

Spostrzeżenia z badań efektywności domieszek redukujących skurcz betonu



Dr inż. Maciej Gruszczyński, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Politechnika Krakowska, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce

1. Wprowadzenie

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie mechanizmu działania i ocena efektywności różnego typu domieszek chemicznych, które pozwalają na kontrolowanie przebiegu odkształceń skurczowych, towarzyszących procesom hydratacji cementu.

Przedstawiono wyniki badań z realizacji programu badawczego, w którym wykorzystano podstawowe rodzaje domieszek pozwalające na uzyskanie zapraw i betonów cementowych o zredukowanym lub skompensowanym skurczu. W badaniach wykorzystano domieszki oparte na bazie tlenku wapnia, wielkocząsteczkowego alkoholu oraz wodnych dyspersji polimerowych (kopolimer styrenowo-akrylowy SA i lateks styrenowo-butadienowy SBR). Analizowano ich wpływ na wielkość odkształceń skurczowych i rozwój wytrzymałości zapraw cementowych.

2. Zaprawy i betony o zredukowanym skurczu

Zaprawy i betony cementowe oprócz niewątpliwych zalet mają pewne wady, do których należy zaliczyć:

- skurcz,
- niską wytrzymałość na rozciąganie,
- niedostateczną przyczepność świeżego kompozytu do istniejącego podłoża betonowego.

Wady te w sposób szczególny uwidaczniają się w zastosowaniu kompozytów cementowych do wykonania takich konstrukcji, jak:

- nawierzchnie drogowe,
- posadzki przemysłowe i podkłady podłogowe,
- zbiorniki,
- obudowy tuneli,
- systemy naprawcze konstrukcji betonowych i żelbetowych.

Skurcz zapraw i betonów zwykłych jest zjawiskiem dobrze znanym i udokumentowanym naukowo. Należy w tym miejscu podkreślić, że zmiany objętości kompozytu (skurcz lub narastanie) pochodzą jedynie od odkształceń matrycy, ponieważ wypełniacz (kruszywo) praktycznie nie podlega odkształceniom.

Klasyczna teoria skurczu betonu [5] zakłada, że reakcja cementu z wodą powoduje ogólne zmniejszenie objętości

mieszaniny, czyli tzw. skurcz plastyczny (inaczej kontrakcję). Skurcz plastyczny, w odróżnieniu od postępującego po nim skurczu spowodowanego wysychaniem, jest nieodwracalny. Całkowity skurcz betonu zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to:

- wielkość wskaźnika w/c,
- ilość i rodzaj cementu,
- ilość i rodzaj kruszywa,
- stosowanie domieszek chemicznych,
- warunki ciepłno-wilgotnościowe dojrzewania i pielęgnacji.

W celu minimalizacji niekorzystnych odkształceń skurczowych zapraw i betonów cementowych podejmuje się szereg zabiegów materiałowych i technologicznych, z których najważniejsze to:

- dobór właściwego rodzaju cementu (o jak najmniejszej zawartości C_3A i powierzchni właściwej ograniczonej do $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$) przy ograniczeniu jego ilości w mieszance,
- redukcja wskaźnika w/c poniżej 0,50 (stosowanie domieszek reologicznych),
- projektowanie stalowych siatek przeciwskurczowych,
- stosowanie dodatków włóknistych (włókna stalowe, syntetyczne i szklane),
- stosowanie domieszek przeciwskurczowych i/lub ekspansyjnych,
- prowadzenie długiej i starannej pielęgnacji wilgotnej elementu,
- prawidłowe projektowanie konstrukcji i elementów – właściwa ilość i rozmieszczenie zbrojenia przeciwskurczowego, prawidłowe rozmieszczenie dylatacji.

Stosowanie powyższych zaleceń, w celu minimalizacji skurczu kompozytu cementowego, jest szczególnie trudne w przypadku jego zastosowania do budowy nawierzchni i posadzek przemysłowych. Obserwuje się tendencję wśród inwestorów do wykonywania tego typu konstrukcji o jak największej nośności w systemie bezdylatacyjnym. Powodowane jest to faktem, że przerwy dylatacyjne są najsłabszym elementem konstrukcji posadzki, który jest najbardziej podatny na uszkodzenia. Zastosowanie w konstrukcji posadzki typowych, dwuwarstwowych, stalowych siatek zbrojących znacząco podnosi koszt ich budowy i utrudnia prawidłowe wbudowanie mieszanki betonowej.

Z tego względu od wielu lat prowadzone są badania nad opracowaniem skutecznych domieszek chemicznych, których zadaniem jest kompensacja odkształceń skurczowych kompozytów cementowych oraz zwiększenie ich wytrzymałości na zginanie, która to odgrywa kluczową rolę przy ocenie nośności i wymiarowaniu nawierzchni drogowych i posadzek przemysłowych.

3. Podstawowe rodzaje domieszek i dodatków przeciwskurczowych

Obecnie we współczesnej technologii betonu funkcjonują trzy podstawowe grupy domieszek i dodatków, których zadaniem jest minimalizacja odkształceń skurczowych lub wręcz uzyskanie kompozytów ekspansywnych. Do reduktorów skurczu zalicza się następujące typy domieszek:

- domieszki i dodatki ekspansywne oparte na bazie tlenku i siarczanu wapnia i magnezu,
- domieszki zwiększające więźliwość wody w mieszance oparte na bazie wielkocząsteczkowego alkoholu,
- dodatki różnego typu dyspersji polimerowych.

3.1. Domieszki i dodatki ekspansywne oparte na bazie związków wapnia

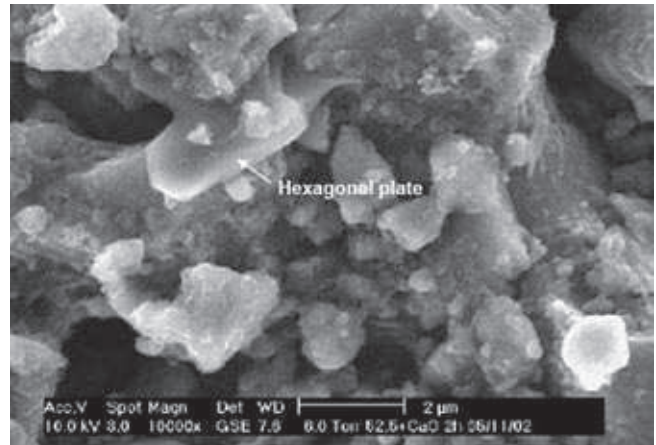
Zastosowanie dodatku opartego na bazie siarczanu wapnia powoduje ekspansję spoiwa podczas procesu hydratacji. Spowodowane jest to reakcją powstawania ettringitu (w przypadku CaO powstaje portlandyt), który jest wynikiem reakcji tlenku wapniowego z wodnymi roztworami glinianów wapniowych zawartymi w cemencie [2]. Kryształy ettringitu tworzą otoczkę na ziarnach siarczanoglinianu wapniowego, powodując znaczny wzrost objętości zaczynu (rys. 1).

Bardzo istotnym zagadnieniem w procesie powstawania ettringitu jest kształt i wielkość powstających kryształów oraz czas ich powstania. Ważne jest, aby powodujące ekspansję kryształy powstały między 24 a 72 godziną istnienia zaczynu. Gdy reakcja narastania nastąpi zbyt wcześnie, tj. gdy zaczyn znajduje się w stanie plastycznym, zmiany objętości zostaną przez tę cechę zniwelowane. Gdy zaś zaczyn jest zbyt sztywny, ekspansja spowoduje jego zniszczenie w sposób analogiczny jak w przypadku korozji siarczanowej [1].

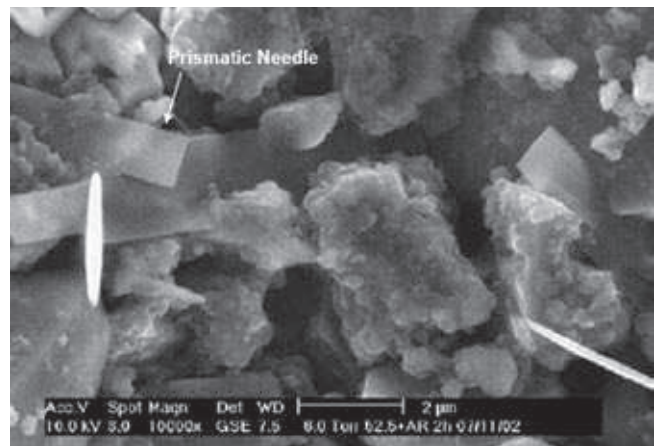
Przedstawiony mechanizm działania domieszek ekspansywnych opartych na bazie CaO i CaSO₄ sprawia, że uzyskana struktura kompozytów modyfikowanych tą domieszką jest bardziej szczelna niż zapraw czy betonów zwykłych. Powstające kryształy najpierw wypełniają pory w zaczynie cementowym, uszczelniając jego strukturę, a następnie powodują jego narastanie.

3.2. Domieszki przeciwskurczowe oparte na bazie wielkocząsteczkowego alkoholu

Reduktory skurczu, oparte na bazie wielkocząsteczkowego alkoholu, opracowane zostały w połowie lat 80. w Japonii,



Rys. 1. Fotografia SEM zaczynu cementowego modyfikowanego 3% dodatkiem domieszki ekspansywnej na bazie CaO – widoczne hexagonalne kryształy portlandytu [3]



Rys. 2. Fotografia SEM zaczynu cementowego modyfikowanego dodatkiem 3% organicznego reduktora skurczu SRA [3]

a wprowadzono je do powszechnego użycia na początku lat 90. Domieszki z tej grupy są niejonowymi związkami powierzchniowo czynnymi. Zwiększają one więźliwość wody w mieszance i powodują przesunięcie w czasie procesu wysychania kompozytu cementowego. Jako związki powierzchniowo czynne domieszki tego rodzaju obniżają napięcie powierzchniowe wody, zmniejszając tym samym ciśnienie w porach kapilarnych, które wg Wittmanna [4] przedstawia wzór:

$$P = \frac{2\gamma}{r} \quad (1)$$

gdzie:

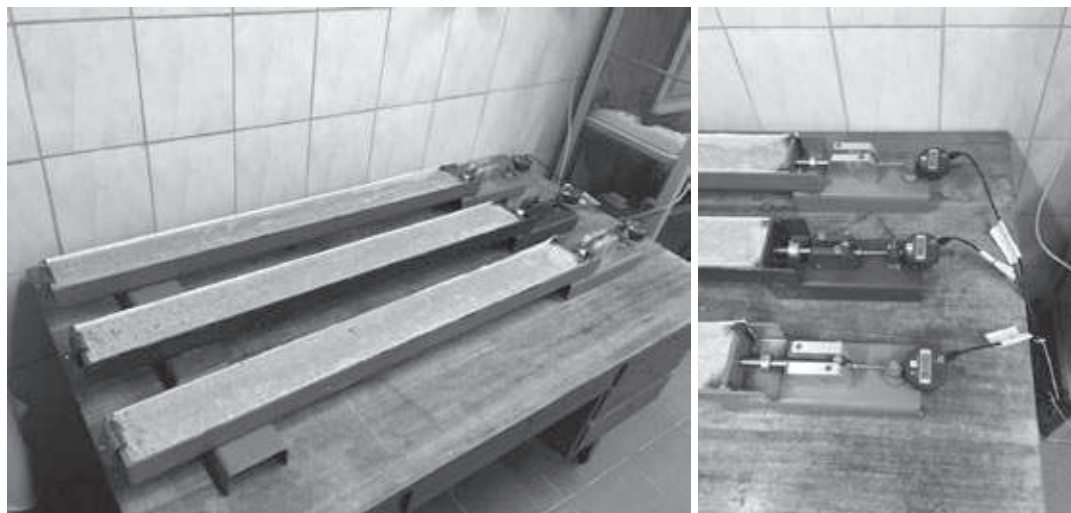
P – ciśnienie kapilarne,

γ – napięcie powierzchniowe roztworu wypełniającego pory,

r – promień menisku.

Efekt ten powoduje redukcję skurczu wysychania na skutek zmniejszenia odległości międzypłaszczyznowych w strukturze CSH [8, 11]. Organiczne reduktory skurczu, dzięki zwiększeniu

Rys. 3. Rynny skurczowe z zamontowanymi czujnikami przemieszczeń rejestrującymi zmiany długości próbek



kohezji mieszanki i więźliwości wody zarobowej wpływają także na pokrój i wielkość kryształów produktów hydratacji cementu. Kryształy ettringitu mają kształt pryzmatycznych igieł, a nie typowych płytek hexagonalnych (rys. 2). Ujemnym efektem stosowania domieszek z tej grupy jest możliwość zmniejszenia wytrzymałości kompozytu w granicach 5–8% na skutek napowietrzenia mieszanki [3, 8].

3.3. Domieszki i dodatki dyspersji polimerowych

Zastosowanie tego typu domieszek i dodatków powoduje istotne zmiany struktury kompozytu cementowego. Dodatek polimerowy zastosowany w ilości przekraczającej 5% m.c. powoduje wytworzenie ciągłej struktury błon o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, które przenikają matrycę cementową i stanowią wewnętrzne mikrozbrojenie kompozytu. Wprowadzone błony polimerowe mają zdolność do mostkowania mikrozarysowań skurczowych. Błony polimerowe otaczają nie tylko ziarna kruszywa, lecz także ziarna cementu, utrudniając dostęp wody do nich. Spowalniają to proces hydratacji, ale równocześnie prowadzi do uzyskania korzystnej drobnokrystalicznej struktury produktów hydratacji cementu [9].

Dodatek dyspersji polimerowych powoduje znaczące zmniejszenie grubości strefy przejściowej zaczyn cementowo-ziarno kruszywa. Jej porowatość jest istotnie zmniejszona, ponieważ wolne przestrzenie wypełnione są ukierunkowanymi cząsteczkami polimeru, co zwiększa powierzchnię kontaktu matrycy z kruszywem i w efekcie powoduje zagęszczenie strefy międzyfazowej [6].

Wokół ziaren kruszywa oraz na ściankach porów w ich pobliżu tworzy się warstewka polimeru, która poprawia przyczepność między różnymi fazami, przede wszystkim między stwardniałym zaczynem cementowym a kruszywem, co znacząco wpływa na poprawę cech betonu, zwłaszcza wzrostu wytrzymałości na rozciąganie i zginanie [11].

Betony i zaprawy cementowo-polimerowe charakteryzują się bardzo korzystnymi właściwościami użytkowymi, z których najważniejsze to:

- wysoka wytrzymałość na zginanie (2–5-krotnie wyższa od betonu zwykłego),
- niska wartość odkształceń skurczowych,
- wysoka rysoodporność,
- bardzo dobra przyczepność do podłoża betonowego.

4. Badania własne

Zrealizowany program badawczy miał na celu ocenę wpływu domieszek ekspansywnych (EXP) i organicznego reduktora skurczu (SRA) na takie właściwości zapraw cementowych, jak przebieg odkształceń skurczowych i kinetykę rozwoju wytrzymałości.

W badaniach zastosowano domieszkę ekspansywną Mapei EXPANCRETE (EXP) i domieszkę redukującą skurcz, opartą na bazie glikolu propylenowego Mapei MAPECURE SRA.

Badania wykonano na zaprawach wykonanych na bazie cementu CEM I 32,5R i piasku naturalnego. Założono proporcje wagowe składników jak w przypadku zaprawy wzorcowej: cement:piasek:woda = 1:3:0,5.

Przyjęto następujące poziomy dozowania reduktorów skurczu:

- Mapei EXPANCRETE (EXP): 1, 2, 3% m.c.,
- Mapei MAPECURE SRA: 1, 2% m.c.

Wpływ zastosowanych w programie badawczym domieszek redukujących skurcz kompozytu cementowego skonfrontowano z efektem, jaki daje wykorzystanie do modyfikacji zaprawy dodatku dyspersji polimerowych opartych na bazie kopolimeru styrenowo-akrylowego (SA) i lateksu styrenowo-butadienowego (SBR) w ilości 10% m.c.

Oceny wielkości odkształceń skurczowych dokonywano z zastosowaniem rynien skurczowych o przekroju ceowym i wymiarach 50×100×1000 mm (rys. 3).

Zastosowana metodyka pomiaru wielkości odkształceń skurczowych ma tę zaletę, że pomiary dokonywane są w sposób automatyczny, we wcześniej założonych interwałach czasowych, a pierwszy odczyt długości próbki wykonywany jest niezwłocznie po jej zaformowaniu, co jest

niemożliwe w przypadku wykonywania pomiarów z użyciem tensometrów nasadowych DEMEC lub aparatu Amslera, gdzie pierwsze odczyty realizowane są z co najmniej kilkugodzinnym opóźnieniem, gdy procesy skurczu są już daleko zaawansowane.

W zrealizowanym programie badawczym próbki do badań skurczu przechowywane były w powietrzu o temperaturze 20°C i wilgotności 60%. Przez pierwsze 72 godziny powierzchnia próbek była zabezpieczana przed odparowaniem wody przy pomocy folii PE.

5. Wyniki badań

Celem zrealizowanego programu badawczego była ocena wpływu określonego typu domieszek na kształtowanie przebiegu odkształceń skurczowych zapraw cementowych. Przebieg skurczu zapraw modyfikowanych domieszką redukującą skurcz, opartą na bazie wielkocząsteczkowego alkoholu (SRA) przedstawiono na rysunku 4.

Analiza wyników badań skurczu zapraw modyfikowanych dodatkiem domieszki MAPECURE SRA pokazuje, że nie wpływa ona zasadniczo na charakter przebiegu odkształceń skurczowych w czasie, w porównaniu do zaprawy wzorcowej. Zastosowanie tego typu domieszki powoduje zwiększenie wiązliwości wody w mieszance, a także zmniejszenie, na skutek obniżenia napięcia powierzchniowego wody, wielkości skurczu wysychania. Jego redukcja jest proporcjonalna do ilości zastosowanej

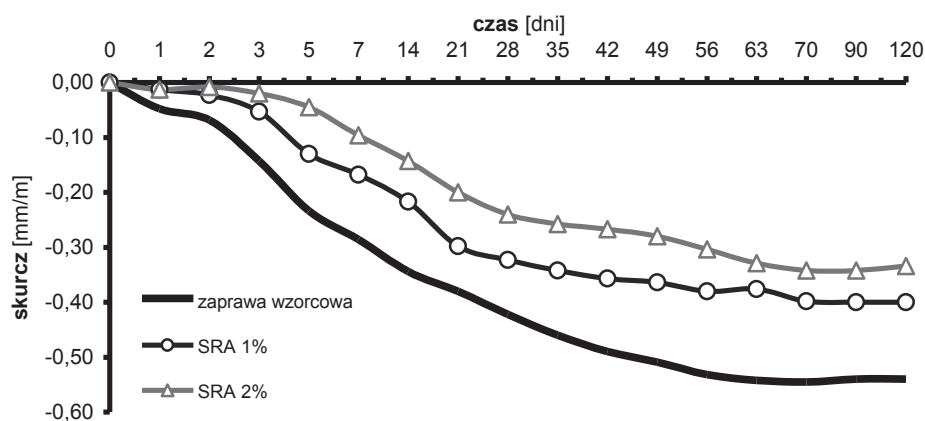
domieszki SRA. Przesunięcie procesu wysychania w czasie umożliwia skuteczne prowadzenie pielęgnacji kompozytu w celu zapewnienia optymalnych warunków ciepłotwilgotnościowych dla procesu hydratacji. Zastosowanie tej domieszki umożliwia zmniejszenie całkowitej wielkości skurczu kompozytu w granicach 20–35% w zależności od poziomu dozowania.

Przebieg odkształceń skurczowych zapraw modyfikowanych 1–3% m.c. dodatkiem domieszki ekspansywnej EXPANCRETE, opartej na bazie CaO, przedstawiono na rysunku 5.

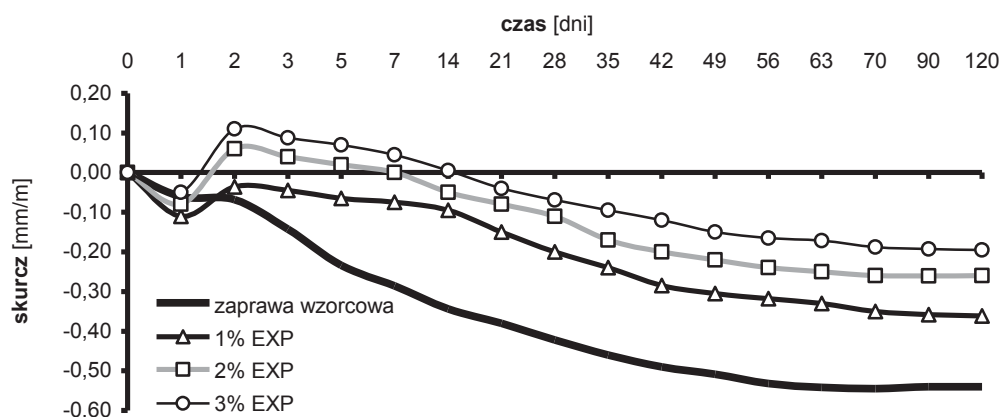
Analiza wyników badań pokazuje, że zastosowanie domieszki ekspansywnej EXP powoduje reakcję ekspansywną, która trwa między 24 a 48–60 godziną od wykonania zaprawy. Wielkość narastania jest proporcjonalna do poziomu dozowania domieszki.

Należy zauważyć, że zastosowanie domieszki ekspansywnej EXP nie wpływa istotnie na wielkość skurczu wysychania kompozytu, która pozostaje na stałym poziomie dla zapraw z dodatkiem EXP, przy dozowaniu 1–3% m.c. Skurcz suszenia jest praktycznie dla tych mieszanek stały i kształtuje się na poziomie 0,30 mm/m. Dla tego typu modyfikacji uzyskanie materiału o skompensowanym skurczu lub wręcz kompozytu ekspansywnego wymaga takiego dozowania domieszki, które spowoduje reakcję narastania kompensującą skurcz wywołany suszeniem. Zastosowanie tego typu domieszki w ilości 1–3% m.c. umożliwiło redukcję końcowej wielkości skurczu, w granicach 30–60%, w stosunku do zaprawy wzorcowej.

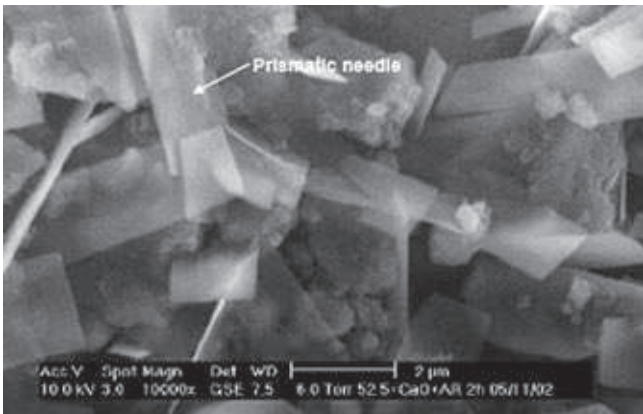
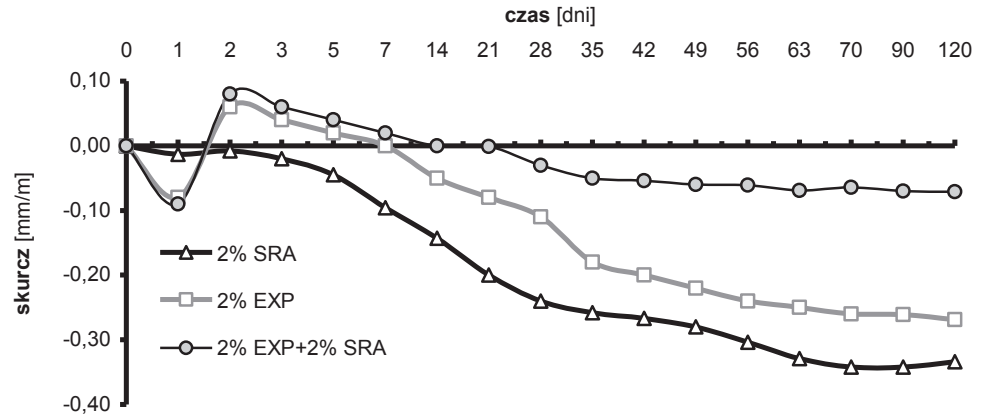
Rys. 4. Skurcz zapraw modyfikowanych domieszką MAPECURE SRA



Rys. 5. Skurcz zapraw modyfikowanych domieszką EXPANCRETE



Rys. 6. Przebieg skurczu zapraw modyfikowanych domieszką MAPEPURE SRA (2% m.c.) i domieszką ekspansywną EXPANCRETE (2% m.c.)



Rys. 7. Fotografia SEM zaczynu modyfikowanego 3% dodatkiem SRA i 3% dodatkiem EXP [3]

W zrealizowanym programie badawczym wykonano także zaprawę modyfikowaną równocześnie dwoma typami domieszek: organicznym reduktorem skurczu SRA i domieszką ekspansywną EXP. Poziom dozowania obu preparatów przyjęto jako równy 2% m.c. Przebieg odkształceń skurczowych dla tego typu zaprawy przedstawiono na rysunku 6.

Wyniki badań pokazują, że równoczesne zastosowanie organicznego reduktora skurczu SRA i domieszki ekspansywnej EXP opartej na bazie CaO w ilości 2% m.c. umożliwia znaczące, o ok. 50%, zmniejszenie skurczu powodowanego wysychaniem. W efekcie uzyskano kompozyt, który charakteryzuje się podobną ekspansją jak zaprawa z 2% dodatkiem EXP, która trwa między 24 a 48 godziną od wykonania zaprawy.

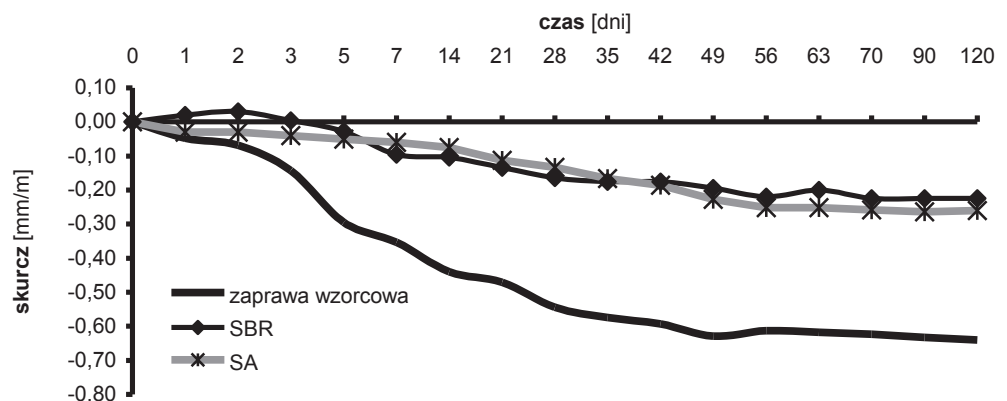
Efektorem równoczesnego zastosowania obu typów domieszek jest zmniejszenie skurczu suszenia z 0,32 do poziomu 0,18 mm/m. Skurcz otrzymanej zaprawy ustabilizował się już po ok. 28 dniach dojrzewania na stałym poziomie wynoszącym 0,08 mm/m, co pozwala zaliczyć ją do grupy materiałów niskoskurczowych.

Jak pokazują badania zrealizowane przez C. Maltese [3], korzystna redukcja skurczu powodowana jest synergiczną interakcją między domieszkami typu SRA i EXP. Na podstawie przeprowadzonej analizy SEM (rys. 7) potwierdzono hipotezę, że kompensacja odkształceń skurczowych możliwa jest przez masowe powstawanie podłużnych kryształów portlandytu, które to powodują efekt narastania [3, 8, 11].

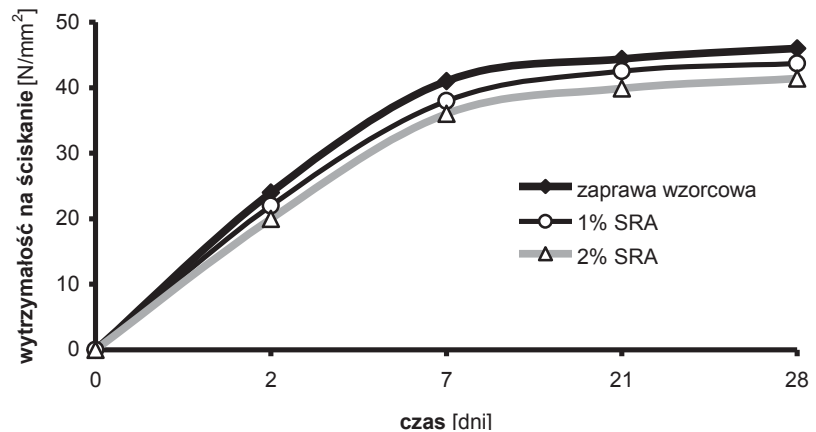
Ponadto Chatterji [10] stwierdził, że równoczesne stosowanie modyfikacji kompozytów domieszkami typu SRA i EXP powoduje powstawanie korzystnych typów kryształów portlandytu, na skutek obniżenia rozpuszczalności wodorotlenku wapnia. Równoczesne zastosowanie z dodatkiem ekspansywnym EXP, domieszki typu SRA (zbudowana z hydrofobowych cząsteczek organicznych) powoduje zmniejszenie rozpuszczalności soli w roztworze, przyczyniając się do powstania dużych form krystalicznych, wspierając tym samym ekspansję kompensującą odkształcenia skurczowe.

Przebieg odkształceń skurczowych zapraw modyfikowanych 10%, w stosunku do masy cementu, dodatkiem dyspersji polimerowych opartych na bazie lateksu styrenowo-butadienowego SBR i kopolimeru styrenowo-akrylowego SA przedstawiono na rysunku 8.

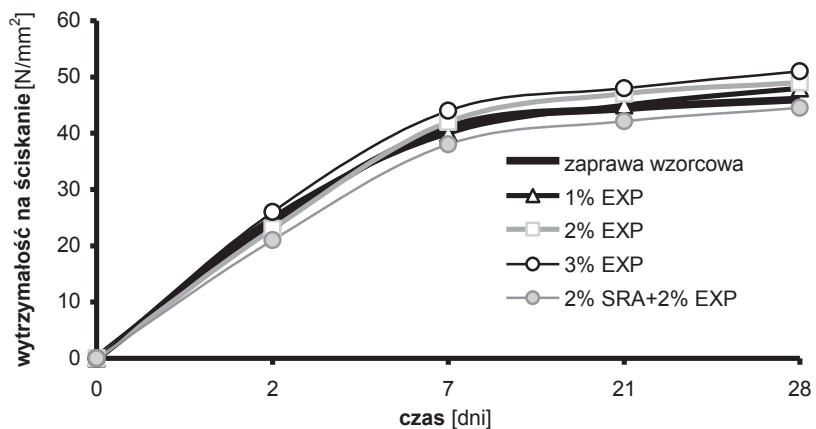
Rys. 8. Przebieg skurczu zapraw modyfikowanych 10% dodatkiem lateksu styrenowo-butadienowego SBR i kopolimeru styrenowo-akrylowego SA



Rys. 9. Kinetyka narastania wytrzymałości zapraw modyfikowanych organicznym reduktorem skurczu SRA



Rys. 10. Kinetyka narastania wytrzymałości zapraw modyfikowanych domieszką ekspansywną na bazie CaO i jednocześnie domieszką EXP i reduktorem skurczu SRA w ilości 2% m.c.



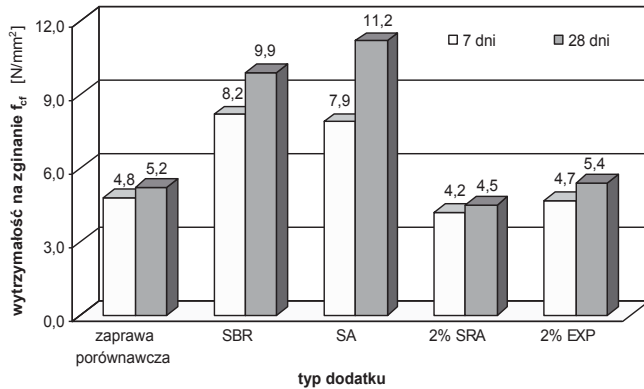
Analiza wyników badań wskazuje, że zarówno dodatek dyspersji lateksu styrenowo-butadienowego SBR i kopolimeru styrenowo-akrylowego SA, w ilości 10% m.c., powoduje zmianę charakteru przebiegu odkształceń skurczowych zapraw w stosunku do zaprawy porównawczej. W przypadku obu kompozytów cementowo-polimerowych obserwuje się znaczące obniżenie końcowej wartości skurczu w granicach 60% w stosunku do zaprawy wzorcowej. Powodowane jest to przenikaniem matrycy cementowej błoną polimerową, która otacza ziarna kruszywa, cementu i tworzy przestrzenną strukturę o budowie przypominającej „plaster miodu”. Dodatkowym korzystnym oddziaływaniem polimerów jest fakt, że błony polimerowe otaczają ziarna cementu, ograniczając dostęp wody, a tym samym spowalniają proces jego hydratacji. Powstałe w jej wyniku produkty, a zwłaszcza kryształy portlandytu, charakteryzują się korzystnie zmienioną strukturą [6, 9]. Innym korzystnym działaniem jest zdolność cząsteczek polimeru do mostkowania mikrozarostów skurczowych, które pojawiają się w zaczynie cementowym.

Zrealizowany program badań własnych pokazał, że różnego typu dodatki przeciwskurczowe w różny sposób wpływają na wytrzymałość badanych zapraw. Wytrzymałość zapraw modyfikowanych dodatkiem reduktora skurczu SRA, opartej na bazie glikolu propylenowego, jest mniejsza o 5–8% w stosunku do zaprawy wzorcowej w całym okresie dojrzewania (rys. 9). Obniżenie wytrzymałości kompozytu jest proporcjonalne do ilości zastosowanej domieszki SRA.

Krzywe kinetyki narastania wytrzymałości zapraw modyfikowanych domieszką ekspansywną EXP, opartą na bazie CaO i zaprawy modyfikowanej równocześnie domieszką EXP i reduktorem skurczu SRA w ilości 2% m.c. przedstawiono na rysunku 10.

Zastosowanie do modyfikacji zaprawy domieszki ekspansywnej na bazie CaO w ilości 1–3% m.c. nie powoduje istotnych zmian wytrzymałości kompozytu. Jednoczesna modyfikacja zaprawy domieszką EXP i reduktorem skurczu SRA w ilości 2% m.c. powoduje kompensację ubytku wytrzymałości, będącego skutkiem napowietrzającego działania domieszki SRA.

W przypadku zapraw do modyfikacji, w których wykorzystano dodatki polimerowe, oparte na bazie kopolimeru styrenowo-akrylowego SA i lateksu styrenowo-butadienowego SBR w ilości 10% m.c., nie zanotowano istotnych zmian wytrzymałości na ściskanie. Dzięki korzystnej zmianie struktury kompozytu, którą przenikają błony polimerowe o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, obserwuje się znaczące (ponad 100%) przyrosty wytrzymałości na zginanie zarówno po 7 jak i 28 dniach dojrzewania w stosunku do zaprawy wzorcowej (rys. 11). Ta korzystna zmiana, w połączeniu z redukcją skurczu, przesądza o zastosowaniu kompozytów cementowych modyfikowanych polimerami do wykonywania posadzek i podkładów podłogowych, które mają być realizowane w systemie bezdylatacyjnym [7]. W przypadku zapraw modyfikowanych dodatkiem organicznego reduktora skurczu SRA



Rys. 11. Wpływ dodatków polimerowych SBR i SA oraz reduktorów skurczu SRA i EXP na wytrzymałość na zginanie zaprawy po 7 i 28 dniach dojrzewania

i domieszki ekspansywnej EXP nie obserwuje się istotnej zmiany wytrzymałości na zginanie w porównaniu do mieszanki porównawczej.

6. Podsumowanie

- Zastosowanie do modyfikacji zapraw reduktora skurczu na bazie glikolu propylenowego SRA pozwala na redukcję odkształceń zaprawy cementowej w granicach 25–35% w stosunku do zaprawy porównawczej.
- Dodatek ekspansywny EXP oparty na bazie CaO, dzięki reakcji narastania między 24 a 72 godziną wykonania kompozytu, pozwala na zredukowanie odkształceń skurczowych w granicach 30–60% w stosunku do zaprawy porównawczej.
- Zrealizowany program badawczy pokazał korzystny, synergiczny efekt współdziałania między domieszkami SRA i EXP, który pozwala na uzyskanie zapraw o skompensowanym skurczu.
- Zastosowanie dodatku dyspersji polimerowej, zarówno SBR i SA, w ilości 10% m.c., powoduje zmniejszenie wczesnych, jak i długotrwałych odkształceń skurczowych w granicach 60% w stosunku do zaprawy wzorcowej.

- Dodatki polimerowe, na skutek korzystnych zmian w strukturze zaczynu, a zwłaszcza warstwy kontaktowej ziarnozaczyn, jak również dzięki obecności błon polimerowych o wysokiej wytrzymałości, umożliwiają znaczne zwiększenie wytrzymałości kompozytów na rozciąganie i zginanie.
- W przypadku stosowania domieszki redukującej skurcz SRA i domieszki ekspansywnej EXP nie zanotowano ich większego wpływu na wytrzymałość zapraw zarówno na ściskanie jak i na zginanie.

Referat był wygłoszony na III konferencji TECH-BUD'2017

BIBLIOGRAFIA

- [1] Konik Z., Małolepszy J., Roszczynialski W., Stok A., Wpływ dodatku ekspansywnego na właściwości fizyczne wybranych cementów, Cement Wapno Beton 4/2006
- [2] Roszczynialski W., Konik Z., Małolepszy J., Stok A., Wykorzystanie gipsów z odsiarczania spalin do otrzymywania siarczanowo-wapniowego spieku, stanowiącego główny składnik dodatku ekspansywnego, Cement Wapno Beton 1/2006
- [3] Maltese C., Pistolesi C., Lolli A., Bravo A., Crulli T., Salvioni D., Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars, Cement and Concrete Research 35/2005, str. 2244–2251
- [4] Wittmann F., On the action of capillary pressure in fresh concrete, Cement and Concrete Research 6/1976, str. 49–56
- [5] Kudowski W., Chemia cementu, PWN, Warszawa, 1991
- [6] Czarnecki L., Betony polimerowe. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002
- [7] Gruszczyński M., Wpływ rodzaju i ilości dodatku polimerowego na wielkość skurczu zapraw i betonów cementowych, Cement Wapno Beton 3/2007, str. 139–144
- [8] Suzuki M., Tanimura M., Sato R., The effect of autogenous shrinkage on flexural cracking behavior of reinforced HSC beams and improvement by using low-shrinkage HSC. Fourth International Seminar on Self-desiccation and Its Importance in Concrete Technology, 20/June/2005, Gaithersburg
- [9] Czarnecki L., Łukowski P., Wpływ domieszek i dodatków polimerowych na trwałość betonu, Cement Wapno Beton 6/2003
- [10] Chatterji S., Mechanism of expansion of concrete due the presence of dead burnt CaO and MgO, Cement and Concrete Research 25/1995, str. 51–56
- [11] Tazawa E., Miyazawa S., Influence of binder and mix proportion on autogenous shrinkage of cementitious materials, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements of JSCE nr 502, tom 25, str. 43–52, 1994

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”

uzyskuje się 5 punktów

serdecznie zapraszamy autorów do publikowania

w „Przeglądzie Budowlanym”

zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.