnić mu takie warunki, aby został dobrze wbudowany w konstrukcję, a następnie aby mogły prawidłowo postępować procesy hydratacji.

**Produkcja betonu**

Wyjaśniając po kolei, najpierw należy ocenić w odniesieniu do danych warunków temperaturowych możliwości wyprodukowania wymaganej ilości betonu o wymaganej temperaturze przy wbudowywaniu – norma PN-EN 206-1 [8] określa konieczność zapewnienia minimalnej temperatury wbudowywanego betonu na poziomie +5°C. Należy wziąć pod uwagę nie tylko fakt wyposażenia węzła betoniarskiego w instalację do podgrzewania kruszyw czy wody. Konieczne jest poddanie analizie zarówno sposobu działania, jak i wydajności takiej instalacji. Należy uwzględnić, że spadek temperatury zewnętrznej to wzrost gradientu temperatury betonu w stosunku do otoczenia, a to oznacza wzrost strat ciepła na każdym etapie procesu produkcyjnego. Trzeba zwrócić uwagę na sposób podgrzewania materiałów składowych – czy odbywa się to w większych porcjach (np. zasiekach dla kruszywa), czy w sposób ciągły (w zasobnikach operacyjnych), czy grzanie kruszywa następuje w całej masie ziaren, czy tylko powierzchniowo, czy nie następuje przegrzanie pewnych partii kruszywa (zwłaszcza początkowych).

**Transport betonu**

Transport betonu z wytwórni na budowę musi być tak zorganizowany pod względem ilości, rodzaju i jakości sprzętu, aby zapewnić opisaną wyżej minimalną temperaturę wbudowywanego betonu. Zasada ta sama co przy produkcji – im większy gradient pomiędzy temperaturą transportowanego betonu a temperaturą otoczenia, tym większe straty ciepła. Rozważyć więc należy, czy betonomieszarki samochodowe zapewnią zminimalizowanie tych strat. Czy droga transportu (czas transportu) nie jest zbyt długi? Czy ciągłość dostaw zapewni ciągłość pracy pompy do betonu – wszystkie części pompy (betonomieszarek również) to małogabarytowe przekroje metalowe, narażone na duże straty ciepła i zamarzanie betonu wewnątrz, ale także na „obrastanie" zamarzniętym betonem na zewnątrz. Czy zapewnione jest miejsce do rozmrażania sprzętu transportowego (np. ogrzewana hala), tak by jak najszybciej przywrócić go do pracy w przypadkach awaryjnego zamarznięcia mieszanki betonowej (niespodziewane przerwy technologiczne).

**Wbudowywanie betonu**

Następny etap to wbudowywanie mieszanki betonowej. Wymagane jest odpowiednie przygotowanie odpowiednio dużego frontu robót do bezpośredniego prowadzenia betonowania. Deskowanie i zbrojenie powinny być wystarczająco podgrzane i zabezpieczone, aby mieszanka betonowa nie przymarzała do nich. Również grunt, podbudowa, chudy beton, na którym oparte jest deskowanie, nie mogą być zamarznięte. Konieczne jest zapewnienie systematycznego, bieżącego czyszczenia zbrojenia, przez które przelatuje mieszanka betonowa i może przymarzać do niego.

**Pielęgnacja betonu**

Ochrona betonu po wbudowaniu jest tak samo ważna dla uzyskania przez niego projektowanych parametrów, jak wcześniejsze procesy technologiczne. Prawidłowo prowadzona pielęgnacja ma nie dopuścić do zamarznięcia powierzchni betonu (w ogóle betonu) przed osiągnięciem wymaganej wytrzymałości dającej odporność na zamrożenie oraz zapewnić odpowiednią temperaturę dojrzewającego betonu i, rzecz jasna wystarczającą dla nieprzerwanej hydratacji jego wilgotność. Dobór sposobu i czasu trwania tych zabiegów uzależniony jest od wielu czynników:

- temperatury otoczenia
- siły wiatru
- opadów atmosferycznych
- usytuowania wykonanej konstrukcji (ekspozycji na czynniki zewnętrzne)
- masywności wykonanego elementu
- temperatury wbudowanego betonu
- receptury zastosowanego betonu (rodzaj i ilość cementu, wskaźnik w/c, domieszki do betonu, w tym domieszki przeciwmrozowe).

W celu zapewnienia prawidłowych warunków temperaturowych stosowane są w zasadzie trzy metody:

- metoda zachowania ciepła
- podgrzewanie betonu
- cieplaki.

Pierwsza wykorzystuje ciepło dostarczone do mieszanki betonowej w trakcie jej przygotowywania, a później ciepło wyzwalające się w trakcie egzotermicznych reakcji chemicznych hydratacji cementu. W zależności od warunków temperaturowych, re-

ceptury betonu (rodzaj i ilość cementu), rodzaju deskowania, rodzaju i kształtu betonowanego elementu konstrukcyjnego, może być wymagane lub nie stosowanie dodatkowych osłon, w tym izolacyjnych (np. folie, styropian, wełna mineralna, folia bąbelkowa itp.).

Druga metoda, dość trudna w stosowaniu w warunkach placu budowy, oprócz wykorzystywania ciepła jw. przewiduje dostarczenie ciepła dodatkowego. Stosuje się ją zwłaszcza wtedy, gdy chodzi nie tylko o ochronę przed zamarznięciem, ale gdy zależy wykonawcy na szybkim osiągnięciu projektowanych parametrów wytrzymałościowych betonu [konieczność obciążenia elementu, konieczność szybkiego rozdeskowania elementu (koszt deskowań!)]. Stosowane są metody różne: podgrzewanie ciepłym powietrzem, parą niskoprężną, przy pomocy wbudowanej instalacji elektrycznej. Wszystkie wymagają ostrożności i pieczołowitego nadzoru w użyciu, aby nie zaszkodzić betonowi. Na przykład przez przesuszenie powierzchni, przez miejscowe przegrzanie betonu, przez wprowadzenie zbyt dużego gradientu temperaturowego powodującego pęknięcia elementu. W metodzie tej stosowane są również różne materiały i sposoby osłaniania dojrzewającego betonu, jak w metodzie pierwszej.

Trzecia metoda jest najłatwiejsza do zdefiniowania, ale najtrudniejsza i najkosztowniejsza w realizacji. Cieplak to taka osłona, która całkowicie izoluje front robót od czynników zewnętrznych, stwarzając wewnątrz dowolne wymagane warunki, o dowolnym wymaganym czasie trwania.

Odnośnie wymaganej wilgotności betonu w czasie dojrzewania można stwierdzić, że chłody sprzyjają zachowaniu tego warunku. Niższa temperatura otoczenia to znacząco wolniejsze odparowywanie wody. Lekkie przesuszenie betonu, albo mówiąc inaczej wyprowadzenie go ze stanu pełnego nasycenia wodą, sprzyja z kolei odporności w trakcie zamarznięcia – zamarzająca woda ma więcej swobody ekspansji. Nie można jednak dopuścić do zbytniego przesuszenia, takiego które przerywa proces hydratacji – a w niektórych metodach podgrzewania nietrudno o taki efekt, np. nagrzewnice/dmuchawy powietrza, elektronagrzew. Kontrola stanu wilgotności betonu wymaga także szczególnego nadzoru.

**3. Stosowanie domieszek „przeciwmrozowych"**

Stosowanie określnika „przeciwmrozowe" w nazwie domieszek nie ma obecnie specjalnego uzasadnienia, gdyż w aktualnej systematyce wprowadzonej w normie PN-EN 934-2 [9] takie domieszki nie są zdefiniowane. Nazewnictwo takie spotyka się często w piśmiennictwie technicznym, a także w poprzedniej wersji Polskiej Normy [10]. Domieszki przeciwmrozowe zdefiniowane są tam jako:

*... – produkty umożliwiające przebieg reakcji cementu z wodą w ujemnych temperaturach, i są to substancje powodujące:*

- *przyspieszenie wydzielania się ciepła hydratacji cementu i podwyższenie temperatury betonu*
- *obniżenie temperatury zamarzania wody w świeżym betonie*
- *zmniejszenie ilości wody zarobowej przy zachowaniu przyjętej konsystencji,*
- *wytwarzanie w świeżej mieszance dużej liczby mikroskopijnych pęcherzyków powietrza;*

*domieszki te to związki nieorganiczne i organiczne wywierające działania fizyczne i chemiczne w procesach hydratacji.*

Domieszkami przeciwmrozowymi mogą więc być domieszki sklasyfikowane według normy [9] jako przyspieszające wiązanie, przyspieszające twardnienie, redukujące lub silnie redukujące wodę zarobową oraz napowietrzające.

Z określeniem „domieszka przeciwmrozowa" spotykamy się często w kartach katalogowych lub technicznych wielu producentów domieszek. Jeśli nie użyto takiej nazwy, to często w opisie technicznym produktu pojawia się np. treść: „domieszka umożliwia betonowanie w temperaturze do -10°C". Takie zapisy niestety bardzo dezinformują przeciętnego wykonawcę robót betonowych. Z dużym zaufaniem przyjmują te informacje jako pewnik, i stosując wyłącznie domieszki, zapominają o podstawowych zasadach pielęgnacji betonu. Tymczasem ich działanie jest wyłącznie wspomagające – absolutnie nie zastępują pielęgnacji.

Domieszki przyspieszające wiązanie czy twardnie-

fot. Grzegorz Bajorek

*Wydzielona ogrzewana strefa betonowania w deskowaniu ślizgowym*

nie to przeważnie związki chemiczne (sole) bezchlorkowe (bo to zabronione, zwłaszcza dla żelbetu). Mają własności przyspieszające te reakcje, a przy tym zasadniczym ich oddziaływaniem jest obniżenie temperatury zamarzania wody zarobowej w betonie. Woda zarobowa w przeciętnym betonie zamarza przy temperaturze od -1°C do -3°C, co jest skutkiem różnego stężenia roztworu soli będących składnikami cementu. Dodatkowe wprowadzenie domieszki do betonu, która także jest roztworem soli, powoduje zwiększenie stężenia i dalsze obniżenie temperatury zamarzania. Z niektórymi domieszkami można osiągnąć nawet -10°C [11].

Ochronne działanie domieszek napowietrzających polega na tym samym mechanizmie, który powoduje mrozoodporność betonu. Są to zresztą te same domieszki. Duża ilość mikroskopijnie małych banieczek powietrza staje się przestrzenią dla zwiększonej w trakcie zamarzania objętości wody zarobowej.

W przypadku domieszek uplastyczniających lub upłynniających następuje zmniejszenie ilości wody w mieszance betonowej. Efekt w sensie ochrony jest dwojaki. Po pierwsze – wpływa na zwiększenie „zapasu" wytrzymałości, która może być „stracona" wskutek dojrzewania w niskich temperaturach. Po drugie – duże znaczenie ma zmiana właściwości fizycznych cieczy zarobowej – jest jej mniej, więc stężenie jest większe, a to obniża temperaturę jej zamarzania (podobnie jak dla domieszek solnych przyspieszających procesy wiązania lub twardnienia). Dodatkowo maleje ilość wody, która może zamarznąć, zwiększając swoją objętość.

Wiele publikacji jak też badania własne [np. 6, 12] wykazują, że najlepszą efektywność w ochronie młodego betonu w obniżonych temperaturach wykazują domieszki upłynniające. Ich korzystne oddziaływanie jest potwierdzane w zakresie wpływu na wytrzymałość betonu na ściskanie. Dla pozostałych zaś właściwości w zakresie trwałości betonu należy wykluczyć możliwość jego przemrożenia we wczesnej fazie dojrzewania. Dlatego zastosowanie jakichkolwiek domieszek w betonie nie zwalnia wykonawcy robót z przestrzegania zasad czy to Instrukcji ITB [2], czy też nowszych dokumentów normowych [4, 8] – to znaczy: wbudowywania betonu o temperaturze minimum +5°C, oraz ochronę betonu przed zamarznięciem (w prenormie [4] – przed spadkiem temperatury powierzchni betonu poniżej 0°C!), dopóki nie osiągnie wytrzymałości 5 MPa.

**4. Monitorowanie dojrzewania betonu w obniżonych temperaturach**

Większość wytycznych [2, 4, 5] sugeruje, aby dla robót przewidywanych w okresie zimowym przygotowany był wcześniej projekt ich prowadzenia, uwzględniający stopień zagrożenia. Można je podzielić na warunki:

- od +5°C do -3°C
- od -3°C do -10°C
- od -10°C do -15°C

Zaleca się przy tym, aby betonowania konstrukcji w temperaturach poniżej -15°C na wolnym powietrzu nie wykonywać w ogóle. Jasno stąd widać, że inwestowanie w naszym klimacie w roboty w tak ciężkich warunkach jest nieuzasadnione.

Konieczność wykonania takiego dokumentu wynika z zasad, na których opiera się norma dotycząca betonu [8] i towarzysząca jej norma do projektowania konstrukcji – projektant konstrukcji określa klasę betonu, czyli jego wytrzymałość po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych. Jeśli warunki dojrzewania betonu w konstrukcji mogą być odmienne niż laboratoryjne, to problemem wykonawcy robót jest dostosowanie technologii wykonawstwa do tych warunków – tak aby osiągnąć zamierzony przez projektanta cel – a nie odwrotnie. Projekt taki musi uwzględniać wszystkie metody postępowania adekwatne do stopnia zagrożenia.

Czuwanie zatem nad dojrzewaniem betonu w warunkach przeciętnej budowy polega na wykonywaniu i kontrolowaniu czynności zaprogramowanych w projekcie. Osiągane przez beton parametry (prawie wyłącznie wytrzymałość na ściskanie) określane są szacunkowo na podstawie ogólnych obserwacji zjawisk pogodowych i ogólnego doświadczenia

fot. Grzegorz Bajorek

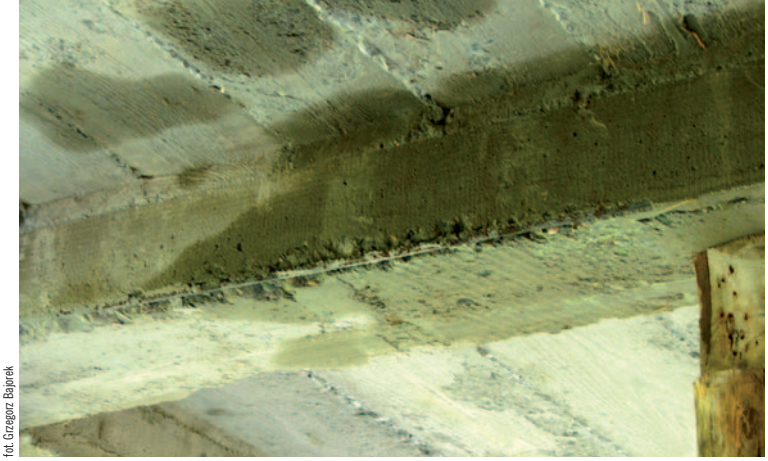
*Zabezpieczenie betonu izolacją ze styropianu*

wykonawcy robót. W przypadku konieczności dokładniejszego śledzenia tempa narastania wytrzymałości, np. w celu podjęcia decyzji o rozdeskowaniu elementu, o usunięciu podpór, o przekazaniu obciążeń na element itp., często wykonuje się dodatkowe próbki świadki i przechowuje w warunkach identycznych z tymi, w których dojrzewa beton. Oczekując od takiego postępowania rzetelnej odpowiedzi, należy rzetelnie przeanalizować problem i wyznaczyć zarówno miejsce przechowywania próbek jak i sposób ich odizolowania od warunków zewnętrznych. Z reguły jest to położenie najpierw form (najlepiej metalowych) z betonem, a później rozformowanych próbek bezpośrednio na zabetonowanym elemencie i owinięcie materiałem izolacyjnym – aby ciepło z dojrzewającego betonu w zasadniczej konstrukcji bezpośrednio wpływało na próbki betonu. Świadkiem takim nie jest ani próbka przechowywana w warunkach laboratoryjnych (tak jak pozostałe próbki do określania klasy betonu), ani próbka przechowywana w warunkach budowy (np. nieogrzewanym magazynie czy biurze budowy), zupełnie odmiennych od tych, w jakich beton rzeczywiście dojrzewa. Czasami zamiast określania wytrzymałości na próbkach świadkach stosuje się nieniszczącą metodę sklerometryczną przy pomocy młotka Schmidta. Jest ona wygodniejsza od próbek, ale wymaga skalowania przyrządu do badań i prowadzenia badań w temperaturach ≥+5ºC (a akurat mamy zimę!).

W nadzorowaniu dojrzewania betonu coraz częściej stosowane są metody, które mierzą inne parametry niż wytrzymałość, w szczególności temperaturę lub wydzielane ciepło [13, 14]. Wcześniej, w ramach badań wstępnych, następuje skalowanie metody dla danej receptury i dostosowanie dla niej „funkcji temperatury" lub „funkcji dojrzałości". Aczkolwiek brzmi to tajemniczo i skomplikowanie, w warunkach rzeczywistych jest dość proste. Użytkownik dostaje oprzyrządowanie do automatycznego rejestrowania danych oraz oprogramowanie komputerowe do analizy tych danych. W efekcie uzyskuje dokładną w danym momencie informację o aktualnej wytrzymałości betonu. Można tym sposobem bardzo precyzyjnie sterować procesem dojrzewania betonu (np. szczególnie w prefabrykacji), lub odwrotnie, precyzyjnie sterować procesami technologicznymi związanymi z usuwaniem deskowań, podpór, obciążaniem elementów itp. I co najważniejsze – bez żadnych bezpośrednich badań wytrzymałości, czy to niszczących (próbki świadki z betonowania, próbki odwierty), czy to nieniszczących (sklerometr).

**5. Podsumowanie**

Decydując się na prowadzenie robót betonowych w okresie mrozów, trzeba dodatkowo rozważyć aspekt ekonomiczny przedsięwzięcia – istotną zależnością, którą trzeba wyeksponować, jest zdecydowany wzrost kosztów ochrony wraz ze spadkiem temperatury otoczenia. Z drugiej strony wiadomo, że strefa klimatyczna Polski charakteryzuje się częstą zmiennością warunków pogodowych. Należy rozważyć zatem, co się bardziej opłaca wykonawcy robót: inwestować w kosztowną ochronę czy zaczekać na ocieplenie – to grozi z kolei opóźnieniem terminów realizacji, karami umownymi itp. Podkreślić należy jednak, że podjęcie prac w okresie zimowym i zaniedbanie procesu pielęgnacji może spowodować uszkodzenie struktury betonu, a w ślad za tym znacznie zwiększone ostateczne koszty realizacji obiektu o koszty niezbędnych napraw.



fot. Grzegorz Bajorek

*Przemrożona płyta stropowa*

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

*Literatura*

1 *K. Szulborski, H. Michalak, S. Pęski, S. Pyrak, O katastrofie segmentu budynku garażowo-magazynowego w Warszawie, „Inżynieria i Budownictwo", 10/2003*
2 *Instrukcja ITB nr 282, Wytyczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur, Warszawa 1995*
3 *A. M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000*
4 *Prenorma Europejska ENV 13670-1, styczeń 2000, Wykonywanie konstrukcji betonowych. Część 1: Uwagi ogólne*
5 *M. Abramowicz, Roboty betonowe na placu budowy – Poradnik, Arkady, Warszawa 1992*
6 *G. Bajorek, A. Kapelko, Skuteczność domieszek w ochronie betonu dojrzewającego w warunkach zimowych, XIX Konferencja Naukowo-Technicza, Jadwisin 2004*
7 *G. Bajorek G., J. Bobrowicz, Problemy prowadzenia robót betonowych w warunkach zimowych, Konferencja „Dni Betonu", Wisła 9-11 października 2006*
8 *PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
9 *PN-EN 934-2:2000 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie*
10 *PN-85/B-23010 Domieszki do betonu. Klasyfikacja i określenia*
11 *Ch.J. Korhonen, Off-the-Shelf Antifreeze Admixtures, Technical Report ERDC/CRREL TR-027, US Army Corps of Engineers, April 2002*
12 *H. Jóźwiak, Wykonywanie betonu w warunkach obniżonych temperatur z zastosowaniem domieszek chemicznych, „Prace Instytutu Techniki Budowlanej", 1(105)/1998*
13 *J. Bobrowicz, Zależność wytrzymałości na ściskanie zapraw i betonów od ilości wydzielonego ciepła hydratacji cementów w obniżonych temperaturach, XX Konferencja Naukowo-Technicza, Jadwisin 2006*
14 *R. Gajewski, Ł. Szabat, System symulacji i monitorowania cech młodego betonu w konstrukcji, „Budownictwo, Technologie, Architektura", 2/2005 i 3/2005*