

Hanna Jóźwiak*

WYKONYWANIE BETONU W WARUNKACH OBNIŻONYCH TEMPERATUR Z ZASTOSOWANIEM DOMIESZEK CHEMICZNYCH

Poprzez badania właściwości betonów dojrzewających w obniżonych temperaturach określono stopień zabezpieczenia betonu przed skutkami zamrożenia przez stosowanie domieszek chemicznych. Wykazano, że zamrożenie w początkowym okresie dojrzewania betonu wykonanego bez domieszek i przestrzegania podstawowych zaleceń technologicznych wywiera niekorzystny wpływ na jego właściwości, szczególnie na wytrzymałość i nasiąkliwość. Stwierdzono, że poprzez zastosowanie odpowiednio dobranych domieszek i innych zabiegów technologicznych możliwe jest uzyskanie w trudnych zimowych warunkach betonu o wymaganych właściwościach.

1. Wpływ obniżonych temperatur na dojrzewanie betonu

Warunki klimatyczne sprawiają, że w Polsce przez znaczną część roku trzeba liczyć się z temperaturami poniżej $+5^{\circ}\text{C}$, co według PN-88/B-06250 należy uznać jako warunki występowania obniżonych temperatur.

Obniżone temperatury mają ujemny wpływ na dynamikę twardnienia betonu, a jego dojrzewanie jest tym wolniejsze, im niższa jest temperatura otoczenia. W warunkach chłodu czas wiązania wydłuża się, a przyrost wytrzymałości maleje wraz z obniżeniem temperatury. Beton wykonany w takich warunkach – jeśli nie wystąpi obniżenie temperatury powodujące jego zamrożenie – ma szansę uzyskać wymaganą wytrzymałość.

Na końcową wytrzymałość betonu niekorzystnie wpływa obniżenie temperatury, powodujące jego zamrożenie w początkowym okresie dojrzewania.

Wyróżnić należy cztery okresy wczesnego dojrzewania betonu:

- przed rozpoczęciem wiązania,
- między początkiem i końcem wiązania,
- od końca wiązania do uzyskania wytrzymałości tzw. krytycznej, wynoszącej $> 0,2 R$,
- powyżej wytrzymałości „krytycznej”.

Zamrożenie betonu przed rozpoczęciem wiązania powoduje niemal całkowite zahamowanie procesu hydratacji cementu. Proces wiązania rozpoczyna się po rozmarznięciu

* mgr – st. specjalista badawczo-techniczny w ITB

– występuje wówczas tylko niewielkie obniżenie wytrzymałości betonu spowodowane obniżeniem siły wiązania na granicy zaczynu cementowego i kruszywa; w zaczynie cementowym uszkodzeń spowodowanych działaniem mrozu się nie stwierdza.

Największe straty wytrzymałości betonu wywołane jego zamarznięciem zachodzą wtedy, gdy występuje ono w okresie między rozpoczęciem wiązania a uzyskaniem wytrzymałości „krytycznej”. W przypadku gdy wytrzymałość betonu będzie zbyt niska, aby przenieść naprężenia wynikające z ciśnienia lodu rozszerzającego się przy zamrażaniu, występują uszkodzenia struktury, co związane jest z obniżeniem końcowej wytrzymałości betonu i pogorszeniem jego jakości. Straty wytrzymałości mogą dochodzić nawet do 80%, zwłaszcza jeśli zamrożenie było wielokrotne.

Beton po osiągnięciu wytrzymałości „krytycznej”, tj. $0,2R_{28}$, czyli około 5 MPa, jest odporny na uszkodzenia spowodowane działaniem niskich temperatur.

2. Postępowanie ułatwiające wykonanie betonów w warunkach zimowych

Zasady wykonywania betonów w warunkach obniżonych temperatur zawarte są w Instrukcji ITB nr 282 *Wytuczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur* [1].

Wykonywanie betonów w warunkach zimowych jest możliwe pod warunkiem uzyskania przez beton przed zamrożeniem wymaganej wytrzymałości. Istotne jest zatem szybkie uzyskanie przez beton wytrzymałości krytycznej.

Czas wczesnego dojrzewania betonu do uzyskania wytrzymałości krytycznej jest zmienny i zależy od:

- temperatury mieszanki betonowej,
- temperatury otoczenia,
- składu mieszanki betonowej – rodzaju i ilości cementu, wskaźnika w/c, obecności domieszek chemicznych.

Czas, w jakim beton ulega zamarznięciu, jest zależny od:

- temperatury otoczenia,
- temperatury i składu mieszanki betonowej,
- wielkości i kształtu elementu,
- rodzaju deskowania i izolacji cieplnej.

Przy obniżonej temperaturze otoczenia skrócenie czasu, w jakim beton osiąga wytrzymałość krytyczną, może być dokonane przez:

- optymalizację składu mieszanki betonowej,
- podniesienie temperatury mieszanki betonowej,
- przyspieszenie wiązania cementu i twardnienia betonu.

Optymalizacja składu mieszanki betonowej polega na doborze odpowiedniego rodzaju cementu i zwiększeniu jego ilości, pomocne jest także obniżenie ilości wody zarobowej, co przy zachowaniu stałej konsystencji mieszanki betonowej uzyskuje się przy stosowaniu domieszek chemicznych.

Podniesienie temperatury mieszanki betonowej jest możliwe tylko w określonych granicach i wiąże się z koniecznością stosowania do wykonywania betonów w warunkach zimowych kruszyw ogrzanych parą wodną i podgrzanej wody. Podniesienie temperatury mieszanki betonowej, łącznie z zabezpieczeniem wykonanego betonu przed utratą ciepła poprzez stosowanie różnego rodzaju izolacji, zwane ogólnie „metodą zachowania ciepła”, jest stosunkowo często stosowane w warunkach zimowych.

Przyspieszenie narastania wytrzymałości w początkowym okresie dojrzewania uzyskuje się zarówno przez optymalizację składu i podwyższenie temperatury mieszanki betonowej, jak i przez zastosowanie domieszek chemicznych, zwłaszcza domieszek przyspieszających, zawierających sole nieorganiczne.

W praktyce stosuje się te metody równocześnie, w wyjątkowych przypadkach stosowane jest ogrzewanie wykonanego betonu w ciepłakach.

3. Zadania domieszek stosowanych w warunkach obniżonych temperatur

Domieszki chemiczne stosowane do betonów wykonywanych w warunkach zimowych powinny powodować:

- obniżenie temperatury zamarzania wody zarobowej w betonie i świeżego betonu (domieszki przyspieszające zawierające sole nieorganiczne i pozwalające na obniżenie W/C),
- przyspieszenie wydzielania się ciepła hydratacji cementu, co z kolei prowadzi do podwyższenia temperatury betonu i przyspieszenia narastania wytrzymałości (domieszki przyspieszające),
- zmniejszenie ilości wody zarobowej (domieszki uplastyczniające i upłynniające),
- wytworzenie mikroskopijnych pęcherzyków powietrza zabezpieczających strukturę zamarzającego betonu przed zniszczeniem (domieszki napowietrzające).

Obniżenie ilości wody zarobowej podwyższa wytrzymałość betonu, także we wczesnym okresie dojrzewania, i poprzez zwiększenie stężenia związków rozpuszczonych w cieczy znajdującej się w porach betonu obniża temperaturę jej zamarzania.

W warunkach zimowych znajdują więc zastosowanie domieszki o działaniu przyspieszającym, domieszki napowietrzające oraz plastyfikatory i superplastyfikatory [2–5].

4. Opis badań

W celu określenia stopnia zabezpieczenia betonu przed skutkami zamrożenia we wczesnym okresie dojrzewania poprzez stosowanie domieszek chemicznych wykonano dwie serie badań. W badaniach pierwszej serii zaformowane próbki betonu po upływie 30 min od wykonania umieszczano w komorze o temperaturze 0, –5 lub –10°C, gdzie przetrzymywane były w ciągu 7 dni. Dalsze dojrzewanie odbywało się w warunkach normalnych.

Betony drugiej serii wstawiano do komory, w której utrzymywano temperaturę -10°C po 30 min oraz 4, 8 i 24 h od wykonania i przetrzymywano tam do 7 dni. Opóźnienie czasu, po jakim próbki betonu poddawano działaniu ujemnej temperatury, miało symulować równoczesne stosowanie innych metod ochrony świeżego betonu. Betony te porównywano z betonem o takim samym składzie, dojrzewającym w warunkach laboratoryjnych. Stopień zabezpieczenia betonu przed skutkami zamrożenia, wynikający ze stosowania domieszek, oceniano przez określenie wytrzymałości i nasiąkliwości badanych betonów.

Do wykonywania betonów stosowano cement portlandzki CP 35N (CEM I 32,5 wg PN-B-19701), kruszywo naturalne i wodę wodociągową; część badań wykonano też z zastosowaniem CP 45N (CEM I 42,5) o tym samym składzie mineralogicznym. Wszystkie składniki spełniały wymagania odpowiednich norm przedmiotowych. Uziarnienie kruszywa było zgodne z zaleceniami PN-90/B-06240. Stosowano trzy typy domieszek:

- domieszkę typu A – przyspieszającą, bezchlorkową, zawierającą sole nieorganiczne,
- domieszki B-1 i B-2 o działaniu kompleksowym – mieszaniny soli nieorganicznych i superplastyfikatora naftalenowego,
- domieszkę C-1 – plastyfikator lignosulfonowy,
- domieszkę C-2 – superplastyfikator naftalenowy o działaniu przyspieszającym.

Oceniając przydatność badanych domieszek do betonów w warunkach obniżonych temperatur założono, że o ilości cementu w 1 m^3 betonu powinny decydować zalecenia instrukcji nr 282. Badania w temperaturze 0 i -5°C wykonano dla betonów o zawartości cementu 350 kg/m^3 , a do badań w temperaturze -10°C zastosowano beton o zawartości cementu 400 kg/m^3 .

5. Wyniki badań

Określono wpływ badanych domieszek na czas wiązania stosowanych cementów. Badania wpływu domieszek na czas wiązania cementu wykonywane są zwykle dwuwariantowo: przy ilości wody wynikającej z wodożądności cementu i przy zachowaniu konsystencji normowej zaczynu cementowego. Z uwagi na to, że przy wykonywaniu betonów w warunkach zimowych stosuje się domieszki przy zachowaniu stałej konsystencji mieszanki betonowej, badania czasu wiązania zaczynów z domieszkami wykonywano przy ilości wody zapewniającej uzyskanie konsystencji normowej zaczynu. Wyniki badań dla CEM I 32,5 zastosowanego w badaniach zamieszczono w tablicy 1.

Badania wykazały, że zastosowane domieszki powodują niewielkie zmiany początku i końca wiązania zaczynu cementowego przy zachowaniu konsystencji normowej. Wyniki badania wpływu domieszek typu B na warunki wiązania cementu wyższej marki wykazały, że również jest on nieznaczny.

Mieszanki betonowe z domieszkami wykonano przy zachowaniu konsystencji mieszanki betonowej kontrolnej. Określono wpływ domieszek na możliwość obniżenia ilości wody zarobowej i zawartość powietrza. Wyniki zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 1. Wpływ domieszek stosowanych przy zachowaniu konsystencji normowej zaczynu na warunki wiązania cementu CEM I 32,5

Typ domieszki	Ilość wody % kontr.	Czas wiązania, h–min		Zmiana, min	
		początek	koniec	początek	koniec
—	100	2–20	3–15	—	—
A	100	2–10	3–00	–10	–15
B-1	90	2–00	3–40	–20	+25
B-2	88	1–40	3–30	–30	+15
C-1	92	2–00	3–25	–20	+10
C-2	90	2–25	3–50	+5	+35

„+” – wydłużenie wiązania, „–” – skrócenie wiązania

Tablica 2. Efekty stosowania domieszek do mieszanek betonowych przy zachowaniu stałej konsystencji

Typ domieszki	Cement CEM I 32,5				Cement CEM I 42,5			
	350 kg/m ³		400 kg/m ³		350 kg/m ³		400 kg/m ³	
	obniżenie w/c, %	zawartość powietrza, %	obniżenie w/c, %	zawartość powietrza, %	obniżenie w/c, %	zawartość powietrza, %	obniżenie w/c, %	zawartość powietrza, %
—	—	1,9	—	1,9	—	2,1	—	2,0
A	3,9	2,0	3,6	2,3	nie badano		nie badano	
B-1	16,2	3,8	15,1	2,9	14,0	2,8	15,3	2,7
B-2	20,9	4,2	19,5	3,9	18,8	3,2	18,0	3,6
C-1	8,8	4,4	nie badano		nie badano		nie badano	
C-2	nie badano		20,8	3,3	nie badano		nie badano	

Domieszki typu B i C-2 zawierające superplastyfikator naftalenowy użyte do betonów wykonywanych z zastosowaniem CEM I 32,5 umożliwiły – zgodnie z oczekiwaniem – obniżenie ilości wody zarobowej o 15–21%. Przy stosowaniu domieszki C-1 (plastyfikatora) możliwe było obniżenie ilości wody zarobowej o około 8%, a zastosowanie domieszki typu A (przyspieszającej) umożliwiło także obniżenie ilości wody zarobowej, ale już mniejsze, na poziomie 4%.

Nie stwierdzono większych różnic w wielkości działania uplastyczniającego domieszek typu B wynikających z rodzaju zastosowanego cementu.

Przy stosowaniu domieszek typu B i C obserwowano zwiększenie zawartości powietrza, co świadczy o kompleksowym działaniu tych domieszek; przy stosowaniu domieszki typu A ilość powietrza pozostała na poziomie betonów bez domieszki.

W tablicach 3 i 4 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów poddanych działaniu obniżonych temperatur 30 min po wykonaniu. Betony „dojrzewały” 7 dni w temperaturze 0, -5 i -10°C, a następnie do 28 dni w temperaturze pokojowej. Uzyskane wyniki odniesiono do wytrzymałości betonu kontrolnego bez domieszki, dojrzewającego w warunkach laboratoryjnych.

Wyniki badań przedstawione w tablicy 3 potwierdziły opóźnienie narastania wytrzymałości betonu dojrzewającego w temperaturze 0°C wykonanego z cementem CEM I 32,5 bez zastosowania domieszek. Po 7 dniach wytrzymałość tego betonu stanowiła 86%, natomiast po 28 dniach kształtowała się na poziomie wytrzymałości betonu o takim samym składzie dojrzewającego w warunkach laboratoryjnych. Siedmiodniowe wytrzymałości betonów z domieszkami poddanych działaniu obniżonych temperatur są o 6–55% wyższe od wytrzymałości betonu kontrolnego. Zastosowane domieszki spełniają więc w tych warunkach rolę przyspieszających twardnienie. Wytrzymałości betonów z domieszkami po 28 dniach dojrzewania są o 10–40% wyższe od wytrzymałości betonu nie poddanego działaniu obniżonych temperatur.

Tablica 3. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów wykonanych z zastosowaniem CEM I 32,5 w zależności od typu domieszki i warunków dojrzewania

Typ domieszki	Wytrzymałość na ściskanie betonu po 7 dniach dojrzewania w obniżonej temperaturze, % wytrzymałości betonu kontrolnego po dniach:					
	0°C		-5°C		-10°C*	
	7	28	7	28	7	28
—	86	101	6	54	2	63
A	106	128	67	106	nie badano	
B-1	120	117	40	92	15	85
B-2	128	142	45	106	12	76
C-1	112	112	38	96	nie badano	
C-2	155	138	nie badano		9	79

* Mieszanki betonowe o zawartości cementu 400 kg/m³

Beton bez domieszki, poddany zamrożeniu do temperatury -5°C, uzyskał po 28 dniach dojrzewania zaledwie 54% wytrzymałości betonu dojrzewającego w warunkach laboratoryjnych; w temperaturze -10°C, mimo zwiększenia zawartości cementu, spadek wytrzymałości także był znaczący i wynosił około 40%.

Zastosowanie domieszek przy temperaturze -5°C pozwala na znaczne ograniczenie uszkodzeń spowodowanych działaniem niskich temperatur. Po 28 dniach dojrzewania

wytrzymałość betonów z domieszkami jest porównywalna z wytrzymałością betonu bez domieszki dojrzewającego w laboratorium – spadek wytrzymałości nie przekracza 10%.

Nie udało się wyeliminować uszkodzeń spowodowanych działaniem mrozu, występujących przy spadku temperatury do -10°C . Przez zwiększenie ilości cementu i zastosowanie odpowiednio dobranej domieszki (typu B-1) możliwe było jedynie ograniczenie spadku wytrzymałości do poziomu 15%.

W tablicy 4 zamieszczono wyniki badań wpływu obniżonych temperatur na wytrzymałość betonów wykonanych z zastosowaniem cementu CEM I 42,5.

Tablica 4. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów wykonanych z zastosowaniem CEM I 42,5 w zależności od typu domieszki i warunków dojrzewania

Typ domieszki	Wytrzymałość na ściskanie betonu po 7 dniach dojrzewania w obniżonej temperaturze, % wytrzymałości betonu kontrolnego po dniach					
	0°C		-5°C		-10°C^*	
	7	28	7	28	7	28
—	110	113	12	90	8	92
B-1	122	110	83	107	37	108
B-2	132	134	109	112	46	118

* Mieszanki betonowe o zawartości cementu 400 kg/m^3

Badania wykazały, że zastosowanie CEM I 42,5 przy obniżeniu temperatury dojrzewania betonu do 0°C nawet bez użycia domieszek umożliwiło uzyskanie betonu o wytrzymałości o około 10% wyższej niż beton kontrolny. Przez zastosowanie cementu wyższej klasy nawet bez użycia domieszek udało się ograniczyć do 10% obniżenie 28-dniowej wytrzymałości betonu poddanego zamrożeniu do temperatury -5°C . Poprzez dodatkowe zwiększenie ilości cementu do 400 kg/m^3 uzyskano podobne ograniczenie obniżenia wytrzymałości betonu także w temperaturze -10°C .

Zastosowanie do wykonywania betonu tego cementu i domieszek typu B, a przy -10°C także zwiększenie ilości cementu, pozwoliło uzyskać po 28 dniach dojrzewania betony o wytrzymałości około 10% wyższej niż beton kontrolny dojrzewający w warunkach laboratoryjnych.

W tablicy 5 przedstawiono wyniki badań nasiąkliwości betonów wykonanych z zastosowaniem CEM I 32,5. Badania potwierdziły występowanie uszkodzeń spowodowanych działaniem niskich temperatur w betonach wykonanych bez użycia domieszek i wykazały, że zastosowanie domieszek, szczególnie przy obniżeniu ilości wody zarobowej, pozwala uzyskać betony, których nasiąkliwość mimo zamrożenia nie będzie większa niż nasiąkliwość betonu bez domieszki, dojrzewającego w warunkach laboratoryjnych.

Przez porównanie nasiąkliwości betonu można ocenić stopień jego zabezpieczenia przed uszkodzeniami powstającymi w niskich temperaturach – w przypadku stosowania domieszek. Badanie to można wykorzystać przy opracowaniu wymagań stawianych domieszkom umożliwiającym wykonanie betonów w obniżonych temperaturach.

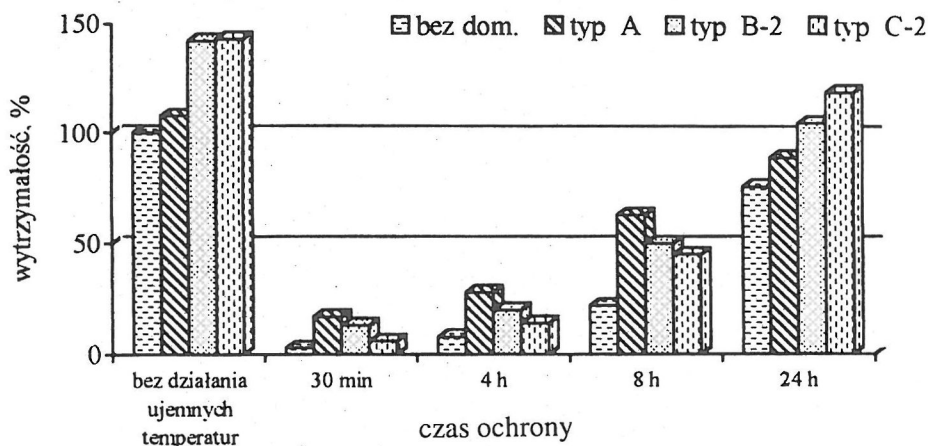
Tablica 5. Wyniki badań nasiąkliwości betonów z CEM I 32,5 w zależności od typu domieszki i temperatury dojrzewania CP 35N

Typ domieszki	Nasiąkliwość, %/% kontrolnego przy dojrzewaniu w temperaturze			
	+18°C	0°C	-5°C	-10°C
—	4,4/100	4,5/102	5,4/123	5,6/127
A	—	4,5/102	5,2/118	—
B-1	—	3,8/86	4,7/107	4,5/102
B-2	—	3,3/75	4,4/100	4,2/95
C-1	—	4,0/91	4,3/98	—
C-2	—	3,3/75	—	4,1/93

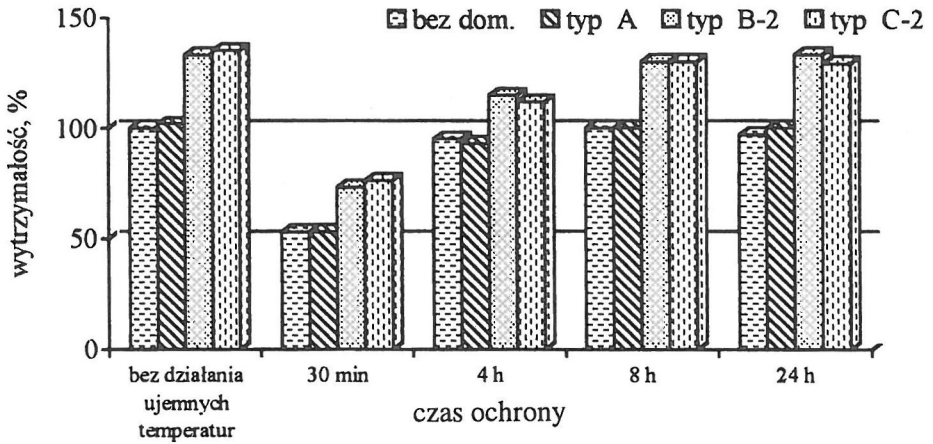
Na rysunkach 1–4 przedstawiono wyniki badań dotyczących betonów poddanych działaniu temperatury -10°C w różnym czasie po wykonaniu w porównaniu z betonami dojrzewającymi w warunkach laboratoryjnych. Zawartość cementu we wszystkich betonach była jednakowa i wynosiła 400 kg/m^3 . Czas, po jakim betony poddano działaniu ujemnej temperatury, określono jako czas ochrony.

Siedmiodniowa wytrzymałość (rys.1) betonów poddanych działaniu temperatury -10°C stanowi ułamek wytrzymałości betonu bez domieszki dojrzewającego w warunkach laboratoryjnych. Obniżenie wytrzymałości nie występuje jedynie przy zastosowaniu ochrony w czasie 24 h i domieszek, zwłaszcza typu B-2 i C-2.

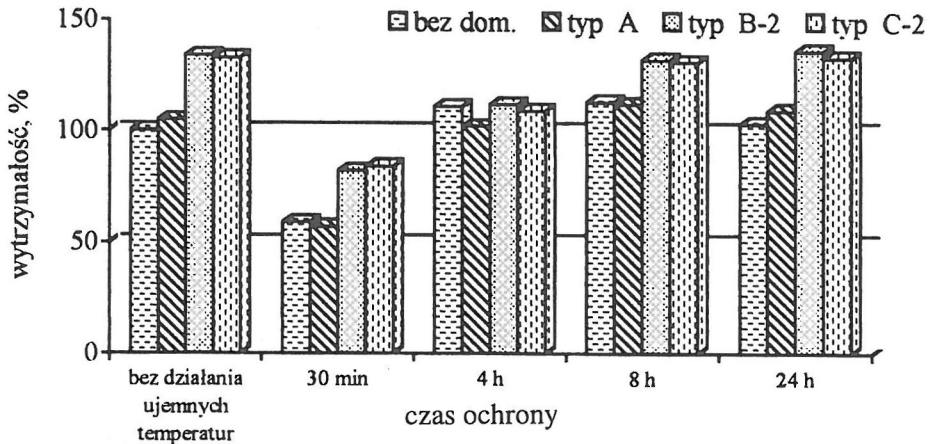
Oznaczenia wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania (rys. 2) potwierdziły występowanie uszkodzeń spowodowanych działaniem niskich temperatur w betonach poddanych zamrażaniu po 30 min od wykonania.



Rys. 1. Wpływ czasu ochrony i typu domieszki na wytrzymałość betonu po 7 dniach dojrzewania



Rys. 2. Wpływ czasu ochrony i typu domieszki na wytrzymałość betonu po 28 dniach dojrzewania



Rys. 3. Wpływ czasu ochrony i typu domieszki na wytrzymałość betonu po 90 dniach dojrzewania

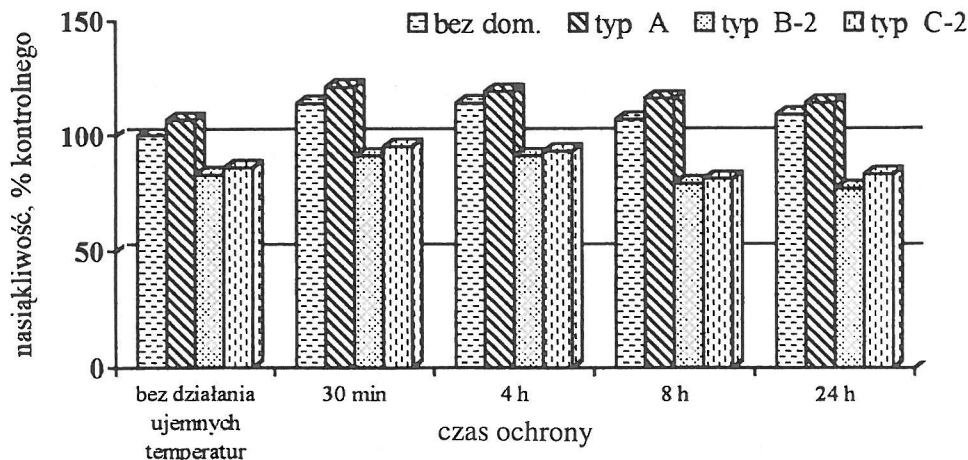
Wytrzymałości 28-dniowe betonów pozostawionych w warunkach laboratoryjnych w ciągu 4 h i dopiero po tym czasie poddanych działaniu temperatury -10°C kształtują się na poziomie wytrzymałości nie zamrażanego betonu bez domieszki. Obniżenie wytrzymałości obserwowane jest jedynie w przypadku betonów bez domieszki i z domieszką typu A i wynosi odpowiednio 5 i 7%.

W późniejszym okresie dojrzewania wytrzymałość betonów zamrażanych, szczególnie po czasie dłuższym niż 4 h, dalej wzrasta i po 90 dniach dojrzewania jest wyższa niż dla betonu bez domieszki nie zamrażanego (rys. 3).

Podwyższenie wytrzymałości betonów bez domieszki dojrzewających w obniżonych temperaturach może być spowodowane spowolnieniem reakcji hydratacji cementu w cza-

się działania obniżonej temperatury. Podniesienie temperatury powoduje dalsze twardnienie betonu. Spowolnienie procesów hydratacji sprawia, że przebiega ona w sposób bardziej uporządkowany. Występuje tutaj analogia z działaniem domieszek opóźniających, których zastosowanie często powoduje – poza efektem podstawowym – wzrost wytrzymałości końcowej betonu.

Wyniki badań nasiąkliwości wykonanych betonów przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wpływ czasu ochrony i typu domieszki na nasiąkliwość betonu

Badania wykazały, że zamrożenie betonów bez domieszki i wykonanych z zastosowaniem domieszki typu A nawet po upływie 24 h od wykonania jest związane z podwyższeniem nasiąkliwości betonu. Świadczy to o niedostatecznym efekcie zabezpieczenia betonu za pomocą domieszek przed uszkodzeniami spowodowanymi działaniem niskich temperatur, mimo że nie objawiało się to obniżeniem wytrzymałości.

Pełne zabezpieczenie betonu przed wystąpieniem uszkodzeń uzyskano stosując domieszki typu B-2 i C-2, umożliwiające obniżenie ilości wody zarobowej i ochronę betonu przed zamrożeniem w okresie 4–8 h po wykonaniu.

Należy zaznaczyć, że czas konieczny do ochrony betonu jest zależny od temperatury mieszanki betonowej. W naturalnych warunkach, kiedy temperatura mieszanki betonowej i temperatura otoczenia będą niższe niż laboratoryjne, czas zastosowania koniecznej ochrony zostanie wydłużony.

6. Podsumowanie

Badania właściwości betonów, których dojrzewanie odbywało się w warunkach obniżonych temperatur, pozwoliły określić możliwości, jakie stwarza stosowanie domieszek chemicznych w zakresie zabezpieczenia betonu przed uszkodzeniami spowodowanymi działaniem niskich temperatur.

Badania potwierdziły możliwość występowania tego rodzaju uszkodzeń w betonach wykonywanych w warunkach zimowych, bez stosowania domieszek i innych zabiegów technologicznych, oraz pozwoliły określić ich rozmiar.

7. Wnioski

1. W warunkach zimowych celowe jest stosowanie CEM I 42,5 (cementów portlandzkich marki 45).
2. Przy spadku temperatury otoczenia do -5°C zastosowanie domieszek umożliwia uzyskanie betonów spełniających określone w projekcie wymagania technologiczne.
3. Przy niższych temperaturach celowe jest obniżenie ilości wody zarobowej i stosowanie dodatkowych osłon izolacyjnych zapobiegających utracie ciepła i opóźniających zamrożenie betonu.
4. Domieszkami przydatnymi w warunkach obniżonych temperatur są – oprócz domieszek będących mieszaniną soli oraz stanowiących mieszaninę soli i superplastyfikatora – domieszki upłynniające z dodatkowym działaniem przyspieszającym.

Piśmiennictwo

- [1] Instrukcja ITB nr 282 Wytoczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur. ITB, Warszawa 1995
- [2] Młodecki J., Stebnicka I.: Domieszki do betonu – Poradnik. COIB, Warszawa 1996
- [3] Młodecki J.: Akcelbet 85 – bezchlorkowy dodatek przyspieszający twardnienie betonu. Konferencja „Dodatki do betonów i środki pomocnicze stosowane do produkcji prefabrykatów”, Jadwisin 1985
- [4] Młodecki J., Kapelko A.: Właściwości betonów z domieszką przeciwmrozową, twardniejącą w temperaturze -10°C . XXXIX Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. Krynica 1993, t. 5
- [5] Józwiak H., Młodecki J.: Nowe superplastyfikatory do betonu. *Materiały Budowlane*, 8, 1996

CASTING OF CONCRETE IN CONDITIONS OF LOWER TEMPERATURE WITH APPLICATION OF CHEMICAL ADMIXTURES

Summary

By testing of properties of concrete curing in lower temperatures, the level of its protection against frost damages by using of various chemical admixtures was determined. It was shown that freezing of concrete in the initial period of hardening (as an effect of lack of proper technological treatment) had disadvantageous influence on concrete properties, mainly on its strength and water absorbability. It was documented that proper using of chemical admixtures together with others technological treatments allowed to obtain the concrete with required properties in difficult winter conditions.

Praca wpłynęła do Redakcji 3 IV 1998