

*Przemysław Świercz
Sylvia Wdowik
Karol Skowera
Jerzy Wrona
Krzysztof Wrzecion*

Skuteczność działania domieszek w zależności od jakości wody zarobowej

EFFECTIVENESS OF ADDITIVES DEPENDING ON THE QUALITY OF MIXING WATER

Streszczenie

Referat ma na celu zwrócić uwagę czytelnika na pomijany aspekt, jakim jest jakość wody zarobowej w produkcji betonu. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań dokumentujące badania zaczynów i zapraw cementowych, w których powiązано skuteczność działania domieszek plastyfikujących i napowietrzających z jakością wody zarobowej. Przeprowadzone doświadczenia wykazały duże zależności spowodowane rodzajem użytej wody. Wykonano próbki zaczynów z plastyfikatorem/superplastyfikatorami o różnej bazie. Ponieważ w obecnej dobie najczęściej używanych jest kilka domieszek jednocześnie, ten fakt również został uwzględniony poprzez badania różnych układów cement – plastyfikator/superplastyfikator – domieszka napowietrzająca. Tak zaplanowaną każdą kombinację materiałową wykonano przy użyciu dwóch różniących się wyraźnie twardością wód. Aby wykazać różnice w jakości wody na terenie kraju, artykuł uzupełniono badaniami wody z 25 różnych źródeł. Na zakończenie zaprezentowano wnioski wynikające z przeprowadzonych prób. Dowodzą one, że podczas testów laboratoryjnych mieszanek betonowych należałoby również zadbać o próbki wody, dzięki czemu problemy podczas weryfikacji rozwiązania laboratoryjnego na węzle betoniarskim zostaną zminimalizowane.

Abstract

The paper is to direct the reader's attention to the overlooked aspect, which is the quality of mixing water in concrete production. The paper presents results of research document-

*dr inż. Przemysław Świercz – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury
mgr inż. Sylvia Wdowik – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury
mgr inż. Karol Skowera – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury
mgr inż. Jerzy Wrona – MAPEI Polska
mgr inż. Krzysztof Wrzecion – MAPEI Polska*

ing slurries and cement pastes, which linked the effectiveness of plasticizing admixtures and aerating agents with the water quality. Experiments have shown strong dependence caused by the type of water used. Sample of cement pastes made with different plasticizer/superplasticizers database. Because, nowadays most commonly used several additives at the same time, this fact was also taken into account by the study of various systems of cement – plasticizer/superplasticizer - entraining admixture. Thus designed any combination of the material was performed using two distinctly different water hardness. To demonstrate the differences in water quality in the country, the article was supplemented studies of water from 25 different sources. At the end we presented the conclusions of the tests carried out. They show that during laboratory testing of concrete mixes should also take care of the water samples, so that problems during verification solutions laboratory on a concrete mixing plant will be minimized.

1. Wprowadzenie

Skuteczność działania domieszek zależy od licznych czynników technologicznych, co jest przedmiotem wielu badań. Opisanie interakcji domieszki z cementem jest trudne ze względu na ilość rozwiązań w jednej i drugiej dziedzinie. Ponadto obserwujemy ciągły rozwój domieszek chemicznych, a informacje o ich składzie objęte są tajemnicą handlową.

Podczas opracowywania rozwiązania technologicznego jednym z istotnych parametrów jest trwałość betonu. W celu weryfikacji takiego parametru jednym z badań jest mrozoodporność betonu, którą można uzyskać m.in. dzięki napowietrzeniu świeżej mieszanki betonowej. Istotna dla producenta mieszanki betonowej jest stabilność i jakość napowietrzenia mieszanki betonowej w czasie. Tylko dzięki odpowiedniej jakości i ilości pęcherzy powietrza wprowadzonych do betonu można uzyskać jego trwałość i mrozoodporność.

Jednym z najczęściej pojawiających się problemów jest utrzymanie stabilnego napowietrzenia w czasie. Zdarzają się przypadki, w których zawartość powietrza w mieszance betonowej wzrasta nawet o 2%, co może skutkować odrzuceniem betonu z placu budowy. Zdarzają się również przypadki, gdzie napowietrzenie mieszanki betonowej spada w czasie, również w tym przypadku mieszanka może nie spełniać wymagań specyfikacji technicznej i beton może zostać cofnięty z placu budowy. Należy pamiętać, że każdy dodatkowy procent niekontrolowanego napowietrzenia mieszanki obniża wytrzymałość oraz końcowe parametry trwałościowe betonu. Konieczne jest zatem znalezienie rozwiązania, dzięki któremu produkcja betonu będzie powtarzalna.

Czynnikami badanymi i opisywanymi w literaturze [1, 2, 3, 4, 5] są:

- rodzaj cementu,
- ilość domieszki,
- obecność dodatków,
- interakcja z innymi domieszkami,
- moment dodania domieszki,
- czas mieszania,
- temperatura mieszanki.

To tylko niektóre czynniki, wpływające na interakcję układu domieszka – zaczyn cementowy. Innym istotnym czynnikiem, jest ilość wody zarobowej, wyrażana wartością wskaźnika w/c. Pomijana natomiast jest jakość tej wody. Zgodnie z zapisem dyrektywy europejskiej 98/83/WE woda pitna może być stosowana do produkcji mieszanek betonowych. Takie podejście do problemu zostało zapisane w normie PN-EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu - Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu”. W punkcie 6.2 tej normy znajdujemy zapis o braku konieczności badania wody pitnej [6].

Woda wodociągowa zdalna do spożycia jest mocno zróżnicowana na terenie naszego kraju. Obecność w wodzie rozpuszczonych związków mineralnych głównie Mg, Ca, Fe wpływa na jakość wody, co odczuwamy codziennie poprzez jej smak, czy ilość osadu w czajniku. Ze względu na to, że w wodach naturalnych jest wyraźna przewaga ilościowa jonów wapniowych i magnezowych w stosunku do pozostałych, jednym z podstawowych parametrów, służących do jej charakterystyki jest twardość [11]. Cecha ta, określa zawartość w wodzie jonów wapniowych i magnezowych [11]. Jest to parametr prosty do określenia za sprawą ogólnodostępnych testerów paskowych i kropelkowych, lub metodami laboratoryjnymi. Problemатyczny, a nawet mylący może być natomiast zróż-

nicowany sposób wyrażania twardości wody: w mval/l, w mg/l CaCO₃ lub w stopniach twardości (francuskich, niemieckich, angielskich) (tabela 1).

Jesteśmy świadkami dynamicznego rozwoju technologii betonu. Sami przyczyniamy się do tego procesu. Niewątpliwie jednym z najważniejszych osiągnięć tej dziedziny jest stosowanie domieszek do betonu, które pozwalają coraz śmielej go modelować. Dlatego też produkcja betonu każdego roku stawia przed technologiem coraz więcej wymagań. Niezbędne jest sprawdzanie kompatybilności układu domieszka-cement-kruszywo. Chemia cementu oraz domieszek jest na tyle zaawansowana, że w niektórych przypadkach infrastrukturalnych konieczne jest wykonanie wielu testów laboratoryjnych, dzięki którym można dobrać optymalny skład materiałów wsadowych. Należy zwrócić jednak uwagę, że podczas pracy laboratoryjnej materiały wsadowe pochodzą od lokalnych producentów, natomiast kwestia wody jest pomijana. Najczęściej woda pochodzi z wodociągów danego laboratorium i nie zwraca się uwagi na jej jakość oraz właściwości. W praktyce problem kompatybilności układu cement-woda-domieszka może być zwielokrotniony, ponieważ wytwórcie betonu korzystają równocześnie z trzech różnych zasobów wody zarobowej: wody wodociągowej, własnych ujęć oraz wody recyklingowej.

Tabela 1. Klasyfikacja wód wg twardości ogólnej [12]

woda	mg CaCO ₃ /l	mmol/l	mval/l	°niemieckie [°dH] [°n]	°angielskie °Clark [°C]	°francuskie [°f] [°fH]
bardzo miękka	0–100	0–1	0–2	0–5,9	0–0,9	0–10
miękka	100–200	1–2	2–4	5,9–11,8	7,1–14,3	10–20
średnio-twarda	200–350	2–3,5	4–7	11,8–20,6	14,3–25	20–35
twarda	350–550	3,5–5,5	7–11	20,6–32,4	25–39,3	35–55
bardzo twarda	>550	>5,5	>11	>32,4	>39,3	>55

2. Opis zrealizowanych badań

2.1. Badania wody zarobowej

Badaniom poddano 25 próbek wody pochodzących z węzłów betoniarskich na terenie całego kraju. Próbkę do badań została pobrana i przechowywana zgodnie z wymaganiami określonymi w normie [6]. Pierwszym etapem było wstępne badanie testem paskowym. Na podstawie zmiany barwy wskaźnika odczytano twardość, wartości pH, stężenia azotanów i azotynów oraz stężenia całkowitego chloru. Test ten pozwolił na szybką klasyfikację badanej wody.

Badania wykonane za pomocą testu paskowego wykazały zróżnicowanie parametrów badanej wody i były przesłanką do wykonania badań analitycznych. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, zgodnie z obowiązującymi normami [6, 9, 11]. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Wyniki badania wody testem paskowym

Tabela 2. Wyniki badań wody

Oznaczenie próbki	Pochodzenie próbki	Twardość całkowita [°n]	Wartość pH	Zawartość jonów chlorkowych [mg/dm ³]	Zawartość jonów siarczanowych [mg/dm ³]	Klasyfikacja Wg [12]
1-U	uzdatniona	1,12	6,4	20,91	0	bardzo miękka
2-R	recykling	174,72	8,0	32,60	25	bardzo twarda
3-W	wodociąg	34,50	6,8	42,88	0	bardzo twarda
4-R	recykling	244,16	8,4	51,39	0	bardzo twarda
5-W	wodociąg	16,80	6,4	16,30	25	średnio-twarda
6-R	recykling	210,56	8,4	92,85	25	bardzo twarda
7-S	studnia	63,62	7,5	132,90	100	bardzo twarda
8-S	studnia	101,92	6,8	260,48	500	bardzo twarda
9-W	wodociąg	28,45	6,8	48,91	50	twarda
10-S	studnia	28,56	6,8	14,53	0	twarda
11-W	wodociąg	39,76	6,8	73,72	40	bardzo twarda
12-W	wodociąg	46,82	7,6	35,79	40	bardzo twarda
13-S	studnia	34,16	6,8	32,96	0	bardzo twarda

Tabela 2. Cd. Wyniki badań wody

Oznaczenie próbki	Pochodzenie próbki	Twardość całkowita [°n]	Wartość pH	Zawartość jonów chlorkowych [mg/dm ³]	Zawartość jonów siarczanowych [mg/dm ³]	Klasyfikacja Wg [12]
14-W	wodociąg	29,46	6,4	114,12	70	twarda
15-R	recykling	221,76	8,4	171,88	500	bardzo twarda
16-W	wodociąg	24,75	6,8	15,24	70	twarda
17-W	wodociąg	10,08	6,8	19,49	0	miękką
18-W	wodociąg	9,86	6,4	17,01	0	miękką
19-S	studnia	17,92	6,8	12,76	25	średnio-twarda
20-W	wodociąg	25,54	7,0	25,87	0	twarda
21-W	wodociąg	24,75	6,8	13,47	0	twarda
22-O	opadowa	24,86	6,8	24,10	100	twarda
23-W	wodociąg	20,27	7,0	14,18	0	twarda
24-R	recykling	208,32	8,4	81,16	30	bardzo twarda
25-W	wodociąg	30,24	6,8	60,60	29	bardzo twarda

Twardość wody daje bezpośrednią informację o ilości rozpuszczonych związków mineralnych, jednocześnie jest to parametr prosty do oceny nawet w warunkach domowych. Badania próbek wody pochodzącej z węzłów betoniarskich na terenie całego kraju wykazały znaczne zróżnicowanie twardości. Do dalszych badań wytypowano próbki wody o zróżnicowanych parametrach, kolejnym kryterium była dostępność. Ostatecznie wykorzystano wodę wodociągową z Kielc oraz wodę uzdatnioną. Uzdatnienie wody polegało na przefiltrowaniu ogólnodostępnym filtrem z węglem aktywnym. Wykorzystano tu również wodę z wodociągu z Kielc.

Zaplanowano dalsze badania z wodą o kreowanej zawartości różnych grup związków mineralnych.

2.2. Badania zaczynów

Do badań przygotowano zaczyny cementowe stałej wartości wskaźnika $w/c=0,45$. Zachowano stałe procedury w czasie dozowania składników oraz mieszania: czas mieszania i obroty urządzenia mieszającego. Po wymieszaniu części wody z cementem, dodawano plastyfikator lub superplastyfikator (zgodnie z zaleceniami kart technicznych producenta) wraz z wodą i ponownie mieszano. W próbkach dodatkowo z domieszką napowietrzającą – dozowanie jej wraz z przemieszaniem jeszcze raz wszystkich składników, było ostatnią czynnością przed badaniem.

Pierwszym testem było badanie czasu wypływu zaczynu ze zmodyfikowanego lejka Marsha, drugim pomiar rozplywu ze zmodyfikowanego cylindra Southarda.

Badania wykonywano bezpośrednio po wymieszaniu składników: dla czasu $t=0'$ oraz po upływie 15 minut: $t=15'$. Przed drugim badaniem każda próbka była jednakowo, ręcznie przemieszana. Za wynik do analiz przyjmowano czas wypływu w sekundach [s]

oraz rozplyw w milimetrach [mm]. W trakcie badań temperatura była stała i wynosiła $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Badaniom poddano zaczyny cementowe wykonane z cementami CEM I 42,5 R, CEM III/A 42,5 zgodnymi z [8], zmodyfikowane trzema domieszkami:

- plastyfikator na bazie lignosulfonianu (oznaczenie na wykresach L),
 - superplastyfikator na bazie polimerów naftalenowych (oznaczenie na wykresach P),
 - superplastyfikator na bazie akrylanów (oznaczenie na wykresach A),
- o różnych poziomach dozowania w stosunku do masy cementu. Badania wykonano dla dwóch wód o zróżnicowanych parametrach:
- wody wodociągowej (oznaczenie 25-W w tabeli 2),
 - wody uzdatnionej (oznaczenie 1-U w tabeli 2).

Kolejnym etapem było wprowadzenie domieszki napowietrzającej. Badania wykonano na zaczynach z cementem CEM I 42,5 R, plastyfikatorem lub superplastyfikatorami wymienionymi powyżej, oraz domieszkami napowietrzającymi:

- domieszka na bazie naturalnej (oznaczenie na wykresach N),
 - domieszka na bazie syntetycznej (oznaczenie na wykresach S),
- o różnych poziomach dozowania w stosunku do masy cementu. Badania wykonano dla dwóch wód o zróżnicowanych parametrach.

Tabela 3. Wyniki badań zaczynów cementowych na bazie CEM I modyfikowanych plastyfikatorem lub superplastyfikatorami

	CEM I			
	Woda uzdatniona 1-U t _{0'}	Woda wodociągowa 25-W t _{0'}	Woda uzdatniona 1-U t _{15'}	Woda wodociągowa 25-W t _{15'}
L 0,2%	7,2	13,1	57,2	72
L 0,8%	3,2	3,2	84	26
A 0,2%	3,3	3	6	3,9
A 0,8%	3,2	2,1	3,1	2,5
P 0,2%	5,9	6,5	26,5	32
P 0,8%	2,1	2,8	3,7	3,9

Tabela 4. Wyniki badań zaczynów cementowych na bazie CEM III modyfikowanych plastyfikatorem lub superplastyfikatorami

	CEM III			
	Woda uzdatniona 1-U t _{0'}	Woda wodociągowa 25-W t _{0'}	Woda uzdatniona 1-U t _{15'}	Woda wodociągowa 25-W t _{15'}
L 0,2%	29,4	22	195	195
L 0,8%	3,2	3,3	33,8	27,3
A 0,2%	39	19	199	195
A 0,8%	2,85	2,6	14,2	10,8
P 0,2%	2,4	4	4,4	6,6
P 0,8%	1,8	1,9	2	1,2

Tabela 5. Wyniki badań zaczynów cementowych modyfikowanych plastyfikatorem lub superplastyfikatorami oraz domieszkami napowietrzającymi

	Woda uzdatniona 1-U t_0'	Woda wodociągowa 25-W t_0'	Woda uzdatniona 1-U t_15'	Woda wodociągowa 25-W t_15'
L 0,2% – N 0,4%	4	4	109	72
L 0,2% – N 0,8%	3	4	39	89
L 0,8% – N 0,4%	2	3	3	4
L 0,8% – N 0,8%	2	2	3	4
A 0,2% – N 0,4%	3	4	9	13
A 0,2% – N 0,8%	3	4	9	18
A 0,8% – N 0,4%	3	2	4	4
A 0,8% – N 0,8%	3	2	3	3
P 0,2% – N 0,4%	5	4	48	121
P 0,2% – N 0,8%	4	5	36	50
P 0,8% – N 0,4%	3	3	6	7
P 0,8% – N 0,8%	3	3	7	11
L 0,2% – S 0,4%	3	4	4	12
L 0,2% – S 0,8%	4	4	13	15
L 0,8% – S 0,4%	2	2	7	5
L 0,8% – S 0,8%	3	3	21	9
A 0,2% – S 0,4%	3	4	4	4
A 0,2% – S 0,8%	3	4	4	4
A 0,8% – S 0,4%	3	3	2	3
A 0,8% – S 0,8%	3	4	2	3
P 0,2% – S 0,4%	3	5	6	13
P 0,2% – S 0,8%	3	4	6	10
P 0,8% – S 0,4%	2	2	3	3
P 0,8% – S 0,8%	2	2	3	3

2.3. Badania zapraw

Do badań przygotowano zaprawy cementowe stałej wartości wskaźnika $w/c=0,40$ i proporcjach wagowych C:P = 1:2. Zachowano stałe procedury w czasie dozowania składników oraz mieszania: czas mieszania i obroty urządzenia mieszającego.

Badaniom poddano zaprawy cementowe wykonane z cementem CEM I 42,5 R zmodyfikowane superplastyfikatorem na bazie akrylanów i domieszką napowietrzającą na bazie syntetycznej. Badania wykonano dla dwóch wód o zróżnicowanych parametrach:

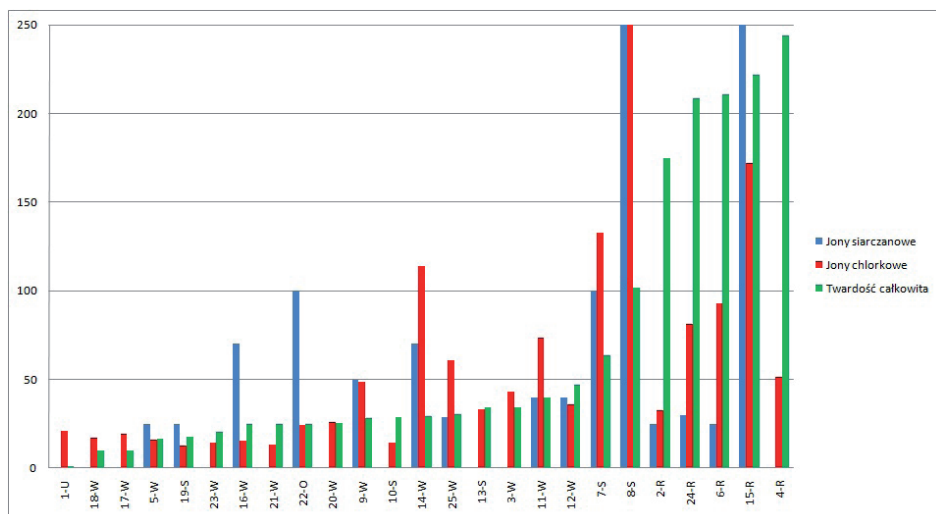
- wody wodociągowej (oznaczenie 25-W w tabeli 2),
- wody uzdatnionej (oznaczenie 1-U w tabeli 2).

3. Analiza wyników badań

3.1. Analiza wyników badań wody zarobowej

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badania analitycznego próbek wody. Wykonane badania wykazały znaczne zróżnicowanie parametrów wody, twardość wody wodociągowej sklasyfikowała ją w zakresie od wody miękkiej do bardzo twardej.

Woda recyklingowa sklasyfikowana została jako bardzo twarda. Należy zauważyć, że uzyskane wyniki były od 7 do 10 razy większe od parametrów wody wodociągowej. Największą zawartość jonów siarczanowych i chlorowych zmierzono w wodach pochodzących z recyklingu i ze studni. W próbkach wody wodociągowej zanotowano wyniki zdecydowanie przekraczające średnią wartość pomierzoną.

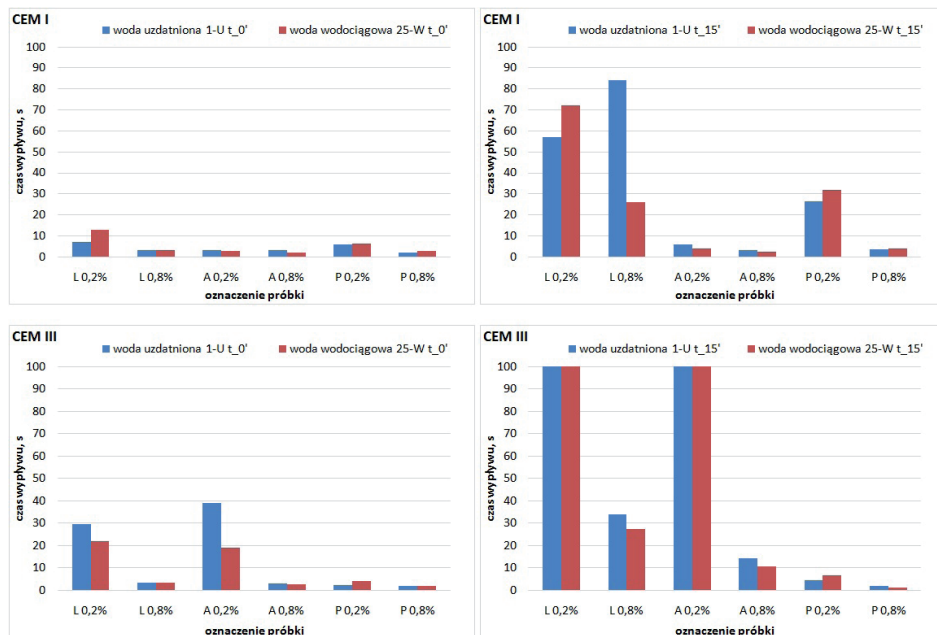


Rys. 2. Wyniki badania analitycznego próbek wody

3.2. Analiza wyników badań zaczynów cementowych.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań wpływu wody na skuteczność działania plastyfikatora lub superplastyfikatorów. Jako kryterium oceny przyjęto czas wypływu zaczynu z lejka pomiarowego, im krótszy czas tym skuteczniejsze działanie domieszki. Uzyskane wyniki potwierdziły znane z literatury informacje na temat kompatybilności układu cement – domieszka. Jednocześnie stwierdzono zróżnicowane działanie układu cement – plastyfikator/superplastyfikator w zależności od użytej wody zarobowej. Domieszka na bazie akrylanów lepiej współpracowała z wodą uzdatnioną, niezależnie od rodzaju cementu i czasu badania.

Domieszka na bazie polimerów naftalenowych wykazała nieznacznie lepsze działanie w układzie z wodą wodociągową. W przypadku plastyfikatora na bazie lignosulfonianu, przy minimalnym dozowaniu cementy CEM I i CEM III zareagowały odmiennie na zmianę wody zarobowej. W badaniu po 15 minutach zaobserwowano większe zróżnicowanie wyników. Generalnie można stwierdzić, iż wyższe dozowanie plastyfikatora/superplastyfikatora ogranicza wpływ wody zarobowej.

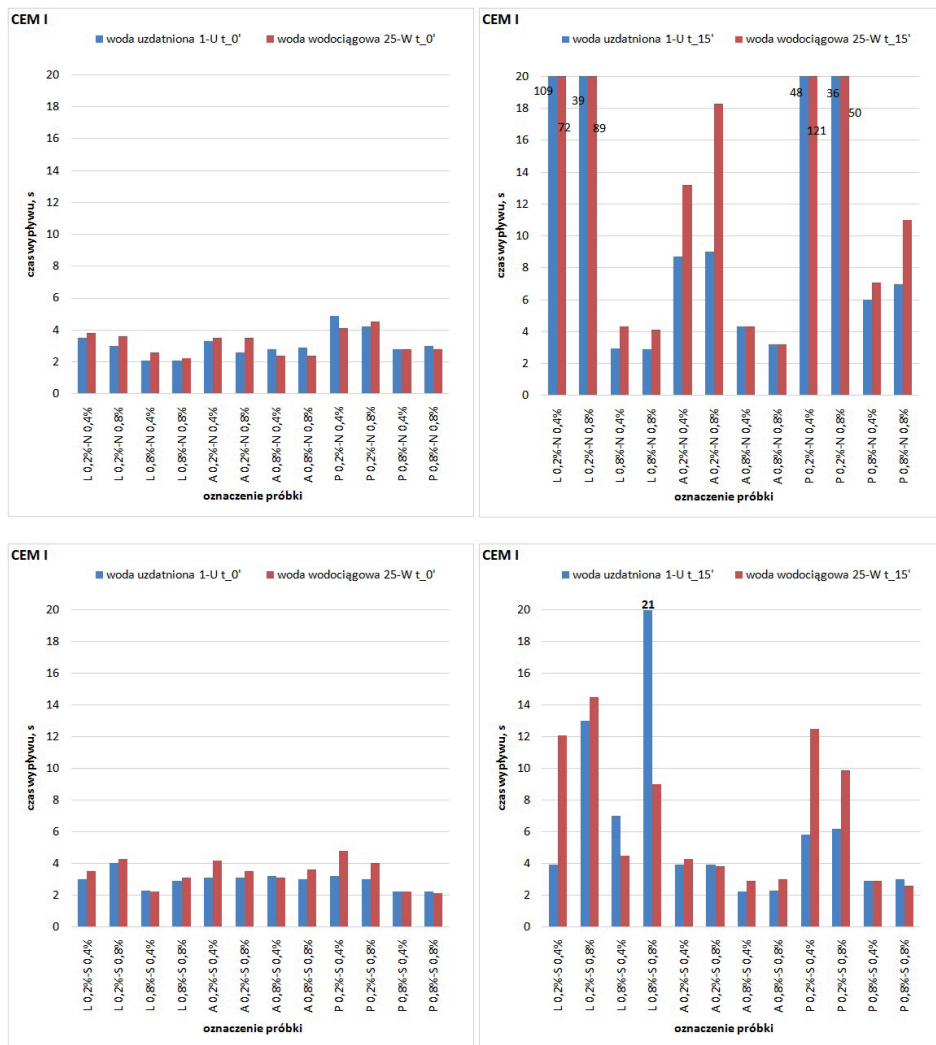


Rys. 3. Czas wypływu zaczynu [s] dla poszczególnych próbek modyfikowanych plastyfikatorem lub superplastyfikatorami

Domieszki napowietrzające stosowane są w celu poprawy mrozodporności, innym efektem ich działania jest upłynnienie mieszanki betonowej przy zachowaniu stałej wartości wskaźnika w/c . W badaniach zaczynów obserwowano właśnie ten efekt. Jako kryterium oceny również przyjęto czas wypływu zaczynu z lejka pomiarowego, im krótszy czas tym skuteczniejsze działanie układu plastyfikator/superplastyfikator – domieszka napowietrzająca.

Generalnie można zauważyć lepsze działanie kombinacji plastyfikator/superplastyfikator – domieszka napowietrzająca w układzie z wodą uzdatnioną. Domieszka napowietrzająca na bazie naturalnej, niezależnie od użytego plastyfikatora/superplastyfikatora jest bardziej wrażliwa na jakość wody zarobowej. Pomierzone różnice czasów są większe, niż w przypadku domieszki napowietrzającej syntetycznej.

Dane przedstawione na rysunkach 3 i 4 obrazują złożoność procesów i integracji układu plastyfikator/superplastyfikator – domieszka napowietrzająca. W przypadku plastyfikatora na bazie lignosulfonianu dodanie domieszki napowietrzającej naturalnej, spowodowało zwiększenie lepkości zaczynu. W efekcie po 15 minutach czas wypływu zaczynu z lejka pomiarowego był większy w przypadku układu z samym plastyfikatorem.

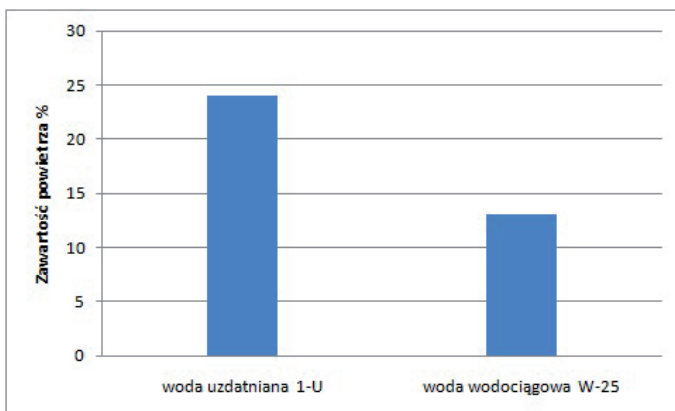


Rys. 4. Czas wypływu zaczynu [s] dla poszczególnych próbek modyfikowanych superplastyfikatorami oraz domieszkami napowietrzającymi

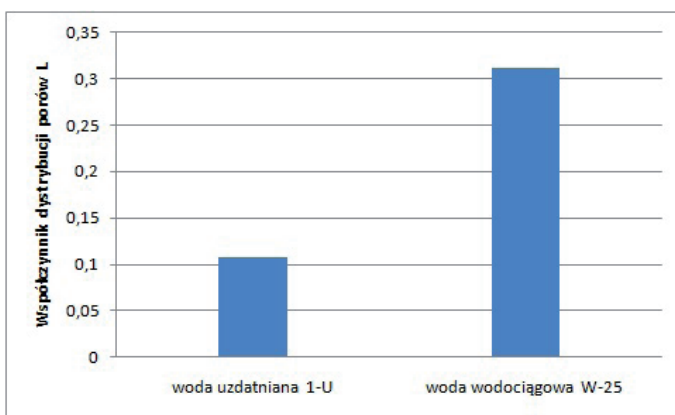
3.3. Analiza wyników badań zapraw cementowych

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów zawartości powietrza w zaprawach modyfikowanych kombinacją superplastyfikatora na bazie polimerów naftalenowych i naturalnej domieszki napowietrzającej. Zaprawy zróżnicowane były pochodzeniem wody zarobowej.

Tak duża różnica w zawartości powietrza przełożyła się na istotną różnicę współczynnika rozmieszczenia porów pomierzonego metodą AVA (rys. 6).



Rys. 5. Zawartość powietrza w zaprawach



Rys. 6. Współczynnik rozmieszczenia porów w zaprawach

Wyniki badań zaprawy w sposób wyraźny i jednoznaczny pokazały wpływ jakości wody zarobowej na skuteczność działania domieszek chemicznych.

4. Podsumowanie

Powszechnie wiadomo, że nie można określić jednoznacznego przełożenia wyników badań wykonywanych na zaczynach i zaprawach na betony. Dlatego też w praktyce unika się tego typu porównań. Jednak wykonanie dużego programu badań na betonach jest trudne, ograniczeniami są koszty takiego przedsięwzięcia i czas. Dlatego też realizacja badań w mniejszej skali, mających charakter poznawczy wydaje się być zasadna, i może być przydatna w dalszych badaniach betonów.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zróżnicowanie twardości wody wpływa na skuteczność działania domieszek chemicznych. Potwierdzono znane z literatury fakty dotyczące złożoności procesów interakcji układu cement-domieszki chemiczne.

Na obecnym etapie realizowanych badań autorzy postawili następujące wnioski praktyczne.

Do projektowania betonów, szczególnie w przypadkach napowietrzania zasadne wydaje się wykonywanie zarobów próbnych wykorzystując wodę zarobową z docelowego węzła betoniarskiego.

W przypadku betonów napowietrzanych zasadne wydaje się unikanie stosowania wody ze studni, oraz udziału wody recyklingowej. Za podstawę takiej tezy należy uznać fakt, iż woda recyklingowa zawiera znaczną ilość składników mineralnych, nie tylko rozpuszczonych w wodzie, ale również widocznych w postaci osadu. W badanych przypadkach twardość wody recyklingowej była od 7 do 10 razy wyższa od średniej twardości wody wodociągowej. Ponadto skład takiej wody jest zmienny w czasie, ponieważ zależy od aktualnego rytmu pracy węzła betoniarskiego.

Zastosowanie na węzłach betoniarskich prostych i tanich systemów filtracji do uzdatniania wody ułatwi pracę technologom.

Literatura

- [1] Łukowski P.: Modyfikacja materiałowa betonu. Polski Cement, Kraków 2016
- [2] Szwabowski J., Łaźniewska-Piekarczyk B.: Kompatybilność układu: cement-domieszka napowietrzająca-domieszka upłynniająca w mieszankach na spoiwach cementowych. *Dni Betonu 2014*
- [3] Gołaszewski J., Drewniak M.: Wpływ popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek napowietrzających. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2/2011*
- [4] Gołaszewski J.: Współpraca domieszek z cementami. *Materiały Budowlane, nr 11/2013*
- [5] Łaźniewska B.: Wpływ składu zaczynu na efektywność domieszki napowietrzającej. *Reologia w technologii betonu, Gliwice 2007*
- [6] PN-EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu -- Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu”
- [7] <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/id3930,skuteczny-sposob-na-twarda-wode?gal=1>
- [8] PN-EN 197-1:2011 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczących cementów powszechnego użytku.
- [9] Ozimina E., Sułko K.: Laboratorium z chemii budowlanej. *Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2010*
- [10] PN-EN 934-2:2002 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2. Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie, etykietowanie.
- [11] Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1999
- [12] Nawrocki J.: Uzdatnianie wody. Procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. Wydawnictwo Naukowe UAM, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010