

Wspomaganie robót betonowych w okresie zimowym domieszkami do betonu

1. Wprowadzenie

Stosowanie domieszek przeciwmrozowych uważane jest często jako jedyny i wystarczający zabieg chroniący beton dojrzewający w warunkach obniżonych temperatur bądź zimowych. Jest to niestety przekonanie błędne, a może doprowadzić do poważnych problemów [1] lub nawet katastrofy budowlanej [2]. Wynika natomiast z pewnej niewiedzy dotyczącej mechanizmów działania domieszek zwanych przeciwmrozowymi, lub jest skutkiem wprowadzania w błąd przez zapisy w kartach technicznych niektórych domieszek. Informacja o treści: „domieszka umożliwia betonowanie do temperatury -4°C ”, a zdarzają się wyroby z informacją o możliwości prowadzenia robót betonowych nawet do -10°C , rozumiana jest przez wielu wykonawców (także producentów betonu) jako sposób na zabezpieczenie się przed negatywnymi skutkami zamarznięcia świeżego betonu. Nie zauważają, lub nie rozumieją sprytnie dodanej uwagi, że „zastosowanie domieszki nie zwalnia wykonawcy robót od przestrzegania zasad dotyczących wykonywania robót betonowych zawartych w Instrukcji ITB nr 282” [3]. Jest to uwaga bardzo istotna, bo przede wszystkim nakazuje ochronę świeżo wbudowanego betonu przed zamrożeniem, aż do uzyskania przez niego bezpiecznej wytrzymałości – bez względu na to, czy zastosowano jakiegokolwiek domieszki czy nie. Ale stanowi także swoiste zabezpieczenie dla producenta (dystrybutora) domieszki w przypadku, gdyby jednak takie przemrożenie nastąpiło i spowodowało negatywne skutki dla konstrukcji, a wykonawca robót domagał się z tego tytułu rekompensaty poniesionych strat.

Referat przedstawia dwa aspekty „przeciwmrozowego” oddziaływania domieszek. Pierwszy to wpływ przemrożenia betonu we wczesnej fazie jego dojrzewania na wytrzymałość betonu przy zastosowaniu różnych domieszek. Drugi natomiast przedstawia wpływ użycia domieszek na obniżenie temperatury zamarzania świeżego betonu. Wyniki przedstawionych badań pomogą zapewne zrozumieć, które domieszki najlepiej wspomagają ochronę betonu dojrzewającego w warunkach obniżonych temperatur, a zwłaszcza dlaczego zastosowanie domieszek nie pozwala na zaniechanie innych czynności ochronnych we wczesnej fazie dojrzewania betonu przy ujemnych temperaturach otoczenia [4].

2. Czym są domieszki przeciwmrozowe?

Stosowanie określnika „przeciwmrozowe” w nazwie domieszek nie ma obecnie specjalnego uzasadnienia, gdyż w aktualnej systematyce wprowadzonej w normie PN-EN 934-2 [5] takie domieszki nie są zdefiniowane. Nazewnictwo takie spotyka się często w piśmiennictwie technicznym, a także w poprzedniej wersji Polskiej Normy [6]. 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



foto: Michał Braszczyński

- 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 [5] 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 ”, lub „domieszka umożliwiająca betonowanie w niskich temperaturach, lub „domieszka przyspieszająca” itp.

Domieszki przyspieszające wiązanie czy twardnienie to przeważnie związki chemiczne (sole) bezchlorokowe (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 w temperaturze poniżej 0°C , co jest skutkiem stężenia roztworu soli będących składnikami cementu. Dodatkowo wprowadzenie domieszki do betonu, która także jest roztworem soli, powoduje zwiększenie stężenia i dalsze obniżenie temperatury zamarzania.

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.

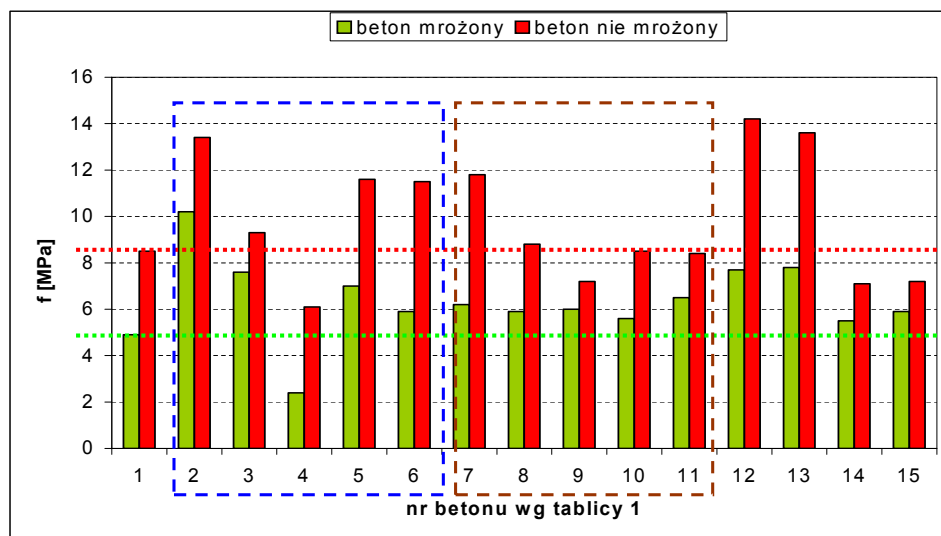
W przypadku domieszek uplastyczniających lub upłynniających następuje zmniejszenie ilości wody w mieszance betonowej. Efekt w sensie ochrony jest dwójaki. Po pierwsze – wpływa na zwiększenie „zapasu” wytrzymałości, która może być stracona wskutek dojrzewania w niskich temperaturach. Po

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.

3. Wpływ domieszek na uzyskiwanie wytrzymałości przemrożonego betonu

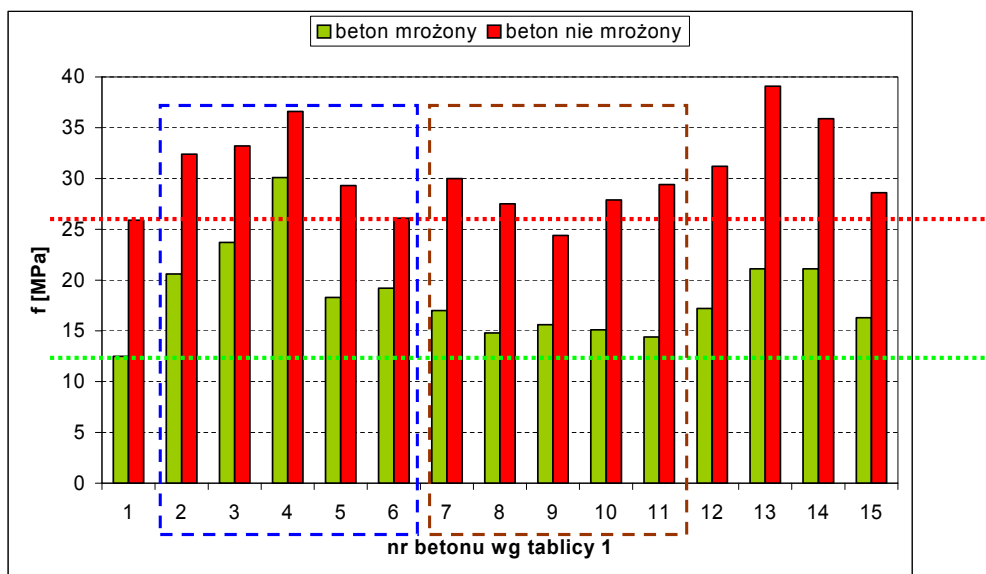
W celu zobrazowania wpływu różnych domieszek na wytrzymałość betonu poddanego zamrożeniu we wczesnej fazie dojrzewania wykorzystano dane z badań zawartych w publikacjach [7, 8]. Zastosowano w nich domieszki określane przez producentów jako przeciwmrozowe lub sugerujące takie działanie, oraz domieszki redukujące wodę zarobową. Ogółem zastosowano 5 superplastyfikatorów i 5 domieszek przyspieszających wiązanie lub twardnienie betonu (w opisie zacytowano określenia z instrukcji stosowania):

- domieszka „A” – superplastyfikator – mieszanina sulfonianów naftalenowych i melaminowych
- domieszka „B” – superplastyfikator – sulfonowana żywica melaminowa
- domieszka „C” – superplastyfikator – w karcie technicznej brak informacji o składnikach domieszki
- domieszka „D” – superplastyfikator o działaniu przyspieszającym – mieszanina sulfonianu melaminowego i tiocyjanianu
- domieszka „E” – superplastyfikator nowej generacji ze znacznie poprawioną możliwością utrzymania konsystencji – eter polikarboksyłanowy
- domieszka „F” – plastyfikujący przyspieszacz – mieszanina tiocyjanianu i naftalenosulfonianu sodowego
- domieszka „G” – przyspieszacz wiązania betonu do prac w czasie mrozu – domieszka bezchlorokowa o składzie zastrzeżonym przez producenta
- domieszka „H” – domieszka przyspieszająca – domieszka o składzie zastrzeżonym przez producenta
- domieszka „I” – domieszka przeciwmrozowa – domieszka o składzie zastrzeżonym przez producenta
- domieszka „J” – domieszka do betonowania



Rys. 1. Porównanie wytrzymałości 1-dniowej betonów mrożonych i nie mrożonych – linia A – czerwona: odniesienie do betonu wzorcowego niemrożonego, linia B – niebieska: odniesienie do betonu wzorcowego mrożonego, ramka R1 – niebieska: betony z domieszkami upłynniającymi, ramka R2 – czerwona: betony z domieszkami przeciwmrozowymi

Rys. 2. Porównanie wytrzymałości 7-dniowej betonów mrożonych i nie mrożonych – oznaczenia jak na rys. 1



w niskich temperaturach, przyspieszającą wiązanie – domieszka o składzie zastrzeżonym przez producenta.

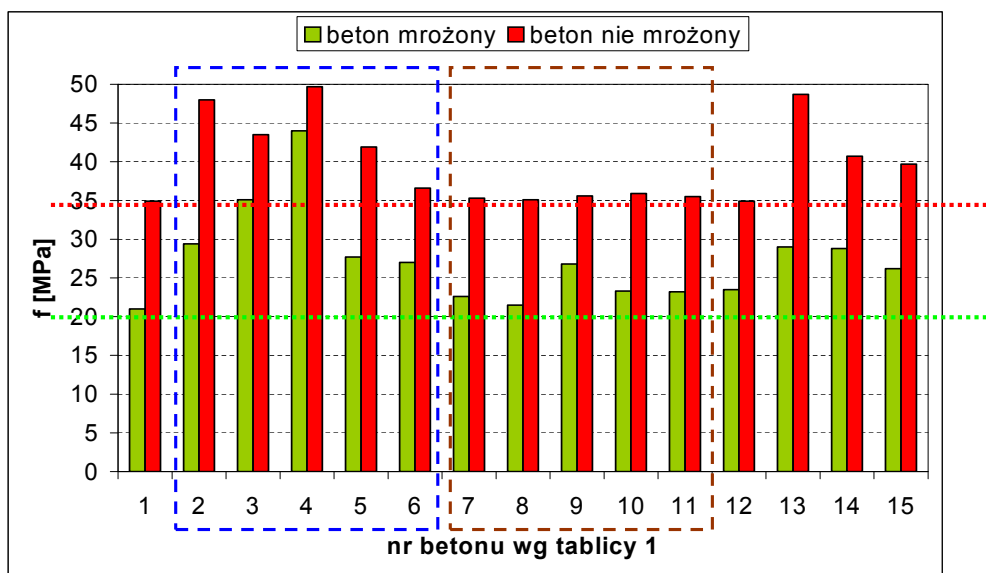
W zakresie badań uwzględniono wykonanie betonów z zastosowaniem poszczególnych domieszek, betonów z zastosowaniem kombinacji dwóch domieszek oraz betonu porównawczego bez domieszki – łącznie 15 odmian betonu. W kombinacjach dobierano w parach domieszki tego samego producenta, tj. superplastyfikator z domieszką przyspieszającą, a w jednym przypadku użyto mieszanki domieszki przyspieszającej i tzw. przeciwmrozowej. Ilość cementu była stała i wynosiła 320 kg/m³. Założono, że mieszanki wszystkich zarobów będą mieć konsystencję półciekłą o opadzie stożka 9÷11 cm, przy czym beton bez domieszki zaprojektowano jako C20/25. Wskaźnik w/c dla mieszanki bez domieszek wynosił 0,65, a z domieszkami wahał się od 0,63 do 0,51. Badane mieszanki to: 1 – beton wzorcowy bez domieszek, 2 – domieszka „A” w ilości 1,5% masy cementu, 3 – „B” 1,5%, 4 – „C” 1,5%, 5 – „D” 1,5%, 6 – „E” 1,1%, 7 – „F” 1,5%, 8 – „G” 1,5%, 9 – „H” 1,5%, 10 – „I” 1,5%, 11 – „J” 1,5%, 12 – „A” 1,5% + „F” 1,0%, 13 – „B” 1,5% + „G” 1,0%,

14 – „C” 1,5% + „J” 1,0%, 15 – „H” 1,5% + „H” 1,5%.

Dla symulowania warunków naturalnych określono następującą procedurę w badaniach:

- po wykonaniu zarobu i zaformowaniu próbek w warunkach laboratoryjnych $+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (po 30 minutach od momentu dodania wody) beton umieszczano w zamrażarce w temperaturze -15°C
- po 24 godzinach dojrzewania w tych warunkach, beton w formach przenoszono na następne 24 godziny do warunków laboratoryjnych ($+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)
- po tym czasie (48 godzin dojrzewania w zmienionych warunkach) określano wytrzymałość betonu, którą porównywano do wytrzymałości betonu dojrzewającego tylko w warunkach laboratoryjnych ($+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) przez okres 24 godzin – uważa się tym samym czas przechowywania w warunkach mrozowych jako „stracony” dla dojrzewania
- pozostałe próbki przechowywano do 7 lub 28 dnia (zarówno mrożone, jak i nie mrożone) w warunkach laboratoryjnych ($+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), po czym określono i porównano ich wytrzymałość.

Rys. 3. Porównanie wytrzymałości 28-dniowej betonów mrożonych i nie mrożonych – oznaczenia jak na rys. 1

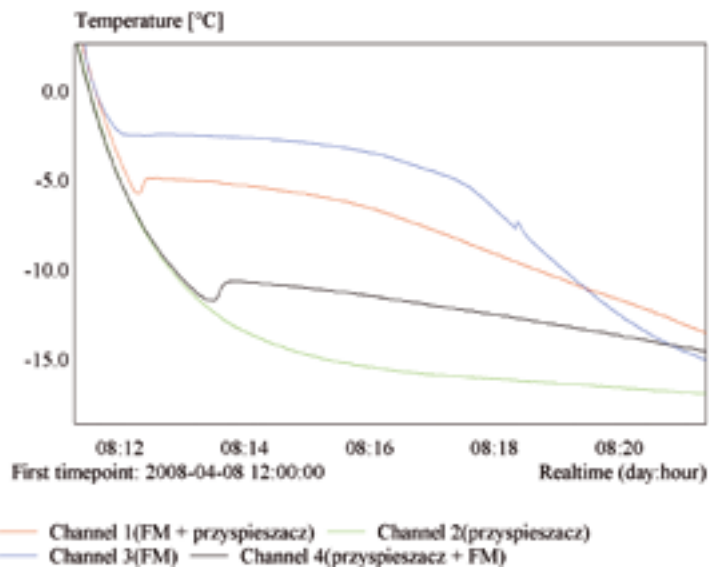


Dzięki takim warunkom pierwszą informację o działaniu domieszki uzyskuje się już po dwóch dobach od wykonania zarobu, a samo zamrożenie betonu trwa tylko 24 godziny. Minimalna temperatura -1.5°C jest wystarczająco niska, aby skutecznie zakłócić początkowy proces wiązania i twardnienia betonu, a czas trwania wystarczająco długi, aby nastąpiło ewentualne uszkodzenie świeżo budującej się struktury materiału. Warunki takie symulują sytuację zaskoczenia wykonawcy robót nagłym zafaraniem pogody i wystąpienia temperatur ujemnych. Uzyskane w badaniach wyniki przedstawiają wykresy na rys. 1, 2 i 3.

4. Wpływ domieszek na obniżenie temperatury zamarzania świeżego betonu

Według danych literaturowych (m.in. [3, 9]), woda zarobowa w przeciętnym betonie zamarza w temperaturze od -1°C do -3°C jako efekt stężenia roztworu soli będących składnikami cementu. Wprowadzając do betonu domieszki, stężenie roztworu wody zarobowej wzrasta. Jest to skutek dodatkowego wprowadzenia stężonego roztworu soli (w przypadku domieszek przyspieszających) lub zmniejszenia ilości wody (przy zastosowaniu plastyfikatorów czy superplastyfikatorów). Według poradników ma to obniżyć temperaturę zamarzania wody zarobowej o kolejne $1 \div 3^{\circ}$ (np. [9]), dając przy niektórych domieszkach wartości nawet -10°C [10]. Informacje takie dają nadzieję wykonawcom robót czy producentom betonu, że zastosowanie domieszek może w pełni zabezpieczyć beton przed zamarznięciem w okresie ujemnych temperatur. Tymczasem dane są zbyt optymistyczne i mogą doprowadzić do zasadniczych błędów wykonawczych.

Przeprowadzone badania [11] temperatury zamarzania samych domieszek, czy ich roztworów o stężeniu wynikającym z proporcji dozowania w stosunku do cementu (wody zarobowej) wykazują, że trudno jest oczekiwać aż tak drastycznego obniżenia temperatury zamarzania cieczy zarobowej. Na rys. 4 przedstawiono wykresy temperatur schładzanych czterech wybranych domieszek o stężeniu handlowym. Kolor zielony to wykres dla domieszki przyspieszającej (roztwór soli – skład domieszki stanowi tajemnicę handlową producenta), która w ogóle nie zamarzała w badanym zakresie temperatur (badano do temperatury -20°C). Pozostałe domieszki, zważając na wartość oczekiwanego znacznego obniżenia temperatury zamarzania to po kolei: linia czarna – mieszanina przyspieszacza i superplastyfikatora (skład zastrzeżony przez producenta), linia czerwona – mieszanina superplastyfikatora i przyspieszacza (proporcje odwrotne niż w poprzedniej, ale skład także zastrzeżony przez producenta), linia niebieska – superplastyfikator stanowiący mieszaninę sulfoniaków naftalenowych i melaminowych. Wartości temperatury zamarzania to odpowiednio: -11.7°C , -5.7°C i -2.5°C . Na rys. 5 przedstawiono wykresy temperatur dla roztworów tych samych domieszek, ale o stężeniu maksymalnym sugerowanym przez producenta (dla betonu o wskaźniku $w/c = 0,5$). Roztwór przyspieszacza o takim stężeniu zamarza już w temperaturze $-0,7^{\circ}\text{C}$, natomiast roztwory pozostałych domieszek w wyższych temperaturach,



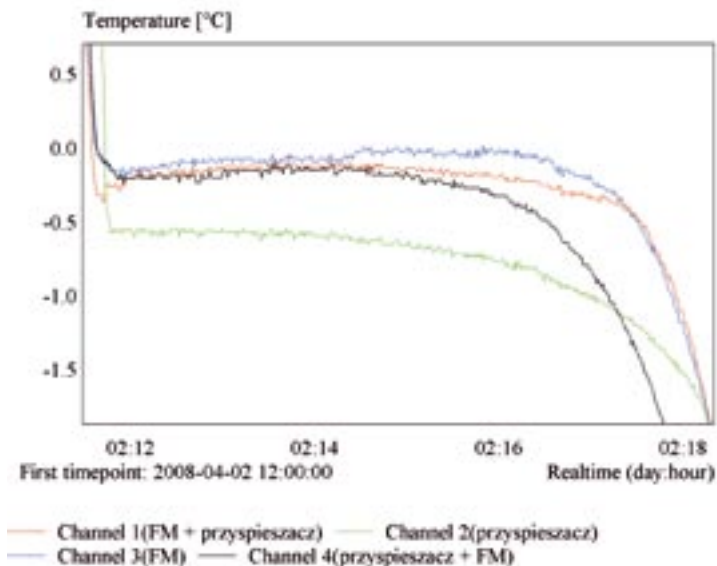
Rys. 4. Temperatury zamarzania czterech wybranych domieszek do betonu o stężeniu handlowym

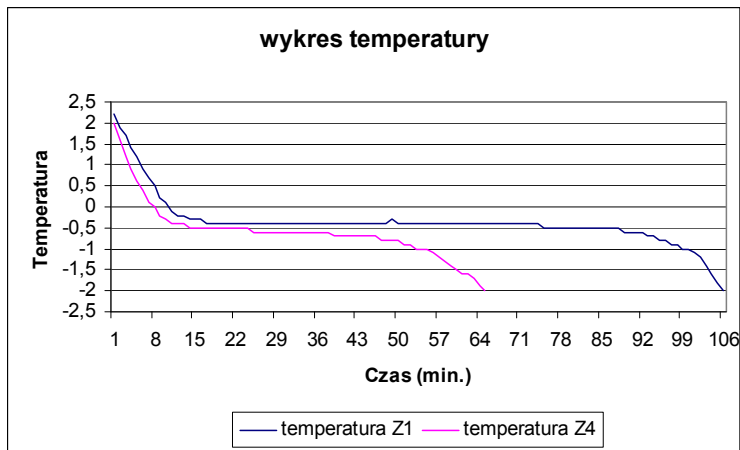
na poziomie od $-0,4$ do $-0,1^{\circ}\text{C}$. Połączenie wpływu na obniżenie temperatury zamarzania, wynikającego ze skutków rozcieńczenia soli zawartych w cemencie ze skutkami dodania domieszek obrazuje rys. 6. Pokazano na nim przykładowe badanie temperatury zamarzania świeżego betonu bez domieszki (wzorcowego) i tego samego betonu z domieszką przyspieszającą (tą samą co użyta w badaniach przedstawionych na rys. 4 i 5). Różnica ($-0,4^{\circ}\text{C}$ dla betonu wzorcowego i $-0,7^{\circ}\text{C}$ dla betonu z domieszką) jest niewielka i nie potwierdza możliwości znacznego obniżenia temperatury zamarzania mieszanki betonowej jako efektu dodania domieszki.

5. Podsumowanie

Przedstawione w referacie wyniki badań betonu poddanego zamrożeniu we wczesnym okresie jego dojrzewania wyraźnie pokazują, że najskuteczniejszą ochroną jest zastosowanie domieszek silnie redukujących wodę zarobową. Przede wszystkim, przy takich samych ilościach pozostałych składników i znacznym zmniejszeniu ilości wody, znacznie obniżają wskaźnik w/c , a to skutkuje istotnym

Rys. 5. Temperatury zamarzania roztworów czterech wybranych domieszek (tych samych co na rys. 4)





Rys. 6. Różnica temperatury zamarzania świeżego betonu bez domieszek (Z1) i z domieszką przyspieszającą (Z4) [12]

wzrostem możliwej do osiągnięcia wytrzymałości końcowej. W warunkach normalnych może to być nawet przeskok o trzy klasy w górę. W warunkach obniżonych temperatur stanowi „nadmiar” wytrzymałości, który może być skonsumowany przez opóźnienia w reakcjach hydratacji.

Działanie domieszek przyspieszających jest inne – ma dać efekt ochronny poprzez przyspieszenie reakcji hydratacji (w tym przyspieszenie wydzielania ciepła), a więc wcześniejsze osiągnięcie wytrzymałości bezpiecznej dla pierwszego zamrożenia betonu. Trzeba jednak mieć świadomość takiej oto proporcji, że np. domieszka pozwalająca na osiągnięcie w warunkach laboratoryjnych po dwóch dniach wytrzymałości większej o 20% w porównaniu do betonu bez domieszki, spowoduje wzrost np. z 20 MPa na 28 MPa. Ale ta sama domieszka, przy tym samym wzroście procentowym wytrzymałości, dla betonu dojrzewającego w temperaturze np. +1°C, spowoduje wzrost np. z 2,0 MPa na 2,8 MPa. A oczekiwać musimy osiągnięcia przez beton co najmniej 5 MPa – tak więc czas dochodzenia do tej wartości w okresie chłódów znacznie wydłuża się.

Powszechnie oczekuje się też od domieszek do betonu znacznego obniżenia temperatury zamarzania mieszanki betonowej. Przedstawione wyniki badań wyraźnie pokazują, że zastosowanie domieszek nawet w ilościach maksymalnych wskazanych przez karty techniczne produktów, nie wpływa istotnie na ten parametr – ostatecznie potwierdza się, że temperatura zamarzania świeżego betonu to maksymalnie kilka dziesiątych stopnia poniżej zera.



Wobec powyższych uwag dotyczących wyników badań jasne stają się zalecenia forsowane przez Instrukcję ITB [3], czy też nowszy dokument w postaci prenormy europejskiej dotyczącej wykonawstwa robót betonowych ENV 13670-1 [13], które bezwzględnie zabraniają przemrożenia wbudowanego betonu dopóki nie osiągnie on wytrzymałości 5 MPa. Ma to być zapewnione przez odpowiednią ochronę i pielęgnację świeżo wbudowanego betonu, w tym także dzięki zapewnieniu wymaganej przez normę PN-EN 206-1 [14] minimalnej temperatury wbudowywanej mieszanki na poziomie +5°C, również zimą.

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

Literatura

- 1 Bajorek G., Wpływ plastyfikatora na dojrzewanie betonu w obniżonych temperaturach, V Konferencja Naukowa Rzeszowsko-Lwowsko-Koszycka pt. „Aktualne Problemy Budownictwa i Inżynierii Środowiska”, Rzeszów, 25-26 września 2000
- 2 Szulborski K., Michalak H., Pęski S., Pyrak S., O katastrofie segmentu budynku garażowo-magazynowego w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo 10/2003
- 3 Instrukcja ITB nr 282 pt. Wytyczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur, Warszawa 1995
- 4 Bajorek G., Bobrowicz J., Problemy prowadzenia robót betonowych w warunkach zimowych, Konferencja Dni Betonu, Wiśła 2006
- 5 PN-EN 934-2:2002 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie
- 6 PN-85/B-23010 Domieszki do betonu. Klasyfikacja i określenia
- 7 Bajorek G., Kapelko A., Skuteczność domieszek w ochronie betonu dojrzewającego w warunkach zimowych, XIX Konferencja Naukowo-Techniczna, Jądrów 2004
- 8 Bajorek G., Kapelko A., Ochrona betonu dojrzewającego w warunkach zimowych przez zastosowanie domieszek chemicznych. Przegląd Budowlany 12/2004
- 9 Abramowicz M., Roboty betonowe na placu budowy – Poradnik, Arkady, Warszawa 1992
- 10 Korhonen Ch. J., Off-the-Shelf Antifreeze Admixtures, Technical Report ERDC/CRREL TR-027, US Army Corps of Engineers, April 2002
- 11 Delektka P., Dudek T., Badania i ocena skuteczności działania domieszek w betonach dojrzewających w obniżonych temperaturach, Praca dyplomowa magisterska (maszynopis), Politechnika Rzeszowska 2008
- 12 Przesztowski J., Ruszała D., Badania betonów o specjalnych wymaganiach. Praca dyplomowa magisterska (maszynopis), Politechnika Rzeszowska 2007
- 13 Prenorma Europejska ENV 13670-1, styczeń 2000, Wykonywanie konstrukcji betonowych, Część 1: Uwagi ogólne
- 14 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.