

*Grzegorz Bajorek
Piotr Nowicki
Krzysztof Pogan
Krystian Sikorski*

Wpływ domieszek uszczelniających na trwałość betonu

INFLUENCE OF SEALING ADMIXTURES ON DURABILITY OF CONCRETE

Streszczenie

W referacie przedstawiono ocenę wpływu domieszki uszczelniającej na wybrane właściwości betonu związane z jego wodoszczelnością. Ocena odnosi się do wniosków sformułowanych na podstawie badań wykonanych na próbkach o określonych wymiarach. Materiał na próbki wykonany jest poprzez połączenie, we wczesnym etapie urabiania, mieszanki betonowej z domieszką. Badania wykonano w oparciu o wytyczne karty technicznej domieszki firmy Schomburg oraz wymogi normowe dotyczące poszczególnych badań.

Abstract

This thesis covers the evaluation of the influence of sealing admixture on specific concrete properties connected with water penetration. The whole experiment was carried out based on the technical data sheet of Schomburg product and requirements of the relevant standards. Investigated material has been modified by addition of the mentioned admixture for concrete during mixing process.

dr inż. Grzegorz Bajorek – Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej Sp. z o. o.

mgr inż. Piotr Nowicki – Schomburg Polska Sp. z o. o.

dr inż. Krzysztof Pogan – Schomburg Polska Sp. z o. o.

mgr inż. Krystian Sikorski – Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

Człowiek od początku swego istnienia dążył do rozwoju. Nieodzowną częścią walki o przetrwanie był nieustanny postęp, który prowadził do polepszenia warunków życia. Jednym z głównych problemów towarzyszących mu na drodze ewolucji było zapewnienie bezpieczeństwa, początkowo jednostce, kolejno gromadom ludzkim. Wiązało się to z organizacją miejsca osłoniętego od warunków atmosferycznych lub groźnej fauny. Naturalne schronienie w postaci jaskiń lub grot zdało się z czasem nie spełniać wymogów stawianych przez wciąż rozwijającego się człowieka. Na drodze intuicyjnych działań, oczywistym stało się, iż samo zestawianie elementów nie wystarczało. Niezbędnym było zastosowanie materiału, który zapewniłby trwałość i stateczność wznoszonych konstrukcji. W ten sposób wynaleziono materiał, różniący się składem na przełomie wieków, który po związaniu wykazuje szereg przydatnych właściwości, a który nazywamy betonem.

Właściwości stwardniałego betonu niejednokrotnie nie były w stanie sprostać wymagom stawianym przez naturę oraz człowieka. Chęć ich modyfikacji w sposób zgodny z przyszłym przeznaczeniem betonu, warunkowała dodawanie do świeżej mieszanki materiałów stałych (dodatków) lub płynnych (domieszek). Początkowo intuicyjne metody prowadzone drogą makroskopową, wraz z rozwojem technologii umożliwiających miniaturyzację, pozwoliły na określanie optymalnego składu determinowanego przez zależności między składem chemicznym dodawanego materiału, a tą cechą mieszanki betonowej.

Dzisiaj pojęcie betonu jest znacznie szersze i uległo wielu modyfikacjom. Obecnie beton uzyskuje się nie tylko z okruchów skalnych (kruszywo naturalne i łamane), ale także z kruszywa sztucznego i wypełniaczy, zaś zamiast cementu stosuje się inne spoiwa, a jego właściwości wzbogaca się domieszkami i dodatkami.

Ogólnie można zdefiniować beton jako materiał budowlany uzyskany z połączenia drobnoziarnistego wypełniacza spoiwem. Tak uzyskany materiał nosi nazwę kompozytu, w którym zaczyn spełnia rolę matrycy, a kruszywo inkluzji.

Beton i stal są obecnie dwoma najbardziej powszechnie stosowanymi materiałami w konstrukcjach budowlanych. Czasem się wzajemnie uzupełniają (tworząc żelbet), a czasem konkurują ze sobą w tym sensie, że konstrukcje podobnego typu i funkcji mogą być zbudowane z jednego z tych materiałów. A jednak inżynierowie zwykle wiedzą mniej o betonie, z którego jest wykonana konstrukcja, niż o stali.

Stal jest produkowana w warunkach dokładnie kontrolowanych, jej właściwości są określone w laboratorium i opisywane w świadectwach producenta. Projektant musi zatem jedynie wyspecyfikować stal zgodnie z odpowiednią normą, a nadzór inżyniera na budowie jest ograniczony do sprawdzenia zgodności dostawy ze specyfikacją, oraz wykonawstwa połączeń między poszczególnymi elementami stalowymi.

Na budowie obiektu betonowego sytuacja jest całkowicie inna. Wprawdzie jakość cementu i kruszyw jest gwarantowana przez producenta w sposób podobny do tego jak w przypadku stali, ale to nie cement i kruszywo, lecz beton jest materiałem konstrukcyjnym. Elementy z betonu wykonywane są często na budowie, a ich jakość jest zależna niemal wyłącznie od fachowości wykonawstwa przy produkcji, transporcie, układaniu mieszanki betonowej oraz pielęgnowaniu świeżego betonu.

W dzisiejszych czasach, postęp nauk zajmujących się badaniem zarówno mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu, pozwala na określenie składów domieszek lub dodatków w proporcjach zapewniających regulowanie wybranych właściwości.

Problematyka przedstawiona w niniejszej pracy dotyczy możliwości zwiększenia trwałości wznoszonych konstrukcji w sposób kontrolowany, zależnie od przyszłego jej przezna-

czenia. W tym celu należy przeanalizować parametry kształtujące tę cechę betonu. Należy zwrócić uwagę na zagadnienie klasy ekspozycji, wskazującej warunki pracy konstrukcji. Kluczowym zdaje się być pytanie, jaki wpływ na głębokość penetracji wody w głąb struktury stwardniałego betonu ma stosowanie domieszek definiowanych jako uszczelniające.

Zaprezentowane w niniejszej pracy badania miały na celu dokonanie oceny wodoch szczelności przy zastosowaniu domieszki dozowanej na różnych poziomach ilościowych w stosunku do cementu. Wykonano je dla dwóch betonów różniących się zdecydowanie klasą, a co za tym idzie, zawartością cementu w betonie.

W badaniach laboratoryjnych zwrócono uwagę na sposób oddziaływania domieszki na parametry charakteryzujące stwardniały beton pod kątem interesującego zagadnienia, tzn. rejestrowano głębokość penetracji wody w betonie oraz wytrzymałość na ściskanie.

Wyniki przeprowadzonych badań zestawione w tabelach oraz przedstawione na wykresach pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących optymalnego stosowania domieszki.

1.1. Trwałość

Trwałość w praktyce zależy od projektowanych materiałów oraz jakości wykonania mieszanki betonowej. Wymagania dotyczące zagadnienia trwałości determinowane są przez projektowany okres użytkowania, szczególne środki ochrony, planowany sposób użytkowania, a także następstwa ewentualnego uszkodzenia [1]. Norma [2] uwzględniając powyższe, określa dobór i proporcje składników oraz mikrostrukturę w sposób pozwalający osiągnąć właściwą trwałość. Można ją określić przez zapewnienie stanu użytkowalności przez okres użytkowania, czyli zgodnie z PN-EN 206 okres, w którym stan betonu odpowiada wymaganiom eksploatacji konstrukcji pod warunkiem, że jest dobrze użytkowana [2].

Norma do projektowania Eurokod 2, czyli PN-EN 1992 [3], jak i jej poprzedniczka (norma wycofana PN-B-03264 [4]) określają spełnienie wymogów trwałości poprzez zapewnienie odpowiedniego doboru materiałów i klasy betonu, czyli odpowiednie określenie korelacji między użytym materiałem, a wpływem otoczenia na jego właściwości [4]. Konieczne jest zrozumienie zależności między agresją ze strony środowiska, a odpornością betonu jako materiału. Dokładniej ujmując, nie można w sposób bezwzględny określać betonu mianem trwałego bądź nietrwałego, ponieważ ten sam beton w dwóch różnych środowiskach może zachowywać się zupełnie inaczej [1].

Parametrem uwzględniającym ten fakt jest klasa ekspozycji, która zgodnie z PN-EN 206 w sposób odpowiedni łączy trwałość betonu z otaczającym go środowiskiem, określając 21 podklas opisujących możliwe warianty agresji wobec materiału konstrukcyjnego [2].

Analiza wpływu różnych środowisk pozwoliła na sprecyzowanie granic odnoszących się do składu oraz właściwości betonu. Przedstawiono je w tabeli 1, gdzie dla porównania zestawiono te wymagania odnosząc się do wycofanej normy PN-B-06250 [5].

Tabela 1. Porównanie wymogów normowych dla wartości granicznych składu betonu

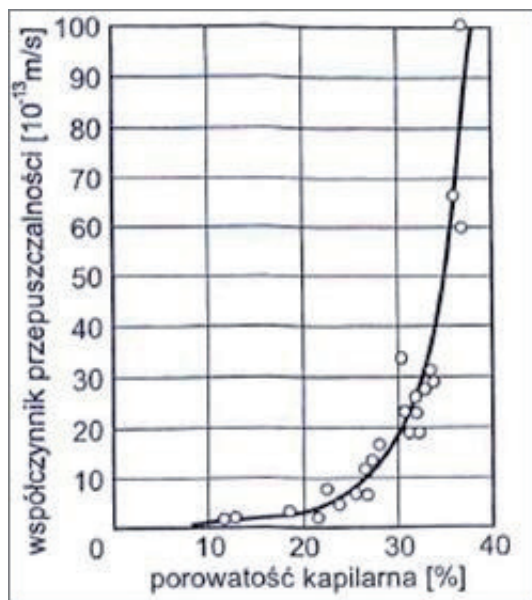
PN-EN 206 [2]	PN-B-06250 [5]
$0,45 \leq (w/c)_{\max} \leq 0,65$	$0,55 \leq (w/c)_{\max} \leq 0,75$
$C8/10 \leq f_{ck, \min} \leq C35/45$	$R_b^G \geq B7,5$
$260 \text{ kg/m}^3 \leq C_{\min} \leq 360 \text{ kg/m}^3$	$190 \text{ kg/m}^3 \leq C_{\min} \leq 270 \text{ kg/m}^3$

Analizując zestawione w tabeli 1 wartości pochodzące z dwóch norm dotyczących betonu, doskonale widać jak duży postęp odnotowała gałąź związana z technologią betonu. Zmiana na lepsze nie byłaby możliwa gdyby nie wzrost świadomości projektantów. Świadomość ta wynika z analizy mikrostruktury mieszanki lub betonu unaoczniającej wzajemne oddziaływania między składnikami. Badając wpływ wzajemnego oddziaływania na siebie poszczególnych składników i ich poprawnego łączenia, trudno pominąć znaczenie domieszek. To one, mimo nieznacznego udziału masowego pozwalają w znacznej mierze sterować parametrami mieszanki betonowej lub betonu.

W kontekście zagadnienia penetracji wody przez beton, pojęcie trwałości ma ścisły związek ze zdolnością stwardniałego betonu do przepuszczania (wodoszczelność) lub wnikania (nasiąkliwość) tej cieczy w głąb struktury. Zagadnienie to odgrywa także ważną rolę ze względu na mrozoodporność betonu. Faktem jest, iż korozja mrozowa w naszej szerokości geograficznej jest najpowszechniejszą przyczyną niszczenia betonu. Ma na to bezpośredni wpływ infiltracja wody w głąb jego struktury. Podstawą analizy wpływu domieszek na zjawisko penetracji wody przez beton jest zrozumienie samego mechanizmu wnikania wody do betonu.

1.2. Porowatość

Konieczne w tych analizach jest uwzględnienie zjawiska porowatości czyli zawartości pustek powietrznych w strukturze stwardniałego betonu. Znajomość ich ilości oraz wymiarów w znacznym stopniu rzutuje na szczelność betonu, co z kolei przekłada się na jego trwałość (parametry nasiąkliwości, wodoszczelności, wytrzymałości).



Rys. 1. Zależność porowatość – przepuszczalność [6]

Dokładniej ujmując, trwałość betonu zależna jest od sumy pustych przestrzeni, na które składają się:

- uwięzione powietrze,
- pory kapilarne,
- pory żelowe,

oraz powietrze, które dostało się do mieszanki w trakcie napowietrzania, oczywiście w przypadku gdy dokonano takiego zabiegu [6].

Jako podstawowe wyodrębniamy pory żelowe oraz pory kapilarne. Pory żelowe, klasyfikowane jako mikropory mają niewielkie wymiary. Wynika z tego fakt, iż mimo znacznego udziału w strukturze żelu (55% jego objętości) nie wpływają na zjawiska kapilarne. Dokładniej ujmując, nie biorą udziału w procesach przenikania wilgoci przez beton, a co za tym idzie nie wpływają na jego wytrzymałość.

W kształtowaniu szczelności betonu największą rolę spośród porów odgrywiają pory kapilarne, które są częściowo wypełnione wodą pozostałą po procesie hydratacji. Struktura porów, będąca pochodną układu wewnętrznych połączeń, ma duży wpływ na zachowanie się betonu w kontakcie z wodą. Pory kapilarne są połączone, prowadzi to do powstawania rurek włoskowatych. Przy spełnieniu warunku ich małej średnicy wystąpi zjawisko kapilarności [7].

Chcąc kontrolować rozkład porów, po to by zwiększyć szczelność betonu w okresie jego eksploatacji, stosuje się mikrowypełniacze. Oddziałują one:

- fizycznie (powodując zmniejszenie objętości porów oraz zmniejszenie ich średnicy),
- chemicznie (wchodząc w reakcje ze składnikami mieszanki tworzą nierozpuszczalne struktury wypełniające kapilary),

co wpływa na gęstość kompozytu. Gwarantuje przy tym, oprócz zwiększenia szczelności, większą trwałość elementów.

1.3. Wodoszczelność

Poprzez pojęcie wodoszczelności rozumie się zdolność betonu do przeciwstawiania się przepływowi wody, która znajduje się pod ciśnieniem. Parametr ten wynika z porowatości, zależny jest od zawartości porów, struktury zhydratyzowanego betonu i stosunku w/c. Determinuje odporność korozyjną betonu, co z kolei ma wpływ na jego trwałość. Przy czym kwestia wodoszczelności samego tworzywa, czyli betonu, nie jest w tym miejscu kluczowa, bowiem należy spojrzeć szerzej i sięgnąć po wodoszczelność całej konstrukcji [8].

1.4. Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość uważana jest za podstawową cechę techniczną betonu. Uznaje się, że odzwierciedla ona stan betonu, dokładniej jego jakość, ponieważ jest w bezpośredniej zależności od jego mikrostruktury. Oczywiście jest, iż cecha ta jest podstawowym parametrem w procesie projektowania i wymiarowania konstrukcji. Co więcej, betony muszą spełniać normowe wymagania wytrzymałościowe [6].

Bazując na doświadczeniu wynikającym z praktyki inżynierskiej przyjąć można, iż wytrzymałość betonu, przy spełnieniu wymogów dotyczących składu, czasu dojrzewania oraz odpowiedniej pielęgnacji, zależy w znacznej mierze od stopnia zagęszczenia oraz stosunku wodno-cementowego.

2. Przygotowanie próbek

We wstępnym etapie badań wytypowano produkt, który zdecydowano użyć przy modyfikowaniu mieszanki betonowej, a który w wyraźny sposób ukaże różnice między próbką wzorcową, a próbkami zawierającymi domieszkę. Wybrano domieszkę o właściwościach uszczelniających Betocrete C21 firmy Schomburg, spełniającą założenia normy PN-EN 934-2 [9].

Definiowana jest przez producenta jako ciekła domieszka najnowszej generacji do krystalicznego uszczelniania betonu. Jej zastosowanie w zakresie objętych normą PN-EN 206 [2] pozwala na wykonanie betonu w dowolnej klasie ekspozycji przy wykorzystaniu cementów rodzaju CEM I, CEM II oraz CEM III. Działanie domieszki wewnątrz struktury matrycy cementowej zapewnia wypełnienie porów i efekt hydrofobizacji. Poprzez powstawanie kryształów następuje efekt „samoregeneracji” pęknięć o szerokości do 0,4 mm, co pozwala na wykonanie „aktywnej białej wanny”. Składniki zawarte w domieszce w obecności wody i wolnego wodorotlenku wapnia z matrycy cementowej tworzą trwałe kryształy ograniczając dalszą penetrację wody w głąb konstrukcji. Konstrukcje żelbetowe zaprojektowane w sposób ekonomiczny, z uwzględnieniem stanu zarysowania, uzyskują w ten sposób wysoką szczelność, chroniąc zbrojenie przed czynnikami agresywnymi, dzięki czemu podnosi się trwałość konstrukcji.

Użyta w badaniach domieszka składa się w 75% z wody, w związku z czym zwrócić należy uwagę na wymóg normy PN-EN 206 [2] mówiący o konieczności uwzględnienia płynnej domieszki w obliczeniach stosunku w/c, w przypadku przekroczenia ilości 3 l (3,15 kg) na m³ mieszanki betonowej. Wynika to z istotnego zwiększenia zawartości wody w m³, czego konsekwencją jest podwyższenie wartości stosunku w/c, a to z kolei wpływa na pogorszenie właściwości betonu. W przypadku prowadzonych badań nie korygowano tego czynnika, ponieważ badania wykonywano na gotowej mieszance betonowej pobranej na węźle betoniarskim. W związku z tym zarówno głębokość penetracji wody w betonie, jak i wyniki wytrzymałości na ściskanie, wraz ze wzrostem dozowania domieszki są nieznacznie zaniżone.

Podstawowymi przesłankami przy ustalaniu założeń do badań było:

- określenie badanych parametrów:
 - f_c – wpływ domieszki na wytrzymałość na ściskanie stwardniałego betonu
 - W – wpływ domieszki na wodoszczelność stwardniałego betonu
- dobranie klasy betonu, w sposób umożliwiający obserwację różnic w działaniu domieszki:
 - beton klasy C25/30 z CEM I 32,5R (287 kg/m³)
 - beton klasy C40/50 z CEM I 42,5R (380 kg/dm³)
- ustalenie poziomu dozowania domieszki w stosunku do masy cementu (m.c.) w betonie, w celu obserwacji różnic w jej działaniu (dozowanie: 0, 1, 2, 3, 4, 5% m.c.)
- określenie ilości oraz kształtu próbek dla poszczególnych badań:
 - badanie wytrzymałości na ściskanie (po 3 próbki o wymiarze 100x100x100mm dla każdego poziomu dozowania)
 - badanie wodoszczelności (po 2 próbki o wymiarze 150x150x150 mm dla każdego poziomu dozowania)

3 Przebieg i wyniki badań

3.1. Badanie wodoszczelności

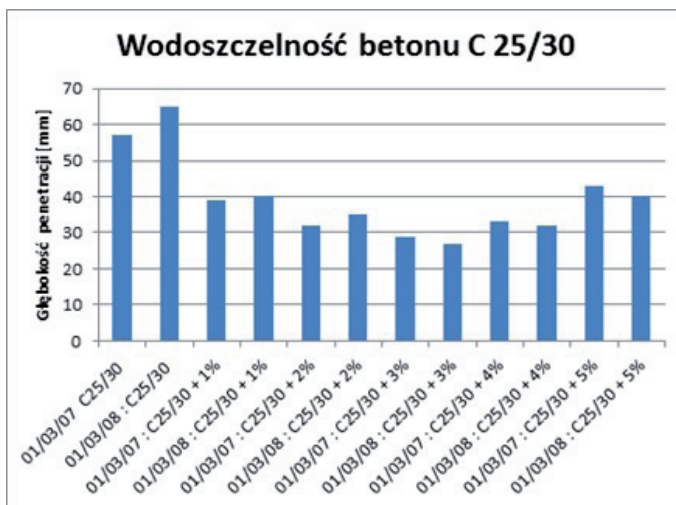
Badanie wodoszczelności ma na celu określenie głębokości na jaką woda pod określonym ciśnieniem penetruje stwardniały beton, przez określony czas.

Ze względów praktycznych zdecydowano się na wykonanie badania zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 12390-8 [10], co sprowadza się do wywarcia ciśnienia wody na przygotowaną powierzchnię próbki, a następnie jej rozłupaniu i pomiarze głębokości penetracji wody.

W badaniach użyto próbek sześciennych:

- 12 próbek z betonu C25/30 – po dwie na każdy poziom dozowania domieszki,
- 12 próbek z betonu C40/50 – po dwie na każdy poziom dozowania domieszki, o wymiarze 150x150x150 mm i czasie pielęgnacji 28 dni każda.

3.1.1. Beton C 25/30



Rys. 2. Wyniki badania głębokości penetracji wody w betonie C25/30

Analizując przedstawione na rysunku 2 wyniki można sformułować następujące stwierdzenia:

- Woda w próbkach wykonanych z betonu wzorcowego zdołała wnikać w jego strukturę na głębokość ponad 50 mm. Wynik ten, zgodnie z wytycznymi wykorzystującymi założenia PN-EN 12390-8 [8, 10], klasyfikuje beton jako niespełniający wymogów szczelności. Przyczyną takiego stanu może być duża zawartość porów, które znacząco pogarszają tę cechę stwardniałego betonu. Zjawisko to może wynikać z dwóch przyczyn:
 - wysoki wskaźnik w/c ,
 - nieodpowiednie zagęszczenie
- Zastosowanie mikrowypełniaczy w postaci chemicznej domieszki uszczelniającej, w zakresie dozowania od 2% do 4% daje pożądany efekt, skutecznie zmniejszając penetrację betonu, który spełniając wymogi normowe uznawany jest za nieprzepuszczalny.

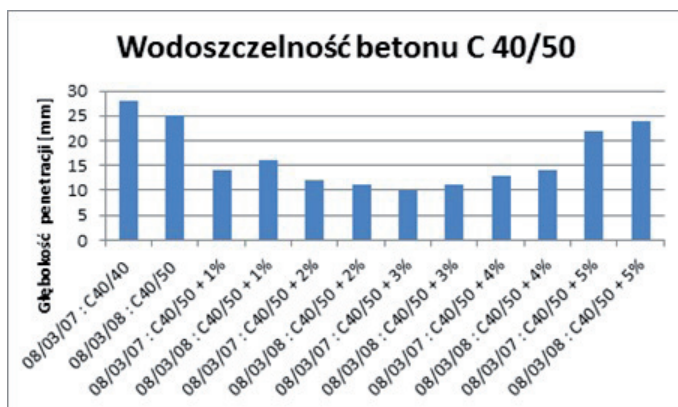
- Warto zwrócić uwagę na fakt, iż zastosowanie domieszki w ilości 3% w stosunku do zawartości cementu w betonie pozwoliło obniżyć penetrację wody do poziomu poniżej 30 mm, co zgodnie z aktualnymi wytycznymi [8], określa beton jako nieprzepuszczalny w warunkach agresji środowiska (korozja).
- W tabeli 2 zestawiono średnie arytmetyczne wyników, uzyskanych dla poszczególnych poziomów dozowania domieszki. Ukazują one skuteczność uszczelniania struktury poprzez stosowanie mikrowypełniaczy chemicznych.

Tabela 2. Wpływ domieszki na wodoszczelność betonu C25/30

Wpływ domieszki na wodoszczelność betonu klasy C25/30	
Zawartość domieszki	Średnie procentowe zmniejszenie głębokości penetracji w odniesieniu do betonu bez domieszki.
1%	35%
2%	45%
3%	53%
4%	46%
5%	33%

Zestawienie średniego procentowego spadku głębokości penetracji próbki betonu z domieszką w stosunku do próbki wzorcowej z betonu bez domieszki uzasadnia stosowanie domieszek uszczelniających. Poprzez wytworzenie kryształów wypełniających pory, domieszka jest w stanie obniżyć penetrację wody w betonie nawet o 53% w stosunku do betonu wzorcowego.

3.1.2. Beton C 40/50



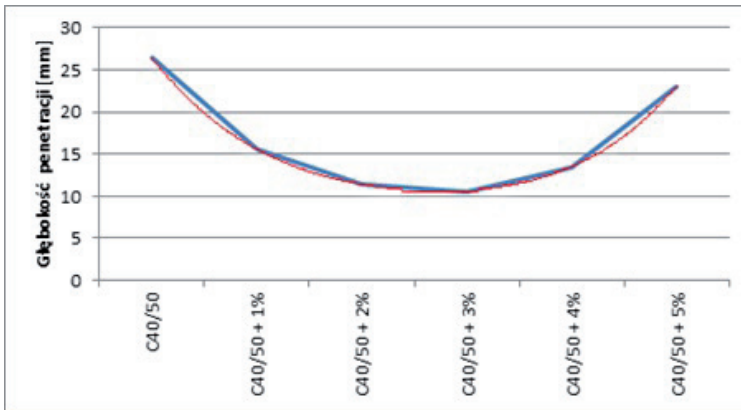
Rys. 3. Wyniki badania głębokości penetracji wody w betonie C 40/50

Analizując dane na wykresie stwierdzić można, że:

- Próbki wykonane z betonu wzorcowego, tj. bez zawartości domieszki spełniają wymogi dla betonu wodoszczelnego. Co więcej, obserwowana głębokość penetracji na poziomie ok. 26 mm pozwala zakwalifikować beton jako nieprzepuszczalny także w warunkach

korozji spowodowanej agresją środowiska. Tak znacząca różnica, w porównaniu do betonu C 25/30, pomijając fakt właściwego zagęszczenia, wynika z wartości wskaźnika wodno-cementowego. Jego wartość w przypadku betonów o wysokiej wytrzymałości jest niższa, co pozytywnie wpływa na zawartość porów, co za tym idzie na zmniejszenie zdolności wody do penetracji stwardniałej struktury betonu.

- Zastosowanie domieszki w ilości zaledwie 1%, zmniejsza przepuszczalność o 43%. Najlepszy efekt, podobnie jak w przypadku betonu C 25/30 uzyskany został dla 3% poziomu dozowania. Potwierdza to, iż dla poprawy parametru wodoszczelności betonu, dana wartość jest optymalna.
- Efektywność domieszki w betonie C 40/50, pomijając lepsze wyniki, wykazuje zbieżność z betonem klasy C 25/30. Potwierdza się negatywny wpływ wody zawartej w domieszce, bez jej wcześniejszego uwzględnienia w mieszance betonowej.



Rys. 4. Wpływ zawartości domieszki uszczelniającej na głębokość penetracji wody dla betonu C40/50

3.2. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Celem badania wytrzymałości betonu na ściskanie w przypadku stosowania domieszki jest sprawdzenie jej wpływu na badaną cechę. Badanie przeprowadzane jest na próbkach dojrzewających 28 dni. Norma PN-EN 206 [2] stanowi o możliwości wykonania badania w wieku wcześniejszym lub późniejszym. W tym przypadku zdecydowano się na wykonanie badań wytrzymałościowych na próbkach:

- 28 dniowych – na 3 próbkach dla każdego poziomu dozowania domieszki. Badanie przeprowadzono według o PN – EN 12390–3 [11].

3.2.1. Wytrzymałość 28-dniowa betonu klasy C 25/30

Beton, który zawiera domieszkę uszczelniającą powinien wykazywać wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach nie mniejszą niż 85% wytrzymałości betonu kontrolnego. W związku z powyższym pierwszym krokiem w badaniu teje cechy jest ustalenie dozwolonego progu.

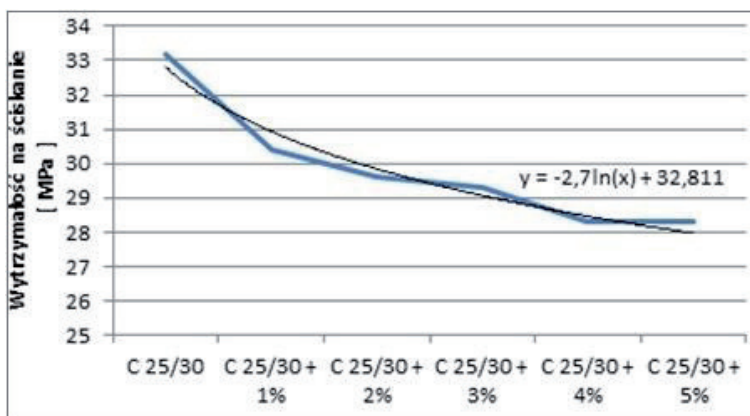
Tabela 3. Wytrzymałość 28-dniowa betonu kontrolnego klasy C25/30

Beton klasy C 25/30 bez dodatku domieszki			
Oznaczenie próbki	Wysokość próbki [mm]	Masa próbki [kg]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
01/03/02	100,0	2,201	33,1
01/03/03	99,5	2,184	32,5
01/03/04	100,0	2,183	34,0
Średnia wytrzymałość na ściskanie			33,2

Tabela 4. Średnia wytrzymałość 28-dniowa betonu klasy C 25/30 dla poszczególnych poziomów dozowania domieszki

Średnie wytrzymałości na ściskanie dla poszczególnych poziomów dozowania domieszki	
Oznaczenie partii próbek	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
C25/30 + 1%	30,4
C25/30 + 2%	29,6
C25/30 + 3%	29,3
C25/30 + 4%	28,3
C25/30 + 5%	28,3

Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu kontrolnego wynosi 33,2 MPa. W związku z tym, progiem potwierdzającym normową zgodność (85%), będzie wartość 28,2 MPa. Porównując z tabelą 4 widać, że wymóg został spełniony dla każdego poziomu dozowania domieszki. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wytrzymałość na ściskanie maleje ze wzrostem dozowania domieszki.



Rys. 5. Wytrzymałość 28-dniowa betonu C25/30 w odniesieniu do ilości dozowanej domieszki

3.2.2. Wytrzymałość 28-dniowa betonu klasy C 40/50

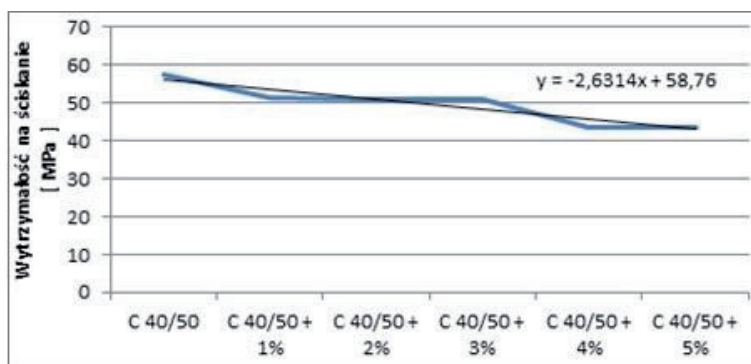
Tabela 5. Wytrzymałość 28-dniowa dla betonu kontrolnego klasy C40/50

Beton klasy C 40/50 bez dodatku domieszki			
Oznaczenie próbki	Wysokość próbki [mm]	Masa próbki [kg]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
08/03/02	100,0	2,300	55,7
08/03/03	99,5	2,279	56,2
08/03/04	100,0	2,303	60,0
Średnia wytrzymałość na ściskanie			57,3

Tabela 6. Średnia wytrzymałość 28-dniowa betonu klasy C40/50 dla poszczególnych poziomów dozowania domieszki

Średnie wytrzymałości na ściskanie dla poszczególnych poziomów dozowania domieszki	
Oznaczenie partii próbek	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
C40/50 + 1%	51,2
C40/50 + 2%	50,9
C40/50 + 3%	50,8
C40/50 + 4%	43,7
C40/50 + 5%	43,4

Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu kontrolnego wynosi 57,3 MPa, w związku z czym progmem potwierdzającym normową zgodność (85%), będzie wartość 48,7 MPa. Analizując wyniki zestawione w tabelach 5 i 6 można stwierdzić stałą tendencję spadkową. Można zatem przewidzieć, że większe ilości domieszki jedynie pogorszyłyby cechy wytrzymałościowe stwardniałego betonu.



Rys. 6. Wytrzymałość 28-dniowa betonu C40/50 w odniesieniu do ilości dozowanej domieszki

3.3. Badanie wpływu domieszki na procesy samoregeneracji

Badanie mostkowania rys wykonuje się w celu sprawdzenia przydatności użytej domieszki w zakresie „samouzdrawiania” betonu. Zdecydowano się na sprawdzenie zdolności samoregeneracji stwardniałego betonu w warunkach całkowitego zanurzenia próbek w wodzie oraz w warunkach suchych, tj. braku z nią kontaktu, po upływie 28 dni. Skuteczność oddziaływania domieszki obserwowano poprzez zróżnicowanie poziomów jej dozowania, w zakresie od 0–5% w stosunku do masy cementu. W tym celu wykorzystano sześcienné próbki użyte uprzednio do badań nasiąkliwości o wymiarach 100x100x100 mm, dodatkowo wykorzystano próbki, na których wykonano badania wodoszczelności, tj. o wymiarach 150x150x150mm.

3.3.1. Warunki suche

Próbki przechowywane w środowisku suchym, bez względu na klasę betonu, poziom dozowania domieszki, rozwarcie rysy czy też rozmiar próbek, nie wykazały właściwości samoregeneracji struktury. Wyniki potwierdziły brak możliwości inicjacji zjawiska zarastania rys bez udziału wody.

3.3.2. Warunki mokre

Na próbkach wykonanych z betonów zawierających domieszkę w ilości 2–3% masy cementu zaobserwowano żel wypełniający rysy, co świadczyć może o pozytywnym wpływie domieszki na badaną cechę. Zaobserwowano korzystne zjawiska zachodzące wewnątrz rysy – materiał wypełniający rysę wywołał efekt „sklejania” jej przeciwległych powierzchni. Dodatkowo stosowanie domieszek, w określonych proporcjach dozowania, poprawia zdolności samoregeneracji betonu, o czym świadczy fakt częściowego



Fot. 1. Zarysowanie betonu przed rozpoczęciem procesu samoregeneracji [12]



Fot. 2. Zarysowanie betonu w końcowej fazie procesu samoregeneracji [12]

wypełnienia żelem rys o rozwarości z zakresu określającego przydatność elementu, tj.: 0,3–0,4mm. Jednocześnie zwrócić należy uwagę na fakt iż 28-dniowy czas dojrzewania jest niewystarczający dla procesu całkowitego zarośnięcia rys.

4. Podsumowanie

4.1. Beton klasy C 25/30

Tabela 7. Zestawienie wyników dla betonu C 25/30

Zestawienie oddziaływania domieszki dla betonu klasy C25/30						
	Poziomy dozowania domieszki					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Głębokość penetracji wody w betonie [mm]	61	39	34	28	33	41
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	33,3	30,4	29,6	29,3	28,3	28,3

Wnioski dotyczące betonu klasy C 25/30 z cementem CEM I 32,5R:

- Domieszka pozytywnie wpłynęła na parametr wodoszczelności stwardniałego betonu:
 - Głębokość penetracji wody w betonie dla poziomu dozowania domieszki od 1 do 4% została skutecznie zmniejszona w zakresie od 35 do 53%.
 - Warto podkreślić jest fakt obniżenia głębokości penetracji wody do poziomu poniżej 30 mm w przypadku 3% stosowania domieszki.
- Wyniki badań wytrzymałości 28-dniowej spełniły wymóg odnoszący się do uzyskania co najmniej 85% wytrzymałości w stosunku do betonu kontrolnego.

Podsumowując powyższe zestawienie stwierdzić można, iż stosowanie domieszek uszczelniających pozytywnie wpływa na właściwości betonu w zakresie obniżenia jego podatności na penetrację wody, a to powoduje poprawę jego trwałości. Optymalnym dozowaniem domieszki dla betonu klasy C 25/30, zawierającego cement klasy CEM I 32,5R jest ilość 3% w stosunku do zawartości cementu. Tak dobrany poziom zapewni spełnienie warunków normowych odnoszących się do wodoszczelności, przy jednoczesnym zachowaniu poprawności co do wymagań wytrzymałościowych betonu.

4.2. Beton klasy C 40/50

Tabela 8. Zestawienie wyników dla betonu C 40/50

Zestawienie oddziaływania domieszki dla betonu klasy C 40/50						
	Poziomy dozowania domieszki					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Wodoszczelność [mm]	26	15	12	10	14	23
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	57,3	51,2	50,9	50,8	43,7	43,4

Wnioski dotyczące betonu klasy C 40/50 z cementem CEM I 42,5R:

- Parametry wodoszczelności uległy polepszeniu
 - Głębokość penetracji wody w betonie dla poziomu dozowania domieszki od 1 do 4% została skutecznie zmniejszona w zakresie powyżej 53%. Pozwala to zakwalifikować beton jako odporny na bezpośrednią agresję środowiska. Warto zauważyć, iż dla wartości 5% dozowania domieszki głębokość penetracji zmalała zaledwie o 13%.
 - Podobnie jak w betonie C 25/30, najniższa wartość penetracji wody, równa 10 mm, występuje dla 3% stosowania domieszki.
- Warunek osiągnięcia co najmniej 85% wytrzymałości 28-dniowej spełniony został dla poziomym dozowania domieszki od 1 do 3%.

Zestawienie wyników dla betonu klasy C 40/50 z cementem CEM I 42,5R potwierdza, że stosowanie domieszek uszczelniających ma korzystny wpływ na właściwości stwardniałego betonu, związane z ograniczeniem penetracji wody, które rzutują na jego trwałość. Z całą pewnością najkorzystniejszym poziomem dozowania domieszki jest wartość 3%. Przy prawidłowo dobranych składnikach betonu pod względem jakościowym i ilościowym, spełnione są ze znacznym zapasem normowe wymogi dotyczące wodoszczelności.

Literatura

- [1] Czarnecki L., Beton według normy PN-EN 206-1. Komentarz., Polski Cement, Kraków 2004
- [2] PN-EN 206: 2014 Beton – część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [3] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [4] PN-B-03264: 2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [5] PN-B-06250:1988 Beton zwykły
- [6] Neville A.M., Właściwości betonu., Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012
- [7] Alsabry A., Dynamika podciągania kapilarnego w murach budowlanych, Przegląd Budowlany 9/2010, Zielona Góra 2010
- [8] Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Świerczyński W., Po co beton ma być wodoszczelny?, Budownictwo Technologie Architektura 1/2015, s. 76-78
- [9] PN-EN 934-2+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu
- [10] PN-EN-12390-8 Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem
- [11] PN-EN-12390-3 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań
- [12] Broszura produktów serii C, Schomburg, Detmold, Niemcy 2016