

# Wpływ środków odpieniających na właściwości zapraw i betonów upłynnionych domieszką na bazie PCE

IMPACT OF THE DEFOAMING AGENTS ON THE PROPERTIES OF MORTARS  
AND CONCRETES WITH POLYCARBOXYLATE ETHER ADMIXTURE

## Streszczenie

Pozytywny wpływ superplastyfikatorów na kształtowanie właściwości świeżej mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu powoduje ich stały rozwój oraz wzrost udziału w rynku domieszek do betonu. Pomimo iż domieszki oparte na bazie eterów polikarboksylowych znane są już od lat 90., to ich użycie niesie ze sobą ryzyko negatywnego napowietrzenia mieszanki betonowej. Dlatego też problem właściwego doboru środka odpieniającego wydaje się być wciąż aktualny i warty poddaniu głębszej analizie.

W pracy zbadano efektywność działania środków odpieniających oraz ich kompatybilność z wybranym eterem polikarboksylowym. Przebadano trzydzieści środków odpieniającymi o różnej bazie chemicznej od kilku producentów. Celem weryfikacji przeprowadzono testy starzeniowe przygotowanych domieszek, określono ich wpływ na napowietrzenie i konsystencję zaprawy oraz mieszanki betonowej. Dla wybranego układu polimer/odpieniacz zanalizowano również ilość, rodzaj oraz rozmieszczenie porów powietrznych w stwardniałym betonie.

## Abstract

Positive impact of the superplasticizers on the shaping of fresh concrete mixture features as well as hardened concrete results in their continuous development and growth in concrete admixtures' market share. Although polycarboxylate ether based admixtures have been known since the 90s their use carries a risk of negative air entrainment of concrete mixture. Therefore the problem of the proper selection of defoamer seems to be still valid and worthy of being subjected to deeper analysis.

Within the study the effectiveness of defoamers and their compatibility with the chosen polycarboxylic ether have been investigated. Thirty defoamers of different chemical basis from various manufacturers have been tested. In terms of verification, aging tests of prepared admixtures were conducted, also their effect on aeration and texture of the mortars and concrete mixtures have been determined. For the selected setting of polymer / defoamer quantity, type and distribution of air pores in the hardened concrete have been analysed.

## 1. Wprowadzenie

Superplastyfikatory to obecnie największa grupa domieszek wykorzystywanych w technologii betonu. Na szczególną uwagę zasługuje ich trzecia generacja oparta na bazie eterów polikarboksylowych (PCE). Jak podają statystyki na przestrzeni kilku ostatnich lat w Polsce zużycie tego typu domieszek ciągle wzrasta i stanowi ponad 25% całego rynku. Domieszki te znalazły zastosowanie w prefabrykacji (uzyskanie niskich współczynników  $W/C$  i szybkiego narastania wytrzymałości), w betonie towarowym (długie utrzymanie konsystencji urabialności mieszanki), jak również zapewniły rozwój betonów specjalnych (SCC, BWW, GRC, BPR). Za taką sytuację zapewne odpowiada możliwość dowolnego kształtowania budowy polimerów, a co za tym idzie decydowanie o ich wpływie na wybrane właściwości zarówno świeżej mieszanki jak i stwardniałego betonu.

W aplikacjach cementowych najczęściej wykorzystywane są superplastyfikatory PCE na bazie metakrylanu (MPEG)-, eteru alilowego (APEG)-, oraz izoprenolu (IPEG)- [1]. Ich budowa oraz steryczny mechanizm działania uniemożliwia flokulację cementu w czasie. Zbudowane są z łańcucha głównego oraz łańcuchów bocznych, tworząc strukturę grzebieniową. Łańcuch główny adsorbuje makrocząsteczkę domieszki na powierzchni ziarna cementu, natomiast funkcją łańcuchów bocznych jest działanie steryczne zapobiegające powstawaniu aglomeratów ziaren cementu. Przestrzenna konfiguracja polimeru ma w tym wypadku bardzo duże znaczenie. Długość łańcucha głównego, gęstość występowania łańcuchów bocznych oraz ich długość mają istotny wpływ na działanie superplastyfikatora. Polimery o długich łańcuchach głównych mają tendencję do osiadania na ziarnach cementu, a te zawierające długie łańcuchy boczne w mniejszym stopniu wbudowują się w kryształy uwodnionych glinianów wapnia, które powstają podczas wiązania mieszaniny cementowej więc charakteryzują się dłuższym czasem działania [2].

Niestety stosowanie domieszek opartych na bazie PCE wiąże ze sobą pewne zagrożenia. Okazało się bowiem iż są dość wrażliwe na zmienną kompozycję cementów, jak również mogą silnie oddziaływać z frakcją ilastą występującą jako zanieczyszczenie w kruszywie [3]. PCE to generalnie makro-tenzydy, które zawsze wprowadzają pewną ilość powietrza w trakcie przygotowania mieszanki betonowej. Przemysłowo wytwarzane superplastyfikatory PCE bardzo często zawierają znaczną ilość nieprzereagowanego makromonomeru (średnio ~10%), dlatego silny mechanizm wytwarzania piany jest powszechny [1]. Zawartość powietrza w mieszance betonowej ma wpływ nie tylko na jej rozplływ, ale przede wszystkim na końcowe parametry wytrzymałościowe oraz trwałościowe stwardniałego betonu. Beton wykazuje dobrą odporność na cykliczne zamrażanie/rozmarzanie oraz działanie soli odładzających gdy średnice porów powietrznych wynoszą 0,05-0,10 mm a ich wskaźnik rozmieszczenia jest nie większy niż 0,2 mm [4]. Ponadto wytrzymałość betonu jest funkcją objętości zawartych w nim pustek. Wzrost zawartości makroporów o 1% może zmniejszyć wytrzymałość na ściskanie aż o 5%. Wymagania normowe dla domieszek chemicznych do betonu ograniczają zwiększenie zawartości powietrza w mieszance w wyniku dodatku superplastyfikatora do 2% w porównaniu do mieszanki wzorcowej bez domieszki [5, 6]. Wyniki badań Sakai, Mosqueta, Łaźniewskiej potwierdzają, że nowe generacje superplastyfikatorów mają negatywne działanie napowietrzające a pory w stwardniałym betonie osiągają średnice ponad 1 mm. Nadmierne napowietrzenie spowodowane jest – w głównej mierze – obniżeniem napięcia powierzchniowego fazy ciekłej w zaczynie przez superplastyfikator PCP [7, 8, 9, 10]. Podczas intensywnego mieszania mieszanki betonowej z dodatkiem superplastyfikatora nowej generacji zawartość powietrza może na tyle wzrosnąć, iż lepsze właściwości be-

tonu osiągnięte obniżeniem wskaźnika w/c mogą być całkowicie utracone. Zawartość powietrza wywołana działaniem superplastyfikatora wzrasta wraz ze wzrostem stosunku w/s, podobnie jak to ma miejsce w przypadku domieszki napowietrzającej [3]. Dlatego producenci domieszek stosują środki odpieniające w celu ograniczenia niepożądanego ilości powietrza w mieszance betonowej. Muszą się jednak zmagać z problemem kompatybilności i trwałości układu superplastyfikator PCE/odpieniacz.

Substancje odpieniające to związki chemiczne mające na celu niszczenie piany lub zapobieganie jej powstawaniu. Na świecie występują tysiące różnych odpieniaczy. Szczegółowy skład środków odpieniających znany jest tylko producentom. Najbardziej wydajne odpieniacze stanowią połączenie synergicznego działania hydrofobowej fazy ciekłej i stałej. Przykładem klasyfikacji na podstawie głównego składnika mogą być:

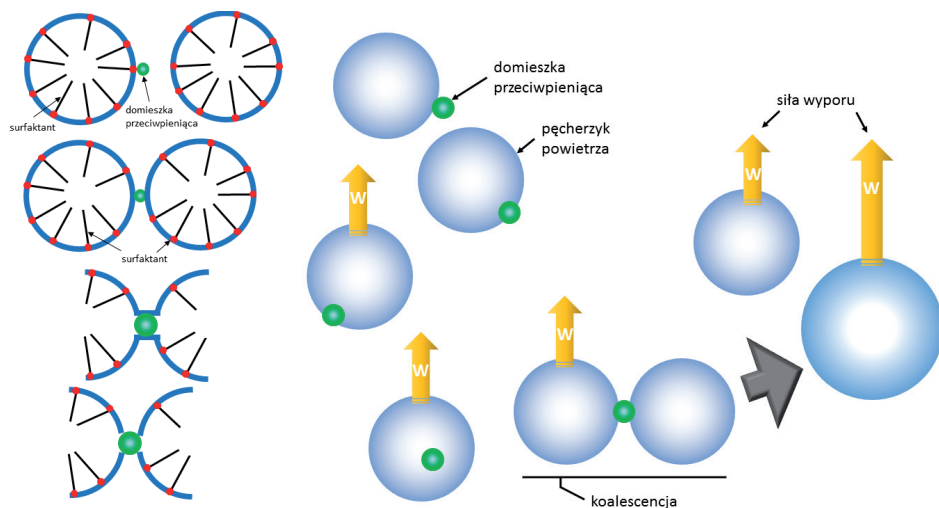
- niepolarne oleje np.: oleje mineralne, oleje silikonowe, silikony modyfikowane organicznie,
- polarne oleje np.: alkohole tłuszczowe, kwasy tłuszczowe, alkioloaminy, alkioloamidy
- hydrofobowe cząsteczki stałe (krzemionka, woski, mydła wyższych kwasów tłuszczowych, tlenek glinu, polipropylen).

Skład odpieniaczy uzupełniają surfaktanty regulujące wymagane właściwości końcowej mieszaniny, w tym: środki zwilżające, emulgatory i dyspergatory. W celu osiągnięcia jak najlepszych efektów, środki odpieniające powinny wykazywać łatwość penetracji warstw międzyfazowych tworzących pianę, nie powinny rozpuszczać się w danej cieczy, ale szybko i łatwo ulegać w niej dyspersji. Na efektywność działania środków odpieniających wpływa wiele czynników:

- rozpuszczalności – większość domieszek odpieniających ma bardzo niską rozpuszczalność w roztworach wodnych,
- rozmiaru kropli środka odpieniającego – siła potrzebna substancji odpieniającej
- do zniszczenia ściany pęcherzyka powietrza wzrasta wraz ze zmniejszającym się rozmiarem kropli,
- obecności hydrofobowych substancji stałych – mieszaniny cieczy z ciałami stałymi są zazwyczaj bardziej efektywne niż każdy ze składników stosowanych samodzielnie,
- powtarzającej się ekspozycji na pianę – która zmniejsza „żywołność” odpieniacza, jest to prawdopodobnie związane z separacją cząsteczek hydrofobowych i zbyt dużym zmniejszeniem rozmiaru kropli odpieniacza,
- stężenia środków powierzchniowoczynnych - wyższe stężenie surfaktantów prowadzi do redukcji efektywności działania środka przeciwpieniącego przez wzrost siły potrzebnej do pokonania błony międzyfazowej,
- sił ścinających – mają znaczący wpływ na działanie odpieniacza, wysokie siły ścinające redukują rozmiar kropli odpieniacza, które stają się zbyt małe żeby rozbić ścianę pęcherzyka powietrza i staje się on mniej skuteczny, dodatkowo, siły ścinające powodują intensywne powstawanie piany,
- lepkości – lepkość środka odpieniającego wpływa na łatwość jego dozowania oraz dyspersji w pożądanym ośrodku [11].

Mechanizm działania odpieniaczy oparty jest na zmniejszeniu napięcia powierzchniowego wody. Składniki aktywne domieszki gromadzą się wokół pęcherzyka gazu, wypierając cząsteczki środka powierzchniowoczynnego. W efekcie maleje grubość warstewki surfaktanta wokół baneczek powietrza, powodując ich destabilizację, pęknięcie lub łączenie z innymi i utworzenie większych baneczek. Jest to ogólny mechanizm działania wszystkich domieszek odpieniających. W zależności od bazy chemicznej odpieniacza mechanizmy

te mogą się między sobą różnić. Na poniższych rysunkach przedstawiono schematy działania środków odpeniających [4].



Rys. 1. Rys. 2. Schemat działania domieszek odpeniających

## 2. Program badań

W celu określenia skuteczności działania środków odpeniających oraz ich trwałości w układzie z superplastyfikatorami PCE podjęto badania, które są treścią niniejszego opracowania. Badania podzielono na 4 etapy:

- przygotowanie domieszek i wykonanie testów starzeniowych,
- badanie rozplywu i zawartości powietrza zaprawy,
- badanie konsystencji oraz zawartości powietrza w mieszance betonowej,
- wykonanie badań charakterystyki ilościowej i jakościowej porów w stwardniałym betonie.

## 3. Wyniki badań

Pierwszym etapem części doświadczalnej było wykonanie domieszek składających się z wody, superplastyfikatora na bazie eteru polikarboksyłowego oraz odpeniacza, który odpowiadał za redukcję powietrza powstałego w wyniku negatywnego działania superplastyfikatora. Do badań przygotowano trzydzieści próbek różniących się rodzajem substancji odpeniającej oraz jedną próbkę wzorcową składającą się jedynie z wody oraz superplastyfikatora. Próbki wykonano w analogiczny sposób. Na początku odważono odpowiednią ilość wody demineralizowanej, dodano superplastyfikator PCE i mieszano przez 5 min. Następnie dodano odpeniacz i ponownie mieszano przez 5 min. Tak przygotowane domieszki poddano testom starzeniowym w celu określenia trwałości

układu: polimer PCE/odpniacz w czasie. Jednorodność jest jedną z podstawowych cech domieszek do zapraw i betonu, która podlega kontroli jakości zgodnie z tabelą 1 normy PN-EN 934-1:2009 [12]. Przygotowane domieszki przelano do próbek i umieszczono w ciepłarni w temperaturze 40°C na okres 7 dni. Podwyższona temperatura powoduje przyspieszenie procesów starzeniowych. Po upływie tygodnia próbki zostały wyjęte i dokonano oceny wizualnej stabilności domieszek. Szczegółowe wyniki zamieszczono w tabeli 1. Na fotografii 1 pokazano wybrane, najbardziej typowe przypadki dla tego typu badań. Brak kompatybilności na tym etapie badań objawia się brakiem jednorodności płynnej próbki np. wytrącanie osadu, rozwarstwienie dwóch faz.



Fot. 1. Próbk domieszek po badaniu starzeniowym

Tabela 1. Ocena wizualna domieszek po badaniu starzeniowym

Numer odpniacza	Baza chemiczna	Wygląd próbek po tygodniu
Wzorzec (Polimer PCE bez odpniacza)	PCE	jednorodny, klarowny
1	niejonowy surfaktant	jednorodny, klarowny
2	niejonowy surfaktant	jednorodny, lekko mętny
3	niejonowy surfaktant Gemini	rozwarstwienie, biały nalot na powierzchni
4	surfaktant Gemini modyfikowany acetylowanym alkoholem	mętny, rozwarstwienie, na powierzchni tłuste plamy
5	emulsja na bazie polieteru	jednorodny, mętny
6	emulsja siloksanowa	klarowny, na powierzchni tłuste plamy

Tabela 1. Cd. Ocena wizualna domieszek po badaniu starzeniowym

Numer odpeniacza	Baza chemiczna	Wygląd próbek po tygodniu
7	emulsja silikonowa	mętny, niejednorodny, białe drobiny w całej objętości
8	mieszanina polisiloksanów i hydrofobowych substancji nietlonych w poliglikolu	jednorodny, lekko mętny
9	emulsja polisiloksanów, hydrofobowych substancji nietlonych i emulgatorów	niejednorodny, mętny, białe drobiny w całej objętości
10	niejonowy surfaktant	jednorodny, klarowny
11	niejonowy surfaktant	jednorodny, klarowny
12	niejonowy surfaktant (polieteropoliol)	rozwarstwienie, biały nalot na powierzchni
13	emulsja polisiloksanów	jednorodny, lekko mętny
14	emulsja polisiloksanów	rozwarstwienie, biały nalot na powierzchni
15	niejonowy surfaktant	mętny, rozwarstwienie, w objętości i na powierzchni tłuste plamy
16	modyfikowany polieter glikolu	jednorodny, klarowny
17	mieszanina polieterów i niejonowego emulgatora	klarowny, na powierzchni tłuste plamy
18	mieszanina polisiloksanów z niejonowym surfaktantem	mętny, rozwarstwienie, na powierzchni tłuste plamy
19	mieszanina ciekłych węglowodórów, hydrofobowej krzemionki, syntetycznych kopolimerów i niejonowych emulgatorów	klarowny, rozwarstwienie, osad na dnie
20	mieszanina polisiloksanów z niejonowym surfaktantem	mętny, rozwarstwienie, na powierzchni tłuste plamy
21	polioksalkilen	jednorodny, mętny
22	polieter	klarowny, na powierzchni tłuste plamy
23	poliester kwasu tłuszczowego	mętny, w połowie objętości rozwarstwienie
24	Tri - fosforan izobutyłu	mętny, rozwarstwienie, na powierzchni tłuste plamy
25	mieszanina eterów glikolu	rozwarstwienie, biały nalot na powierzchni
26	emulsja polidwumetylosiloksanu + środki pomocnicze	mętny, niejednorodny, białe drobiny w całej objętości

Tabela 1. Cd. Ocena wizualna domieszek po badaniu starzeniowym

Numer odpieniacza	Baza chemiczna	Wygląd próbek po tygodniu
27	emulsja silikonowa	mętny, niejednorodny, białe drobiny w całej objętości
28	emulsja silikonowa	rozwarstwienie, biały nalot na powierzchni
29	alifatyczny olej mineralny	klarowny, brązowe plamy na powierzchni
30	emulsja silikonowa	mętny, niejednorodny, białe drobiny w całej objętości

Do II etapu badań wytypowano tylko te domieszki, które pozytywnie przeszły testy starzeniowe i zachowały jednorodność w czasie. Wybrano próbki numer: 1, 2, 5, 8, 10, 11, 13, 16, 21. Proces przygotowania mieszanki wykonano zgodnie z pkt. 7.2 normy PN-EN 480-1 [13]. Badania za zaprawie obejmowały pomiar: konsystencji świeżej zaprawy metodą stolika rozplywowego zgodnie z PN-EN 1015-3:2000/A2:2007, gęstości zgodnie z PN-EN 1015-6:2000/A1:2007 oraz zawartości powietrza zgodnie z PN-EN 1015-6 z opisem poniżej. [14, 15, 16]. Skład badanej zaprawy: 2000 g piasek płukany 0–2 mm, 1000 g CEM I 42,5R Górażdże, 340 g woda kranowa, 8 g domieszka. W celu zbadania zawartości powietrza zaprawę układano w dwóch warstwach w pojemniku aparatu do badania zawartości powietrza i zagęszczano każdą z nich wstrząsając 10-krotnie na stoliku do rozplywu. Wyniki zebrano w tabeli 2. Wszystkie badania na zaprawie jak również później na mieszance betonowej wykonano przy stałej temp. 20°C, gdyż temperatura wpływa zarówno na właściwości reologiczne, jak i na zawartość powietrza w świeżej zaprawie.

Tabela 2. Wyniki badań skuteczności działania odpieniacza na zaprawie

Numer odpieniacza	Zawartość powietrza [%]	Konsystencja [mm]
Zaprawa bez domieszki	7,0	140
Wzorzec PCE bez odpieniacza	22,0	188
1	8,8	210
2	9,5	200
5	8,1	230
8	7,6	205
10	12,0	186
11	13,5	190
13	8,9	185
16	18,0	175
21	8,0	200

Mieszanka wykonana z dodatkiem domieszki PCE bez odpieniacza zawierała największą ilość powietrza na poziomie 22%. Napowietrzenie mieszanki bez domieszki wyniosło 7%.



W przypadku odpieniaczy 10, 11 i 16, mimo zachowania jednorodności w testach starzeniowych, możemy mówić o ich niekompatybilności z badanym polimerem PCE gdyż uzyskano bardzo wysokie wartości powietrza w zaprawie. Do III etapu badań wytypowano tylko 5 próbek odpieniaczy, które zapewniły odpowietrzenie zaprawy na poziomie mieszanki bez dodatku domieszki polimerowej + max. 2% powietrza. Ocenie podlegało: utrzymanie konsystencji świeżej mieszanki betonowej badanej metodą opadu stożka zgodnie z PN-EN 12350-2:2011 i zawartość powietrza zgodnie z PN-EN 12350-7:2011 [17,18]. Skład badanej mieszanki betonowej podano w tabeli 3. Mieszanę przygotowano zgodnie z pkt. 6.2 normy PN-EN 480-1 na beton wzorcowy. Wyniki badań konsystencji oraz zawartości powietrza mieszanek podano w tabeli 4.

Tabela 3. Skład mieszanki betonowej

Składnik	Ilość na m <sup>3</sup>
CEM I 42,5R	350
Piasek 0-2mm	686
Grys 2-8mm	512
Grys 8-16mm	683
Woda	165
Domieszka	2,8

Tabela 4. Wyniki badań konsystencji i zawartości powietrza w mieszance betonowej

Numer odpieniacza	Opad stożka po czasie [mm]			Zawartość powietrza [%]	
	0	30	60	LP 0'	LP 60'
1	215	220	215	2,0	2,3
5	235	220	220	3,2	4,8
8	210	225	200	1,6	3,7
13	190	190	150	3,0	3,8
21	205	195	160	1,9	2,0

Analiza otrzymanych wyników badań wykazała negatywny wpływ niektórych odpieniaczy (nr 13 i 20) na utrzymanie konsystencji mieszanki betonowej w czasie lub nieskuteczną redukcję zawartości powietrza (nr 5), co jest wynikiem braku kompatybilności układu odpieniacz-polimer PCE. Odpieniacz nr 8 odrzucono ze względu na brak stabilności zawartości powietrza w czasie. Biorąc wszystkie powyższe kryteria pod uwagę ostatecznie do kolejnego etapu badań wytypowano odpieniacz nr 1. W tej części badań zanalizowano ilość, rodzaj oraz rozmieszczenie porów powietrznych w stwardniałym betonie dla trzech rodzajów betonu:

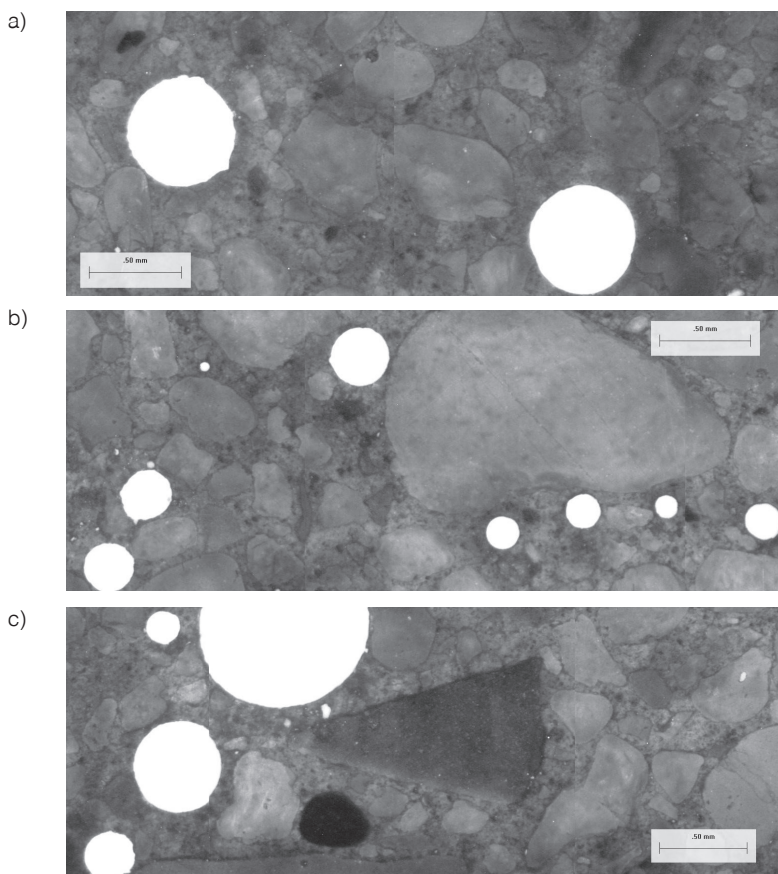
- beton wzorcowy – bez domieszki
- beton z domieszką (PCE bez odpieniacza)
- beton z domieszką (z właściwie dobranym odpieniaczem).

Mieszanki betonowe przygotowano zgodnie z wymaganiami normy 934-2 Tab. 3.1 dla domieszek upłynniających tak, aby uzyskać tą samą konsystencję (opad stożka=70±10mm). Wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki badań konsystencji oraz zawartości powietrza mieszanek betonowych

Właściwości	Beton wzorcowy	Beton z domieszką PCE bez odpieniacza	Beton z domieszką PCE z odpieniaczem
Konsystencja [mm]	75	80	60
Zawartość powietrza [%]	2,2	5,2	2,9

Po 14 dniach dojrzewania betonu przygotowano zglądy i wykonano badania mikroskopowe. Wszystkie badane próbki wykazały rozkład wielkości porów, wyznaczony zgodnie z normą PN-EN 480-11, charakterystyczny dla betonów nienapowietrzonych (tabela 6). Przykładowe zdjęcia mikrostruktury analizowanych betonów zostały przedstawione na fotografii 2.

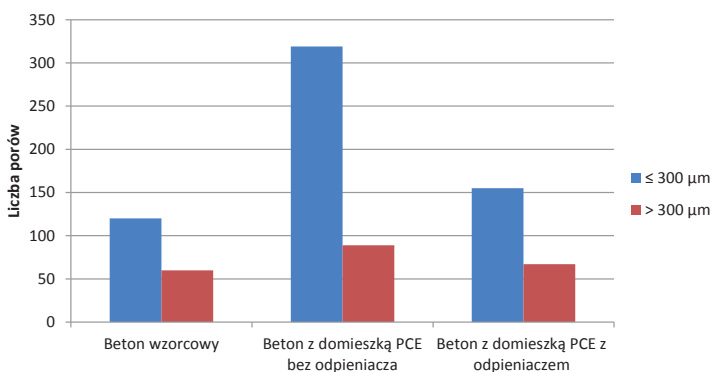


Fot. 2. Charakterystyczne obrazy mikrostruktury widoczne na zglądach betonowych: (a) beton wzorcowy; (b) beton z domieszką PCE bez odpieniacza; (c) beton z domieszką PCE z odpieniaczem

Tabela 6. Charakterystyka porów powietrznych w próbkach badanego betonu

Oznaczenie	A [%]	$\alpha$ [mm <sup>-1</sup> ]	$\bar{L}$ [mm]	$A_{300}$ [%]
Beton wzorcowy	2,38	12,59	0,56	0,34
Beton z domieszką PCE bez odpeniacza	4,05	15,93	0,33	0,87
Beton z domieszką PCE z odpeniaczem	3,11	11,53	0,54	0,24

Zastosowanie domieszki PCE z odpeniaczem pozwoliło uzyskać mikrostrukturę zbliżoną do betonu referencyjnego/wzorcowego. W przypadku zastosowania domieszki PCE bez odpeniacza zaobserwowano większy udział mikroporów o średnicach mniejszych od 300  $\mu\text{m}$  ( $A_{300}$ ), który był główną przyczyną zmniejszenia wskaźnika rozmieszczenia porów ( $\bar{L}$ ). Zważywszy na zwiększający się błąd modelu pomiarowego wyznaczającego wskaźnik  $A_{300}$ , ze spadkiem całkowitej liczby mierzonych cięciw w metodzie trawersowej, porównanie skutków użycia środka odpeniającego w betonie dokonano na podstawie liczby mierzonych cięciw (rys. 3). Zastosowanie środka odpeniającego zmniejszyło ponad dwukrotnie liczbę porów mniejszych od 300  $\mu\text{m}$  i była to liczba zbliżona do betonu referencyjnego. Należy zauważyć, że ilość porów większych od 300  $\mu\text{m}$  jest zbliżona między betonami, co pozwala przypuszczać, że stosowany środek odpeniający jest skuteczny w usuwaniu jedynie mikroporów.



Rys. 3. Liczba porów powietrznych  $\leq 300 \mu\text{m}$  oraz porów  $> 300 \mu\text{m}$  badanych betonów wyznaczona na podstawie pomiaru metodą trawersową o długości 2400 mm

## 4. Wnioski

Brak znajomości dokładnego składu chemicznego zarówno domieszek odpeniających jak i eterów polikarboksylowych utrudnia sformułowanie przyczyn braku ich wzajemnej kompatybilności. Z doświadczeń autorów wynika iż nawet zmiana kolejności dozowania poszczególnych składników gotowej domieszki upłynniającej na bazie PCE decyduje o jej stabilności w czasie. Jak wykazały prezentowane badania właściwy dobór domieszki odpeniającej gwarantuje nie tylko spowolnienie procesów starzeniowych samego su-

perplastyfikatora ale decyduje również o napowietrzeniu i właściwościach reologicznych świeżej zaprawy oraz mieszanki betonowej. Prezentowana praca może stanowić wytyczne dla prawidłowego ich doboru oraz budowania świadomości ich stosowania. Sam proces doboru odpowiedniego odpieniacza jest żmudny i wymaga wykonania wielu testów bez gwarancji powodzenia. Modyfikacja budowy oraz mechanizmu działania domieszek odpieniających powinna iść w kierunku usuwania przede wszystkim porowatości powyżej 300 µm, która stanowi czynnik powodujący negatywny wpływ na właściwości stwardniałego betonu.

## Literatura:

- [1] A. Lange, J. Plank, *Study on a foaming behaviour of allyl ether-based polycarboxylate superplasticizers*, Cement and concrete research, 2012, 42, s. 484–489
- [2] Delphine Marchon, Ueli Sulser, Arnd Eberhardt, Robert J. Flatt, *Molecular design of comb-shaped polycarboxylate dispersants for environmentally friendly concrete*, The Royal Society of Chemistry, 2013, 9, s. 10719–10728
- [3] L. Lei, J. Plank, *Synthesis, working mechanism and effectiveness of a novel cycloaliphatic superplasticizer for concrete*, Cement and concrete research, 2012, 118–123.
- [4] Beata Łązniewska-Piekarczyk, *Wpływ rodzaju superplastyfikatora i domieszek przeciwpieniących na napowietrzenie i właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej*. Cement Wapno Beton 2009, 3, s. 133–145
- [5] PN-EN 934-1:2009 – Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 1: Wymagania podstawowe
- [6] PN-EN 934-2+A1:2012 – Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu -- Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie
- [7] Sakai E., Kasuga T., Sugiyama T., Asaga K., Daimon M., *Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement*, Cement and Concrete Research 36 (2006) 2049–2053.
- [8] Mosquet M., *Domieszki nowej generacji*, Budownictwo Technologie Architektura numer specjalny 2003.
- [9] Łązniewska B., *Teoretyczna i praktyczna wartość parametrów struktury porowatości mrozoodpornego SCC*, 53 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB „Krynica 2007”, 16÷21 września 2007.
- [10] Janusz Szwabowski, Beata Łązniewska-Piekarczyk *Zwiększenie napowietrzenia mieszanki SCC pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylanowych*, Cement Wapno Beton, 2008, 4, s. 205–215
- [11] Stephen A. von Phul, Antifoam, *What is it? How does it work? Why do they say to limit its use?*, Lon Stern, Shell Global Solutions US, Houston, Texas, 2013
- [12] PN-EN 934-1:2009 – Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu -- Część 1: Wymagania podstawowe
- [13] PN-EN 480-1:2014-12 - Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Metody badań -- Część 1: Beton wzorcowy i zaprawa wzorcowa do badania
- [14] PN-EN 1015-3:2000 – Metody badań zapraw do murów – Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplýwu)
- [15] PN-EN 1015-7:2000 – Metody badań zapraw do murów – Określenie zawartości powietrza w świeżej zaprawie
- [16] PN-EN 1015-6:2000 – Metody badań zapraw do murów – Określenie gęstości objętościowej świeżej zaprawy
- [17] PN-EN 12350-2:2011 – Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka
- [18] PN-EN 12350-7:2011 – Badania mieszanki betonowej – Część 7: Badanie zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe