

**Katarzyna ŁUCZAK**

Wydział Budownictwa, Architektury i Sztuk Stosowanych, Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach  
ul. Rolna 43, Katowice; e-mail: [katarzyna.luczak@wst.com.pl](mailto:katarzyna.luczak@wst.com.pl)

**Arkadiusz NAGIEĆ, Paweł KAPROŃ, Błażej BZOWSKI,**

[a.nagiec@proinvestsa.pl](mailto:a.nagiec@proinvestsa.pl), [p.kapron@proinvestsa.pl](mailto:p.kapron@proinvestsa.pl), [b.bzowski@proinvestsa.pl](mailto:b.bzowski@proinvestsa.pl)  
PRO-INVEST SA Katowice

## **WPŁYW DODATKÓW PRZECIWMROZOWYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ BETONU**

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań własności mechanicznych betonów oraz zapraw cementowych z domieszkami przeciwmrozowymi. Domieszkami były: chlorek wapnia oraz mieszanka związków organicznych zwana dalej mieszanką Pro-Invest. Pierwszą serię badań przeprowadzono na normowych zaprawach cementowych. Do badań przygotowano zaprawy cementowe bez żadnych dodatków oraz zaprawy cementowe, w których zastąpiono odpowiednio 20%, 40%, 60%, 80% oraz 100% wody roztworem  $\text{CaCl}_2$  lub roztworem na bazie mieszanki Pro-Invest. Część z przygotowanych materiałów dojrzewała w warunkach normowych. Druga część w obniżonej temperaturze ok.  $-20^\circ\text{C}$ , w której pozostawała aż do czasu badania. Badano wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach. Stwierdzono, że dodatek mieszanki Pro-Invest w mniejszym stopniu wpływa na obniżenie wytrzymałości niż dodatek chlorku wapnia. Drugą serię badań przeprowadzono na betonach klasy C16/20. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na próbkach dojrzewających w zróżnicowanych temperaturach ujemnych, tj.  $-5$ ,  $-8$  i  $-13$  stopni Celsjusza, w różnych fazach dojrzewania betonu: po 7, 14, 21 i 28 dniach. Dla betonów z domieszkami mieszanki Pro-Invest odnotowano mniejsze spadki wytrzymałości w stosunku do betonu dojrzewającego w warunkach standardowych, niż w przypadku betonów z dodatkami  $\text{CaCl}_2$ . Następnie na podstawie wcześniejszych wyników badań opracowano optymalny skład mieszanki zawierającej mieszankę Pro-Invest +  $\text{CaCl}_2$ . Dla betonów z ww. mieszanką dojrzewających w analogicznych warunkach, przeprowadzono kolejną serię badań. Stwierdzono, że synergiczne działanie mieszaniny obu składników pozwala na zachowanie optymalnej wytrzymałości mechanicznej przy jednoczesnym braku jakiegokolwiek oddziaływania korozyjnego.

### SŁOWA KLUCZOWE

dodatki przeciwmrozowe, wytrzymałość betonu, mieszanka Pro-Invest

### WPROWADZENIE

Niskie temperatury oznaczają na ogół wstrzymanie sezonu budowlanego, przynajmniej, tam gdzie trzeba wykonywać prace związane z układaniem betonu. Przy temperaturze poniżej zera beton przestaje dobrze wiązać, pęka i kruszy się. Już w temperaturze bliskiej  $0^\circ\text{C}$  twardnienie betonu przebiega bardzo wolno. Natomiast gdy temperatura spada od  $-1$  do  $-3^\circ\text{C}$  w mieszance betonowej zamarza do 50 proc. wody. Zamarzająca woda zwiększa objętość o ok. 9 proc., w wyniku czego powstający lód niszczy strukturę betonu, co znacznie obniża jego wytrzymałość [1,2]. Dlatego też, przy betonowaniu lub układaniu zaprawy cementowej w temperaturze poniżej  $0^\circ\text{C}$  bardzo ważne jest zabezpieczenie świeżego betonu przed zamarznięciem lub maksymalne opóźnienie tego procesu, tak aby między cementem a wodą mogły zajść reakcje chemiczne mające decydujący wpływ na wytrzymałość betonu. Jednym ze środków umożliwiających

układanie mas betonowych w temperaturze poniżej 0°C jest stosowanie dodatków chemicznych przeciwdziałających zamarzaniu. Dzięki dodatkom przeciwmrozowym zmniejsza się ilości wody potrzebnej do rozrobienia betonu; obniża temperaturę zamarzania świeżego betonu do ok. -5°C. Dodatki powodują również wytwarzanie się mikroskopijnych pęcherzyków powietrza - w stwardniałym betonie stanowią one wolną przestrzeń, którą może zająć powstający lód, co nie osłabia struktury betonu. Dodatki przeciwmrozowe przeważnie skracają czas plastyczności betonu, dlatego też wszystkie czynności związane z transportem, układaniem, masy i zagęszczaniem powinny być dostosowane do warunków i czasu wiązania zastosowanego cementu. Czas „urabialności” mieszanki betonowej w zależności od użytego dodatku wynosi od 30 do 120 minut.

Nowoczesne dodatki przeciwmrozowe, posiadające atest Instytutu Techniki Budowlanej, stanowią mieszaniny kilku składników chemicznych [3,4,5]:

- chlorek wapniowy - bezbarwne, higroskopijne, krystaliczne ciało stałe łatwo rozpuszczalne w wodzie;
- węglan potasowy (jego nazwa handlowa to potaż) - biały higroskopijny proszek łatwo rozpuszczalny w wodzie. Nie przyspiesza korozji stali zbrojeniowej, ale nie można go stosować do zapraw i betonów wypełniających złącza, w których znajdują się wkładki aluminiowe albo stal zabezpieczona powłoką ocynkowaną;
- węglan sodowy - (jego nazwa handlowa to soda amoniakalna) - biały higroskopijny proszek łatwo rozpuszczalny w wodzie. Podobnie jak węglan potasowy nie działa korodująco na stal zbrojeniową, ale nie można go stosować tam gdzie znajdują się wkładki stalowe ocynkowane lub aluminiowe;
- azotyn sodowy - biało żółta higroskopijna substancja łatwo rozpuszczalna w wodzie. Nie działa korodująco na stal zbrojeniową, ale jest szkodliwa dla organizmu ludzkiego;
- akcelbet Z-93 - kremowy proszek łatwo rozpuszczalny w wodzie;
- akcelbet 87 - kremowo-beżowy proszek łatwo rozpuszczalny w wodzie. Stanowi dodatek uplastyczniający i przyspieszający twardnienie betonu;
- klutan - brązowy proszek łatwo rozpuszczający się w wodzie. Stanowi również dodatek uplastyczniający.
- Zimobet 334 - dozowanie 1% przyspiesza twardnienie betonu.

Wszystkie dodatki przeciwmrozowe można generalnie podzielić na dwie grupy [6]. Pierwszą z nich stanowią dodatki handlowe o specyficznych, patentowych nazwach jak: klutan P, akcelbety oraz zimobet334.

Skład tych mieszanin jest zasadniczo chroniony tajemnicą producenta. Wymienione dodatki pełnią przede wszystkim rolę plastyfikatorów. Nie należy ich raczej łączyć ze sobą, ze względu na niepełną znajomość składu a co za tym idzie ryzyko zajścia konkurencyjnych reakcji. Najbardziej „postępowy” wydaje się zimobet, który łączy wiele zalet żywicy, którą wymienia się w jego składzie z solami nieorganicznymi.

Preparat ten w rezultacie: uplastycznia mieszankę betonową, zapewnia wcześniejszą hydratację, redukuje ilość wody zarobowej, obniża punkt zamarzania świeżego betonu, przyspiesza wiązanie i twardnienie betonu.

Druga grupa to proste sole nieorganiczne jak: chlorek wapnia, węglan sodu, węglan potasu oraz azotan sodu.

Związki te pełnią dwie zasadnicze role. Po pierwsze powodują obniżenie temperatury krzepnięcia, co w przypadku betonowania w obniżonej temperaturze i problemami z zamarzaniem wody ma ogromne znaczenie. Po drugie powodują wiązanie nadmiaru wody, a podczas procesu hydratacji wydziela się ciepło, co pozwala na szybsze wiązanie mieszanki betonowej.

Z wszystkich soli nieorganicznych największe zastosowanie znalazł chlorek wapnia  $\text{CaCl}_2$  [1,6,7]. W przypadku dodatku tego związku do wody hydratacja zachodzi z wydzielaniem bardzo dużych ilości energii, w przypadku pozostałych związków efekt ten jest słabszy. Chlorek wapnia jest jednak związkiem kontrowersyjnym ze względu na działanie korozyjne. Poza tym duża higroskopijność chlorku wapnia w niektórych przypadkach uważana jest za wadę z uwagi na zbrzylenie się w czasie przechowywania i transportu. W celu ograniczenia tych trudności produkuje się chlorek wapnia w postaci pelletek, które mają mniej rozwiniętą powierzchnię niż chlorek wapnia w postaci płatków lub nieregularnych agregatów. Opatentowano także proste metody produkcji chlorku wapnia pokrytego powierzchniowo środkami zapobiegającymi zbrzyleniu.

Wg badań Amerykańskiego Instytutu Betonu, chlorek wapnia nie wykazuje właściwości korozyjnych w stosunku do betonu, a zastosowany w ilości max. 2% jako dodatek do betonów

skraca czas wiązania betonu i uzyskanie jego pełnej wytrzymałości. Użycie chlorku wapnia umożliwia także wykonywanie betonowania w temperaturach poniżej 0°C. Jednakże w wielu publikacjach mowa jest o działaniu korozyjnym chlorku wapnia na beton, szczególnie przy udziałach objętościowych powyżej 2%. Poza tym udowodniono korozyjne działanie tego związku na stal, co stanowi problem w przypadku konstrukcji żelbetowych [8,9,10].

Ciągle trwają prace nad opracowaniem nowej mieszanki chemicznej, której dodanie do mieszanki betonowej spowoduje, że będzie on mógł być wykorzystywany podczas prac budowlanych w temperaturze znacznie poniżej -5°C, a jednocześnie nie spowoduje to znacznego obniżenia parametrów wytrzymałościowych. Jedną z takich mieszanek jest mieszanka przygotowana przez firmę Pro-Invest.

## 2. Badania własne

### 2.1 Badania cementów

Do badań przygotowano beleczyki cementowe wg PN-EN-196-1. Do przygotowania próbek użyto cementu portlandzkiego klasy 42,5, piasku normowego CEN oraz wody pitnej. Udziały masowe składników wyniosły: 1 część cementu, 3 części piasku i 0,5 wody. Zaprawę mieszano mechanicznie. Bezpośredni po przygotowaniu zaprawę umieszczano w formach metalowych, trójdzielnych wypełniając formy w dwóch warstwach, każdorazowo ubijając na wstrząsarce. Drugą partię próbek przygotowano analogicznie z tym, że przy przygotowaniu próbek część wody zastąpiono odpowiednio: 20%, 40%, 60%, 80% i 100% wody roztworem chlorku wapnia. Trzecią partię próbek przygotowano zastępując część wody odpowiednio: 20%, 40%, 60%, 80% i 100% wody roztworem na bazie mieszanki Pro-Invest. Z każdego rodzaju materiału zostało przygotowane po sześć próbek. Po trzy z nich dojrzewały w warunkach normowych, czyli bezpośrednio po przygotowaniu formę z próbkami przykryto szklaną płytką i umieszczono na 24 h w komorze klimatycznej. Po 24 h próbki rozformowano i umieszczono w wannie z wodą o temperaturze 20°C. W tych warunkach próbki pozostawały do czasu badania. Natomiast druga część bezpośrednio po zaformowaniu została umieszczona w zamrażarce w temperaturze ok. -20°. Po 24h próbki rozformowano i ponownie przeniesiono do zamrażarki, gdzie pozostawały do czasu badania.

Badania wytrzymałości na ściskanie prowadzono wg normy PN-EN-196-1 na maszynie wytrzymałościowej przedstawionej na rysunku 1. Badania przeprowadzono z prędkością 2400N/s na półówkach beleczyków, które wcześniej były poddane próbie zginania.

Wytrzymałość na ściskanie obliczono ze wzoru:

$$(1) \quad R_c = \frac{F_c}{A}$$

gdzie:

R<sub>c</sub> - wytrzymałość na ściskanie, MPa

F<sub>c</sub> - siłą potrzebną do zniszczenia próbki, N

A - pole powierzchni przekroju próbki, mm<sup>2</sup>.



**Rys. 1.** Maszyna wytrzymałościowa wykorzystana do badania wytrzymałości na ściskanie zapraw.

**Fig. 1.** The testing machine used to test compressive strength of mortars. jako średnią arytmetyczną z sześciu pomiarów z dokładnością do

0,1MPa.

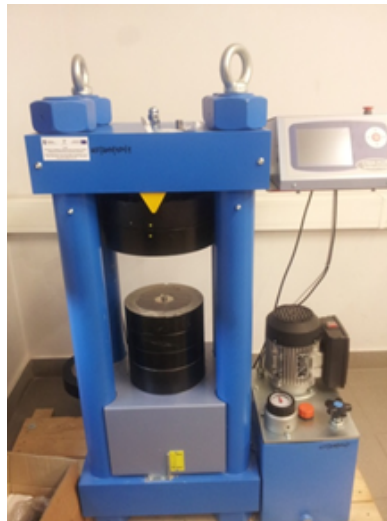
Dodatkowo określono czas wiązania cementu z dodatkami roztworu  $\text{CaCl}_2$ , roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest oraz roztworu na bazie mieszanki obu składników. Badania czasu wiązania przeprowadzono na aparacie Vicata wg PN-EN-196-3.

## 2.2. Badania betonów:

Do badań przygotowano beton klasy C16/20. Do przygotowania próbek użyto cementu portlandzkiego klasy 42,5, piasku budowlanego oraz żwiru 2-16mm. Skład betonu zaprojektowano metodą zaczynu. Z przygotowanej mieszanki betonowej przygotowano próbki sześciennie 150x150x150mm.

Do badań przygotowano 6 próbek bez żadnych dodatków, 3x6 próbek z dodatkami chlorku wapnia i 3x 6 próbek z dodatkiem roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest; obie w przeliczeniu wagowym 2%, 1.2% 0.4% w stosunku do masy końcowej.

Próbki podzielono na trzy części pierwsza z nich dojrzewała w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , druga w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  a trzecia w temperaturze  $-13^{\circ}\text{C}$ . Badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1290-3. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej przedstawionej na rysunku 2. Prędkość obciążenia wynosiła 0,6MPa/s.



**Rys.2.** Maszyna wytrzymałościowa wykorzystana do badań betonu.  
**Fig.2.** The testing machine used for concrete testing.

Wytrzymałość na ściskanie obliczono ze wzoru:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (2)$$

gdzie:

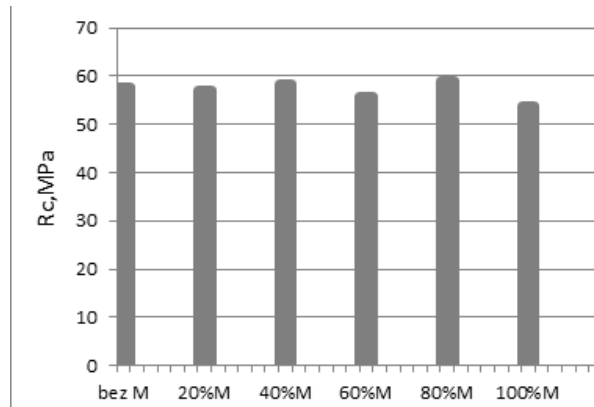
$R_c$ - wytrzymałość na ściskanie, MPa

$F$ - maksymalna siła uzyskana podczas próby, N

$A$  – pole powierzchni przekroju próbki,  $\text{mm}^2$ .

### 3. Analiza wyników badań

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowych, bez żadnych dodatków oraz z dodatkami mieszanki Pro- Invest dla próbek dojrzewających w wodzie, przedstawiono na rysunku 3.

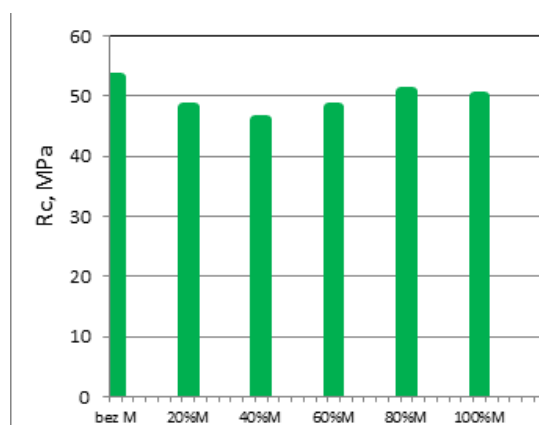


**Rys. 3.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkami roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest, dojrzewających w wodzie.

**Fig. 3.** Comparison of compressive strength of cement specimens without additives and with additives of solution based on the Pro-Invest mix, maturing in water.

Porównując wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych z różną ilością dodatku roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest można stwierdzić, że w przypadku próbek dojrzewających w wodzie zastąpienie części wody roztworem na bazie badanej mieszanki praktycznie nie ma wpływu na wytrzymałość na ściskanie. Odnotowano spadki wytrzymałości rzędu 1-2% a nawet w dwóch przypadkach próbki z dodatkiem mieszanki osiągały wytrzymałość ok. 2% wyższą w stosunku do zwykłej zaprawy. Nie można również zauważyć żadnej zależności pomiędzy ilością wprowadzonych dodatków a uzyskaną wytrzymałością. Jedynie dla materiałów do przygotowania których użyto zamiast wody 100% roztworu na mieszanki Pro-Invest odnotowano spadek wytrzymałości rzędu 6%.

Uśrednione wyniki badań wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkiem mieszanki Pro Invest dojrzewające w obniżonej temperaturze przedstawiono na rysunku 4.



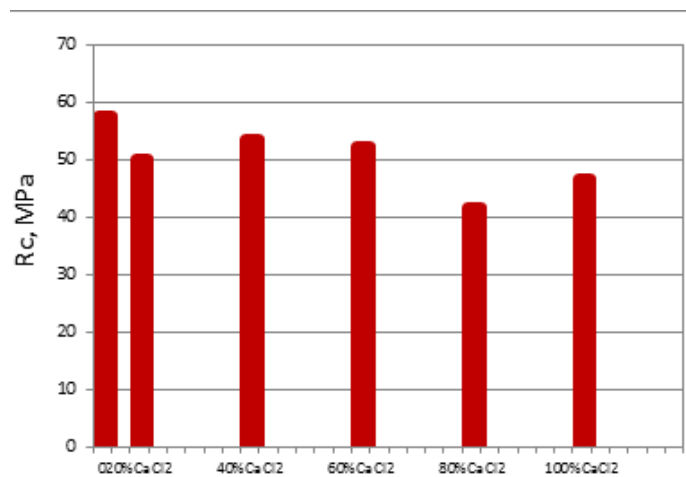
**Rys. 4.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkami roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest, dojrzewających w obniżonej temperaturze.

**Fig. 4.** Comparison of compressive strength of cement specimens without any additives and with additives of solution based on the Pro-Invest mix, maturing in reduced temperature.

Analizując wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek dojrzewających w obniżonej temperaturze, możemy zauważyć już nieco większe spadki wytrzymałości zarówno w stosunku do próbek dojrzewających w wodzie o tym samym składzie, jak również w stosunku do zaprawy cementowej bez żadnych dodatków dojrzewającej w obniżonej temperaturze. Dla zaprawy cementowej bez żadnych dodatków dojrzewającej w obniżonej temperaturze odnotowano spadek wytrzymałości o 7,6% w stosunku do tego samego materiału dojrzewającego w wodzie. Natomiast porównując wytrzymałość na ściskanie pozostałych materiałów dojrzewających w obniżonej temperaturze można stwierdzić, że wprowadzenie roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest powoduje spadek wytrzymałości rzędu 6-9%. Jedynie w przypadku zapraw cementowych zawierających 40% mieszanki odnotowano spadek wytrzymałości o ponad 10% w stosunku do zaprawy cementowej bez żadnych dodatków dojrzewającej w analogicznych warunkach. Nie zauważono również żadnej zależności pomiędzy ilością wprowadzonego roztworu a uzyskaną wytrzymałością. Należy także zaznaczyć, że dla wszystkich materiałów zarówno tych dojrzewających w wodzie, jak i w temperaturach obniżonych uzyskano wytrzymałość mieszczącą się w normach dla tej klasy cementu.

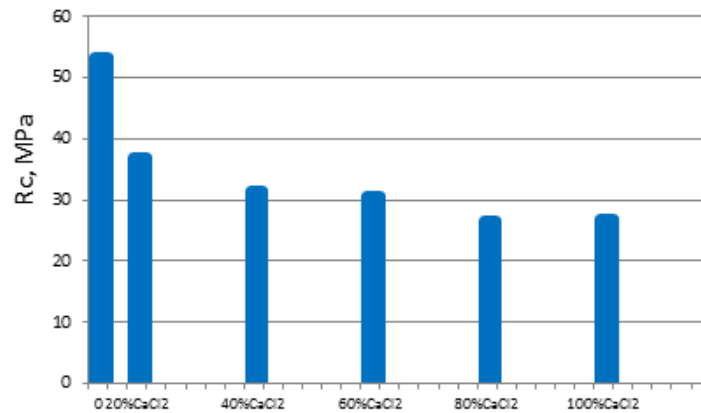
Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla zapraw cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkami roztworu chlorku wapnia dla próbek dojrzewających w wodzie przedstawiono na rysunku 5, natomiast dla próbek dojrzewających w obniżonej temperaturze przedstawiono na rysunku 6.

Można stwierdzić, że dla próbek dojrzewających w wodzie wprowadzenie  $\text{CaCl}_2$  spowodowało spadek wytrzymałości od ok. 7%, w przypadku zastąpienia 40% wody roztworem  $\text{CaCl}_2$  do ok. 27 % w przypadku zastąpienia 80% wody tym roztworem. Natomiast dla materiałów dojrzewających w obniżonej temperaturze odnotowano spadki wytrzymałości rzędu od 30 do ok. 50%. Należy również zaznaczyć, że dla wszystkich próbek z dodatkiem roztworu  $\text{CaCl}_2$ , dojrzewających w wodzie wytrzymałości na ściskanie jest niższa niż przewidywana normowa wytrzymałość dla tej klasy cementu.



**Rys. 5.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkami roztworu  $\text{CaCl}_2$  Pro-Invest, dojrzewających w wodzie.

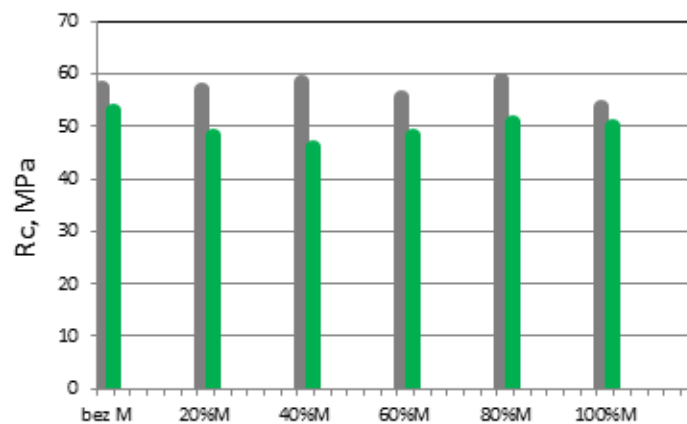
**Fig. 5.** Comparison of compressive strength of cement specimens without any additives and with additives of  $\text{CaCl}_2$  Pro Invest solution, maturing in water.



**Rys.6.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych bez żadnych dodatków oraz z dodatkami roztworu na bazie mieszanki Pro- Invest, dojrzewających obniżonej temperaturze.

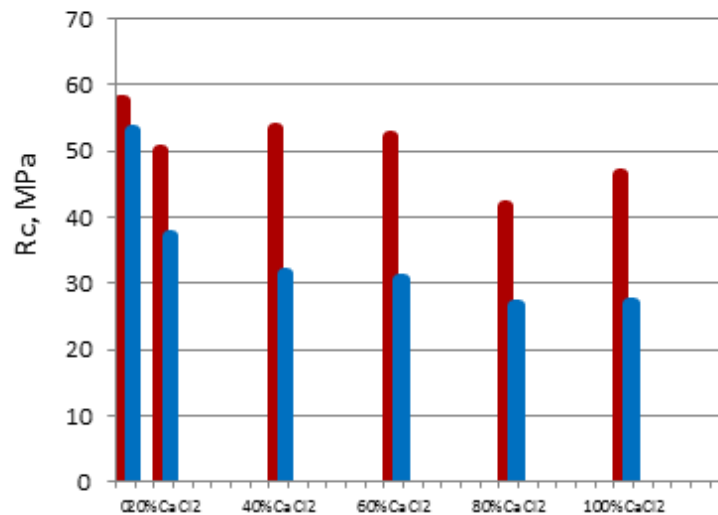
**Fig. 6.** Comparison of compressive strength of cement specimens without any additives and with additives of solution based on the Invest Pro- mix, maturing in reduced temperature.

Porównując wyniki badań wytrzymałościowych zapraw cementowych dojrzewających w różnych warunkach bez żadnych dodatków, z dodatkami roztworu na bazie mieszanki Pro Invest (rys. 7) oraz roztworu CaCl<sub>2</sub> (rys.8), można stwierdzić, że wprowadzenie mieszanki Pro-Invest wpływa w mniejszym stopniu na obniżenie wytrzymałości na ściskanie niż dodatek roztworu CaCl<sub>2</sub>. Jest to szczególnie widoczne w obniżonej temperaturze. Przy tych samych udziałach objętościowych dla cementów z dodatkami mieszanki Pro-Invest, odnotowano średnio ok. 25-40% wyższą wytrzymałość w porównaniu z cementami z dodatkiem roztworu CaCl<sub>2</sub> przy tych samych udziałach objętościowych. W przypadku zaczynu zawierającego 100% roztworu danej mieszanki wytrzymałość cementów z dodatkiem mieszanki Pro Invest była prawie dwukrotnie wyższa w porównaniu z cementami, do przygotowania których użyto roztworu CaCl<sub>2</sub>.



**Rys. 7.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych z dodatkiem mieszanki Pro-Invest, dojrzewających w wodzie oraz obniżonej temperaturze.

**Fig. 7.** Comparison of compressive strength of cement specimens with addition of the Pro-Invest mix, maturing in water and in reduced temperature.



**Rys. 8.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie beleczek cementowych z dodatkiem roztworu CaCl<sub>2</sub>, dojrzewających w wodzie oraz w obniżonej temperaturze.

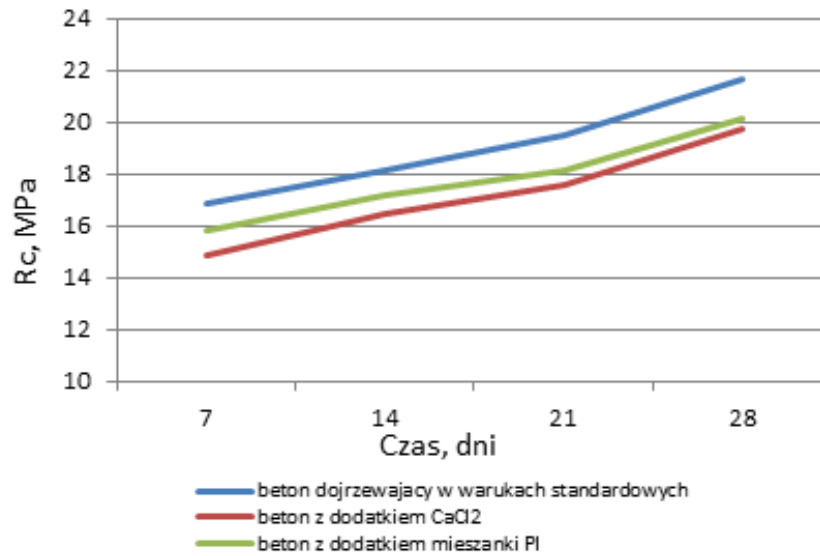
**Fig. 8.** Comparison of compressive strength of cement specimens with addition of CaCl<sub>2</sub> solution, maturing in water and in reduced temperature.

Po 28 dniach dokonano również obserwacji wizualnych prętów stalowych umieszczonych w roztworze CaCl<sub>2</sub> oraz w roztworze na bazie mieszanki Pro-Invest + CaCl<sub>2</sub>. Na pręcie umieszczonym w roztworze CaCl<sub>2</sub> zauważono znaczne zniszczenia korozyjne. Natomiast na pręcie umieszczonym w roztworze na bazie mieszanki, praktycznie nie zauważono żadnych zniszczeń. Można więc wnioskować, że mieszanka Pro-Invest zadziałała w tym przypadku jako inhibitor korozji.

Zbadano również wpływ obu mieszanek na przyspieszenie czasu wiązania zaczynów cementowych, w których całą wodę zastąpiono w pierwszym przypadku roztworem na bazie mieszanki Pro-Invest, w drugim przypadku roztworem CaCl<sub>2</sub> oraz w trzecim przypadku roztworem na bazie roztworu CaCl<sub>2</sub> + mieszanka Pro-Invest. W pierwszym przypadku odnotowano początek wiązania po 8 minutach a koniec po 1h 20min. Dla roztworu CaCl<sub>2</sub> odnotowano początek wiązania po 5min i 30s a koniec wiązania po 28 minutach. Dla roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest+CaCl<sub>2</sub> odnotowano początek wiązania po 7 minutach a koniec po 50 min.

Uśrednione wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla betonów z dodatkiem roztworu CaCl<sub>2</sub> oraz mieszanki Pro-Invest dojrzewających w temperaturze -5°C po 7,14, 21 i 28 dniach przedstawiono na rysunku 9. Stwierdzono, że wprowadzenie do betonów dojrzewających w temperaturze -5°C roztworu CaCl<sub>2</sub> powoduje spadek wytrzymałości średnio o 7-12%, natomiast wprowadzenie roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest powoduje spadek wytrzymałości o 4-6% w stosunku do betonu bez dodatków przeciwmrozowych, dojrzewających w warunkach standardowych.

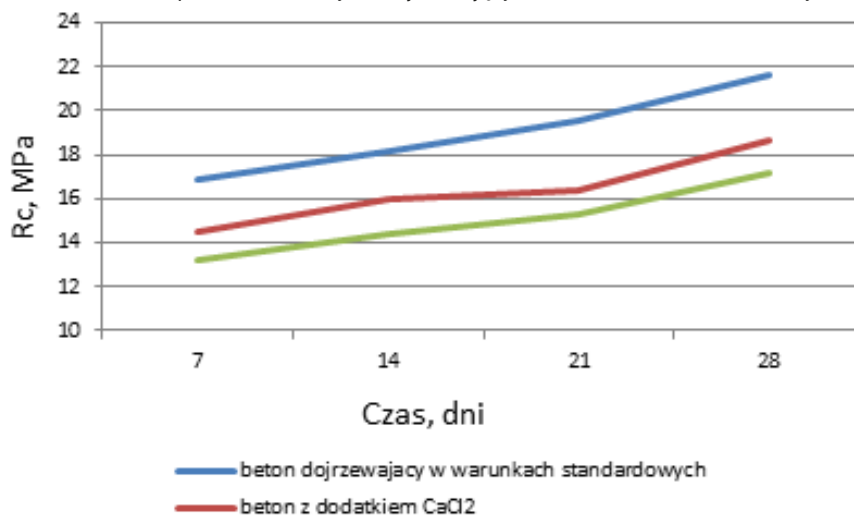




**Rys. 9.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu dojrzewającego w warunkach standardowych z betonami dojrzewającymi w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , zawierającymi dodatki przeciwmrozowe.

**Fig. 9.** Comparison of compressive strength of concrete maturing under standard conditions and of concretes maturing at  $-5^{\circ}\text{C}$ , containing anti-frost additives.

Uśrednione wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla betonów z dodatkiem roztworu  $\text{CaCl}_2$  oraz mieszanki Pro Invest dojrzewających w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  po 7, 14, 21 i 28 dniach przedstawiono na rysunku 10. Stwierdzono, że wprowadzenie do betonów dojrzewających w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  roztworu  $\text{CaCl}_2$  powoduje spadek wytrzymałości średnio o 12-14%, natomiast wprowadzenie roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest powoduje spadek wytrzymałości o 7-10% w stosunku do betonu bez dodatków przeciwmrozowych, dojrzewających w warunkach standardowych.



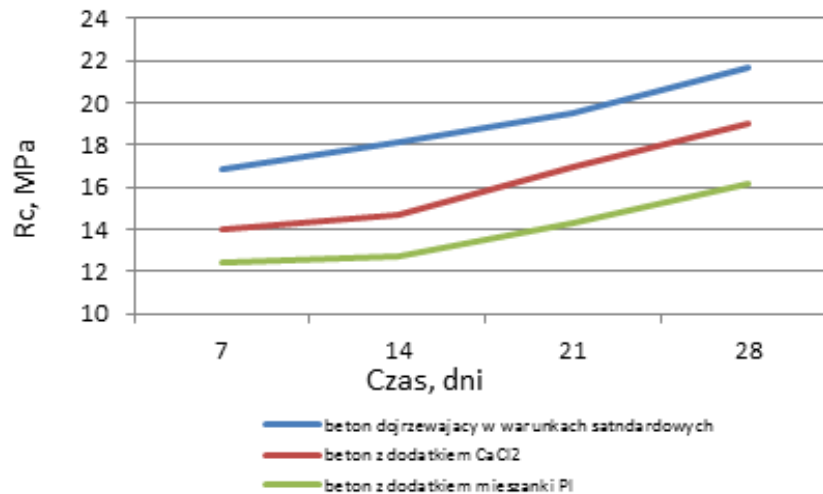
**Rys. 10.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu dojrzewającego w warunkach standardowych z betonami dojrzewającymi w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$ , zawierającymi dodatki przeciwmrozowe.

**Fig. 10.** Comparison of compressive strength of concrete maturing under standard conditions and concretes maturing at  $-8^{\circ}\text{C}$ , containing anti-frost additives.

Uśrednione wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla betonów z dodatkiem roztworu  $\text{CaCl}_2$  oraz mieszanki Pro-Invest dojrzewających w temperaturze  $-13^{\circ}\text{C}$  po 7, 14, 21 i 28 dniach

przedstawiono na rysunku 11.

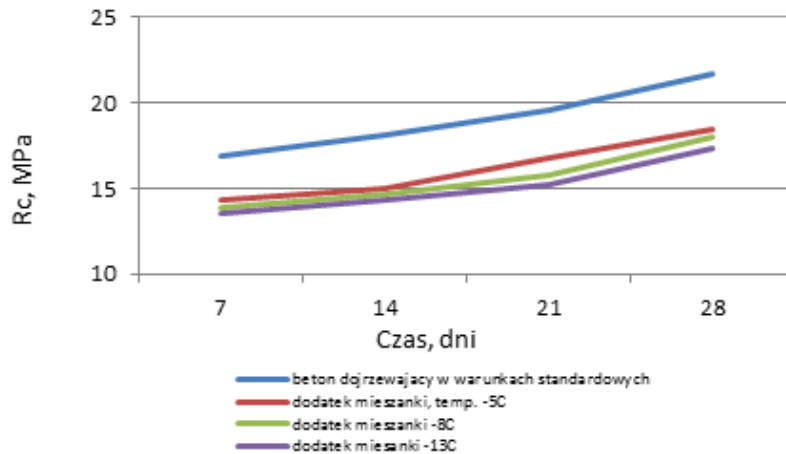
Stwierdzono, że wprowadzenie do betonów dojrzewających w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  roztworu  $\text{CaCl}_2$  powoduje spadek wytrzymałości średnio o 15-19%, natomiast wprowadzenie roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest powoduje spadek wytrzymałości o 11-16% w stosunku do betonu bez dodatków przeciwmrozowych, dojrzewających w warunkach standardowych. Można zauważyć, że dodatek roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest do betonów dojrzewających w obniżonych temperaturach w mniejszym stopniu przyczynia się do obniżenia wytrzymałości na ściskanie niż wprowadzenie roztworu  $\text{CaCl}_2$ .



**Rys.11.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu dojrzewającego w warunkach standardowych z betonami dojrzewającymi w temperaturze  $-13^{\circ}\text{C}$ , zawierającymi dodatki przeciwmrozowe.

**Fig. 11.** Comparison of compressive strength of concrete maturing under standard conditions with concretes maturing at temperature of  $-13^{\circ}\text{C}$ , containing anti-frost additives.

Oceniając działanie korozyjne roztworu  $\text{CaCl}_2$  oraz roztworu na bazie mieszanki Pro Invest na stal węglową można stwierdzić, że po 28 dniach od umieszczenia stali w pierwszym roztworze stal była pokryta rdzą, natomiast dla stali umieszczonej w roztworze mieszanki Pro Invest nie zauważono żadnych zniszczeń korozyjnych. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla betonów dojrzewających w obniżonych temperaturach z dodatkami roztworu na bazie mieszanki Pro Invest z dodatkiem  $\text{CaCl}_2$  przedstawiono na rysunku 12. Stwierdzono, że wprowadzenie roztworu na bazie mieszanki obu składników powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do betonu bez dodatków przeciwmrozowych, dojrzewających w warunkach standardowych średnio o 14-17% w przypadku betonów dojrzewających w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , 17-19% w przypadku betonów dojrzewających w temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  i 19-21% w przypadku betonów dojrzewających w temperaturze  $-13^{\circ}\text{C}$ .



**Rys. 12.** Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu dojrzewającego w warunkach standardowych z betonami dojrzewającymi w temperaturach: -5°C, -8°C, -13°C, zawierającymi dodatki przeciwmroźne.

**Fig. 12.** Comparison of compressive strength of concrete maturing under standard conditions with concretes maturing at temperatures: -5°C, -8°C, -13°C, containing anti-frost additives.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że mieszanka opracowana przez Pro-Invest nadaje się do zastosowania do betonów dojrzewających w obniżonych temperaturach. Wykazano, że zaprawy cementowe do których dodawano roztwór na bazie tej mieszanki charakteryzują się lepszymi parametrami wytrzymałościowym, w porównaniu z zaprawami do których dodawano tradycyjny dodatek przyspieszający wiązanie, czyli roztwór CaCl<sub>2</sub>. Ponadto wykazano wyraźne działanie mieszanki w charakterze silnego inhibitora korozji czego dowodem był brak zmian na prętach stalowych moczonych w układzie mieszanka+ chlorek wapnia w odniesieniu do próbki kontrolnej roztworu CaCl<sub>2</sub>, który spowodował bardzo silną korozję, co może być przyczyną obniżenia wytrzymałości w przypadku cementów do których dodawano ten roztwór. Badając wytrzymałość na ściskanie betonów dojrzewających w obniżonych temperaturach podobnie jak w przypadku zapraw cementowych wykazano wyższą wytrzymałość betonów z dodatkiem roztworu na bazie mieszanki Pro Invest w porównaniu do betonów z dodatkiem roztworu CaCl<sub>2</sub>. Natomiast w przypadku zastosowania roztworu na bazie mieszanki Pro-Invest +CaCl<sub>2</sub> otrzymano wyniki pośrednie, przy spadkach wytrzymałości w stosunku do betonów bez żadnych dodatków dojrzewających w warunkach standardowych o 14-21%. Biorąc pod uwagę znaczne przyspieszenie wiązania przez dodatek CaCl<sub>2</sub> oraz jego działanie korozyjne wydaje się, że synergiczne działanie mieszanki Pro-Invest + CaCl<sub>2</sub> jest optymalnym rozwiązaniem w przypadku betonowania w warunkach zimowych.

Przeprowadzone badania były badaniami wstępnymi i wymagają dalszych prac w celu opracowania optymalnego składu mieszanki i potwierdzenia jej działania szczególnie konieczne wydaje się zoptymalizowanie stężenia składników powiązane z czasem wiązania oraz właściwościami antykorozyjnymi.

#### Literatura:

- [1] [ACI 306R-88: Cold Weather Concreting, American Concrete Institute, 2002
- [2] Bajorek, G.: Betonowanie zimą. Budownictwo, Technologie, Architektura. Polski Cement. 40, 2007
- [3] Dean, J. A.: "Lange's Handbook of Chemistry" 14th ed., McGraw-Hill 1992, ISSN 0748-4585
- [4] Edmeades, R. M., Day, R. I., New guidelines for cold weather concreting. Magazine of Concrete Research, vol. 45, issue 165, 1993
- [5] DOW Chemical Company, "Calcium Chloride Handbook"
- [6] Beblacz, P., Kamiński, Materiały Budowlane nr 11 s.14-16
- [7] The Merck Index, 13th ed. 2001, p. 279
- [8] ACI-american concrete institute: SP-102: Corrosion Concrete & Chlorides.
- [9] ACI: SP-234: Seventh CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete
- [10] Harvey Haynes, M.T. Bassuoni, Physical Salt Attack on Concrete, Concrete International, v33, p.38-42
- [11] Haque, M.N., Kawamura, M.: Carbonation and Chloride-Induced Corrosion of Reinforcement in Fly Ash Concrete, Materials Journal, v.89, p41-48,
- [12] ACI Committee 212, Chemical Admixtures for Concrete, ACI 212.3R-91, Concrete International, v15, p. 48-53
- [13] PN-EN-196-1: Metody badania cementu.
- [14] PN-EN 1290-3: Badania betonu- wytrzymałość na ściskanie.

## INFLUENCE OF ANTI-FROST ADDITIVES ON CONCRETE STRENGTH

### ABSTRACT

This paper presents the results of the study of mechanical properties of concrete and cement mortars with anti-frost additives. The additives were: calcium chloride, and the mixture of organic compounds hereinafter referred to as the Pro Invest mix. The first series of tests was conducted on standard cement mortars. Cement mortars without any additives and cement mortar, where 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of water was replaced by CaCl<sub>2</sub> solution or a solution based on Pro- Invest mix were prepared for the tests. One part the prepared materials matured in standard conditions. The second part in the reduced temperature of about -20°C, where it remained until the time of testing. Compressive strength were tested after 28 days. It was verified that the addition of Pro Invest mix to a lesser extent influences the reduction in the strength than the addition of calcium chloride. The second series of tests was conducted on concretes of C16/20 class. Strength tests were performed on maturing samples in different negative temperatures, i.e. -5, -8, and -13 degrees Celsius, at various stages of concrete maturing: after 7, 14, 21 and 28 days. For concretes with addition of the Pro-Invest mix smaller decreases in strength were observed in relation to concrete maturing under standard conditions than in the case of concretes with CaCl<sub>2</sub> additives. Then, based on previous research results the optimal composition of the mixture containing CaCl<sub>2</sub> and Pro-Invest mix was developed. For concretes with the above mix maturing in analogous conditions, a consecutive series of studies was conducted. It was observed that the synergistic effect of the mixture of the two components allow the preservation of the optimum mechanical strength in the concurrent absence of any corrosive reaction.

### KEYWORDS

Anti-frost additives, concrete strength, Pro -Invest mix