

WPLYW MODYFIKACJI MIKROSTRUKTURY NA KAPILARNOSC ZAPRAW CEMENTOWYCH ZBROJONYCH KRÓTKIMI WŁÓKNAMI PP

Agata WYGOCKA*, Halina GARBALIŃSKA*

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych,
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mails: Halina.Garbalska@zut.edu.pl, wygocka@zut.edu.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki badań porowatości i kapilarności zapraw cementowych zbrojonych krótkimi włóknami polipropylenowymi. Receptury kompozytów wariantowano poprzez zastosowanie domieszek chemicznych i pyłów krzemionkowych. Oceniono wpływ modyfikacji mikrostruktury na przebieg procesu kapilarnego podciągania wody.

Słowa kluczowe: Kapilarność, mikrostruktura, zaprawa, domieszki, pyły krzemionkowe.

1. WPROWADZENIE

Dominującym zjawiskiem odpowiedzialnym za transport wody w stanie ciekłym w materiałach porowatych, do których zaliczane są kompozyty o matrycach cementowych, jest kapilarne podciąganie. Z uwagi na możliwość wprowadzenia przez wodę substancji agresywnych w głąb materiału, jak i pojawiające się podczas formowania kryształów lodu naprężenia rozciągające, parametry opisujące kapilarność w dużej mierze determinują trwałość tworzywa. Ponieważ tempo kapilarnego wchłaniania wody oraz skala zjawiska są silnie uzależnione od uwarunkowań strukturalnych materiału, odpowiednio modelując jego budowę wewnętrzną można w celowy sposób sterować przebiegiem tych procesów.

Jednym z podstawowych czynników wpływających na strukturę porowatości matrycy cementowej jest wartość wskaźnika wodno-cementowego, którego znaczną redukcję, a tym samym poprawę właściwości mikrostrukturalnych kompozytu, uzyskać można poprzez zastosowanie domieszek uplastyczniających i upłynniających. W literaturze sygnalizuje się również, że wprowadzenie do mieszanki pyłów krzemionkowych daje efekt ograniczenia ilości porów kapilarnych na rzecz żelowych oraz zagęszczenia war-

stwy przejściowej na styku kruszywo – zaczyn [2]. Natomiast zastosowanie włókien polipropylenowych prowadzi do uzyskania bardziej jednorodnej struktury materiałów betonopodobnych poprzez ograniczenie powstawania rys związanych ze skurczem plastycznym zaczynu cementowego. Innym kierunkiem modyfikacji materiałów kompozytowych, zmierzającej do poprawy ich trwałości, jest wprowadzenie domieszki napowietrzającej. Wytworzone na skutek jej działania kuliste pory powietrzne o wielkościach rzędu $20\div 250\ \mu\text{m}$ przerywają ciągłość kapilar w zaczynie [1, 4]. Można oczekiwać, że w tak różnie ukształtowanych mikrostrukturach proces kapilarnego transportu wody będzie przebiegał odmiennie.

Niniejszy artykuł poświęcony jest badaniom kapilarnego podciągania wody w zbrojonych krótkimi włóknami polipropylenowymi zaprawach cementowych, których receptury modyfikowano poprzez wprowadzenie domieszek chemicznych i pyłów krzemionkowych. Przeprowadzone testy porozymetryczne służyły identyfikacji różnic w budowie mikrostrukturalnej testowanych kompozytów.

2. PROGRAM BADAŃ

Przeprowadzone badania struktury oraz kapilarności dotyczyły czterech zapraw wykonanych na bazie cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R oraz naturalnego piasku kwarcowego o uziarnieniu $0\div 2\ \text{mm}$. Wągowe proporcje piasku do cementu przyjęto na poziomie $p:c = 3,1:1$. We wszystkich kompozytach zastosowano mikrozbrojenie w postaci elementarnych włókien polipropylenowych o długości 3 mm i średnicy $32\ \mu\text{m}$, które dozowano bezpośrednio do mieszanki w standardowej ilości $0,9\ \text{g}/\text{dm}^3$. W recepturze A wartość wskaźnika w/c przyjęto poziomie 0,55. W zaprawach

B i C wprowadzono superplastyfikator, co umożliwiło ograniczenie ilości wody zarobowej o 20%. W kompozycji C dodatkowo zastąpiono 5% masy cementu pyłami krzemionkowymi. Recepturę D zmodyfikowano w stosunku do A poprzez zastosowanie domieszki napowietrzającej w ilości 0,3% masy cementu.

Z każdej mieszanki wykonano po 16 próbek walcowych, które kondycjonowano w kąpeli wodnej przez okres 12 miesięcy w celu wygaszenia procesów hydratacji. Następnie, aby zapewnić identyczne wstępne warunki wilgotnościowe, wszystkie testowane walce wysuszono do stałej masy. Proces suszenia prowadzono cyklicznie do uzyskania stałej masy próbek. W każdym cyklu temperaturę podnoszono stopniowo do maksymalnej wartości 105°C, w celu ograniczenia ryzyka powstawania rys od naprężeń termicznych. Przed przystąpieniem do badań kapilarności zaizolowano walce na pobocznicach folią polietylenową, aby zapewnić jednokierunkowy przepływ wody w trakcie eksperymentu.

Eksperyment podciągania kapilarnego rozpoczynał się z chwilą umieszczenia walców w kuwetach z wodą, na rusztach zapewniających im punktowe podparcie. Pomiarzy zmieniających się mas próbek prowadzone były w ustalonych interwałach czasowych, dostosowanych do dynamiki procesu, przez okres 2 miesięcy. W początkowej fazie eksperymentu – intensywnego wchłaniania wody, ważenie wykonywano stosunkowo często (co 1, 2, 4 godziny). Wraz ze spowolnieniem tempa podciągania kapilarnego wydłużano odstępy między kolejnymi pomiarami do 2÷3 dni.

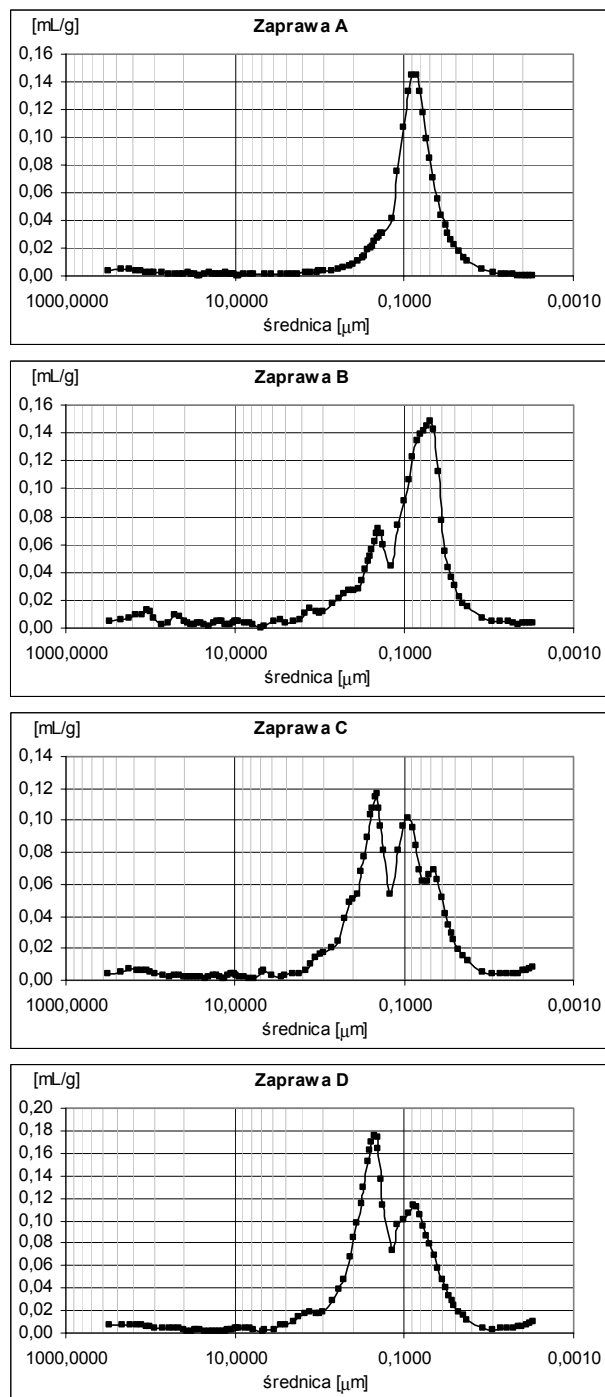
W odniesieniu do każdego kompozytu przeprowadzono ponadto badania strukturalne metodą porozymetrii rtęciowej. W celu przebadania struktur najbardziej reprezentatywnych do testów pobierano część materiału o masie 3÷4 g z rdzeni walców. Badanie polegało na włączaniu, przy rosnącym ciśnieniu, rtęci do wnętrza porów wysuszonej i odpowietrzonej próbki. Zakres pomiarowy porozymetru pozwalał na identyfikację parametrów strukturalnych w odniesieniu do porów o średnicach od 3 nm do 360 μm .

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Wyniki badań porozymetrycznych

Wyniki badań porozymetrycznych posłużyły do sporządzenia dla wszystkich testowanych zapraw wykresów częstości występowania porów o danych średnicach (rys. 1). Stwierdzono, że zastosowane modyfikatory w istotny sposób wpływają na strukturę porowatości kompozytów cementowych. Zaprawa przygotowana na bazie podstawowych składników i dozbrajana włóknami PP charakteryzowała się jednomodalnym rozkładem wielkości pustek, z dominującymi porami o średnicy 0,08 μm . Natomiast wprowadzenie superplastyfikatora w zaprawie B i dodatkowo pyłów krzemionkowych w zaprawie C przełożyło się na uzyskanie bardziej zróżnicowanej struktury porowatości z wieloma

lokalnymi ekstremami. Zastosowanie domieszki napowietrzającej w kompozycji D skutkowało powstaniem bimodalnego rozkładu wielkości porów. Odnotowano, iż w tym przypadku nastąpiło przesunięcie wielkości średnicy porów dominujących (0,2 μm). Drugie maksimum tworzyły podobnie, jak w zaprawie A, pustki o wymiarze 0,08 μm .



Rys. 1. Rozkład wielkości porów testowanych zapraw.
Fig. 1. Pore size distribution in tested mortars.

3.2. Wyniki badań podciągania kapilarnego

Dane z pomiarów kapilarnego podciągania wykorzystano do sporządzenia wykresów zależności przyrostu masy odniesionej do powierzchni ssania $\Delta m_t/F$ w funkcji pierwiastka z czasu \sqrt{t} . Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi tych zależności dla czterech zapraw. W każdym przypadku wykresy zostały wyznaczone jako wypadkowe z 12 próbek. Z prostoliniowych odcinków zależności między przyrostem masy a pierwiastkiem z czasu wyznaczono dla każdej próbki kapilarny współczynnik sorpcji wody A , zdefiniowany w [3]:

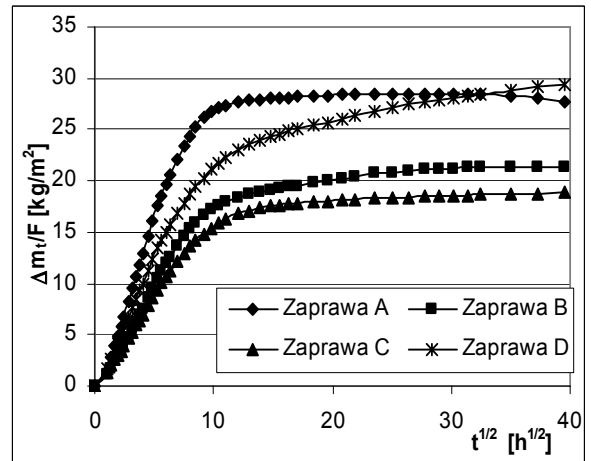
$$A = \frac{\Delta m_t}{F \cdot \Delta \sqrt{t}}, \quad (1)$$

gdzie: Δm_t – przyrost masy próbki, F – powierzchnia ssania, $\Delta \sqrt{t}$ – przyrost pierwiastka z czasu.

Współczynniki sorpcji poszczególnych próbek oraz wartości średnie dla zapraw zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki sorpcji wody A [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$].
Table 1. Water sorption coefficients A [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$].

Nr próbki	Zaprawa			
	A	B	C	D
1	4,631	2,636	2,473	3,348
2	4,002	2,219	2,538	3,449
3	4,373	2,101	1,399	3,502
4	3,722	2,460	2,191	3,326
5	3,975	2,508	1,698	3,033
6	4,017	2,164	2,426	2,151
7	3,930	2,760	1,752	3,076
8	3,807	2,302	1,537	2,360
9	3,547	2,074	2,227	3,447
10	3,791	2,585	1,893	1,980
11	4,369	2,556	1,634	3,343
12	4,750	1,996	2,272	2,507
Średnia	4,076	2,363	2,003	2,960



Rys. 2. Wypadkowe zmiany masy względem pierwiastka z czasu czterech badanych zapraw.

Fig. 2. The resultants of the mass change with respect to the root of time of the four mortars under examination.

Zmiany w mikrostrukturze zapraw przełożyły się na istotne zmiany wartości parametrów opisujących kapilarny transport wody. W przypadku wszystkich trzech kompozytów modyfikowanych domieszkami chemicznymi i pyłami krzemionkowymi zaobserwowano spowolnienie tempa kapilarnego podciągania wody w stosunku do zaprawy wzorcowej A. Redukcja wskaźnika wodno-cementowego i wprowadzenie domieszki upłynniającej (zaprawa B) skutkowało obniżeniem wartości współczynnika sorpcji o 42% w odniesieniu do kompozytu o $w/c = 0,55$. Jeszcze bardziej znaczący spadek współczynnika A – o 51%, odnotowano w przypadku receptury C, w której 5% masy cementu zastąpiono dodatkami pyłów krzemionkowych. Analizując wpływ domieszki napowietrzającej na proces kapilarnego podciągania stwierdzono, że przebiegi funkcyjne zmieniających się mas próbek od pierwiastka z czasu dla kompozytów A i D mają odmienny charakter. W zaprawie wzorcowej po okresie intensywnego wchłaniania wody następowało stabilizowanie się mas walców. W końcowej fazie, w niektórych przypadkach rejestrowano spadki mas związane prawdopodobnie z dotarciem frontu wody do niezaizolowanej górnej powierzchni próbki i parowaniem do otoczenia. W przypadku zaprawy z domieszką napowietrzającą odnotowano wolniejsze tempo ssania kapilarnego w pierwszych kilkudziesięciu godzinach trwania eksperymentu, co przełożyło się na obniżenie współczynnika sorpcji o 27%. Jednak uzyskane dla próbek tej zaprawy wykresy odbiegają od modelowego opisu zjawiska z dwoma wyraźnie rozdzielonymi fazami różniącymi się tempem wchłaniania wody. W drugim etapie procesu obserwowano nadal istotne przyrosty mas próbek.

4. PODSUMOWANIE

Analiza wyników przeprowadzonych badań wskazuje na duże możliwości kształtowania mikrostruktury kompozytów cementowych poprzez zastosowanie domieszek chemicznych i dodatków mineralnych. Na podstawie badań porozymetrycznych stwierdzono, że na skutek wprowadzenia do mieszanek superplastyfiaktora, pyłów krzemionkowych i domieszki napowietrzającej uzyskano zaprawy o wyraźnie różnej strukturze porowatości. Poczynione modyfikacje w budowie wewnętrznej testowanych kompozytów przełożyły się na zmiany ich właściwości kapilarnych. Wpływ mikrostruktury ujawnił się nie tylko w istotnie różnych wartościach współczynnika sorpcji, charakteryzującego tempo wchłaniania wody w pierwszych godzinach kontaktu materiału z wodą. Odnotowano również odmienny charakter przebiegu procesu kapilarnego podciągania w dalszej części eksperymentu, co przekładało się na różny końcowy stan wilgotnościowy testowanych zapraw.

THE INFLUENCE OF STRUCTURE MODIFICATION ON CAPILLARITY OF MORTARS REINFORCED WITH PP FIBRES

Summary: The paper presents results of mercury porosimetry tests and capillary flow experiments in cement mortars reinforced with short polypropylene fibres. The recipes of mortars were varied by adding admixtures and silica fume. The influence of structure modification on the course of capillary flow was assessed.

Literatura

- [1] Łukowski P. *Domieszki do zapraw i betonów*. Polski Cement, Kraków 2003
- [2] Nocuń-Wczelik W. *Pył krzemionkowy – właściwości i zastosowanie w betonie*. Polski Cement, Kraków 2005
- [3] PN-EN ISO 9346 *Wymiana masy. Wielkości fizyczne i definicje*
- [4] Wawrzeńczyk J. *Diagnostyka mrozoodporności betonu cementowego*. Monografie studia rozprawy Z.32. Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2002