

dr hab. inż. Paweł Łukowski, prof. nzw.\*  
mgr inż. Daniel Wiliński\*

# Współczesne domieszki napowietrzające do betonu

*Modern air-entraining admixtures for concrete*

**D**estrukcja mrozowa stanowi jeden z największych problemów związanych z trwałością betonu. Zamarzająca woda zwiększa swoją objętość o ok. 9%. Jeśli proces ten odbywa się wewnątrz elementu betonowego (w kapilarach, pustkach powietrznych), powstają naprężenia prowadzące do odkształceń struktury materiału. Po rozmrożeniu odkształcenia pozostają, a po ponownym zamarznięciu pogłębiają się. Cykle zamrażania i odmrażania betonu dają niszczący efekt kumulacyjny. Dodatkowo zagrożenie w przypadku nawierzchni betonowych stanowią powszechnie używane zimą środki odładzające, np. chlorek sodu lub chlorek wapnia, które przyspieszają destrukcję betonu w niskiej temperaturze.

## Napowietrzanie betonu jako sposób nadania mrozoodporności

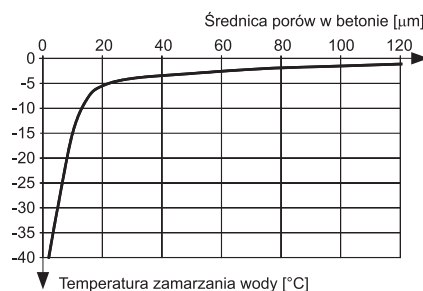
Warunkiem koniecznym nadania betonowi mrozoodporności w niesprzyjających warunkach klimatycznych i środowiskowych (klasy ekspozycji XF2, XF3, XF4 wg PN-EN 206-1, czyli w przypadku, gdy beton w stanie mokrym jest narażony na cykliczne zamrażanie/rozmarzanie) jest zapewnienie odpowiedniej szczelności i wytrzymałości mechanicznej materiału. Osiąga się to przez właściwe zaprojektowanie składu mieszanki betonowej i pielęgnację betonu, zgodnie z zaleceniami PN-EN 206-1. W wielu przypadkach takie działanie jest jednak niewystarczające. **Skuteczne zabezpieczenie betonu przed działaniem mrozu można uzyskać przez napowietrzenie mieszanki betonowej w wyniku zastosowania domieszek napowietrzających** (ang. *air-entraining admixtures*, AEA).

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Beton napowietrzony znany jest od ponad siedemdziesięciu lat. Odkrycia tej metody ochrony betonu dokonano w latach trzydziestych XX w., prowadząc próby z różnymi środkami wspomagającymi mielenie cementu. Zauważono, że beton wykonany z cementu mielonego z dodatkiem łożu wołowego okazał się nadspodziewanie trwały w warunkach zimowych. Zawarte w łożu związki organiczne ulegały w czasie mielenia saponifikacji (zmydlaniu), przekształcając się w środki powierzchniowo czynne, a te z kolei powodowały napowietrzenie betonu.

Środki napowietrzające, wprowadzone do mieszanki betonowej w czasie mieszania, działają spieniająco, a przede wszystkim stabilizują wprowadzone powietrze, nadając odpowiednią strukturę (rozkład i wielkość) powstałym mikropęcherzykom.

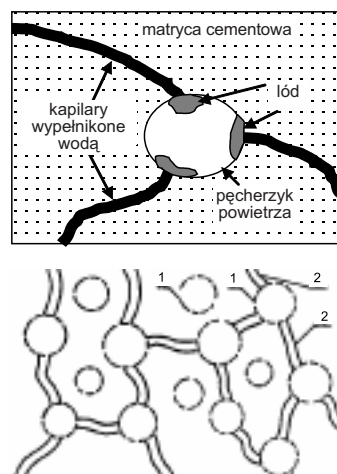
Rozmieszczenie tych pęcherzyków w betonie jest równomierne (150 – 200  $\mu\text{m}$ ), a ich rozmiary zawierają się w przedziale 20 – 250  $\mu\text{m}$ . Temperatura zamrażania wody w porach o mniejszej średnicy jest obniżona (rysunek 1).



Rys. 1. Wpływ średnicy porów na temperaturę zamrażania wody (wg [1])

Woda, zamarzając w kapilarach ze zwiększeniem objętości może wciskać się do pustych pęcherzyków, co zapobiega rozsądaniu betonu (pęcherzyki pełnią rolę komór kompensujących naprężenia) [2]. Ponadto, mikropęcherzyki przerywają ciągłość kapilar w betonie, zapobiegając kapilarnemu i osmo-

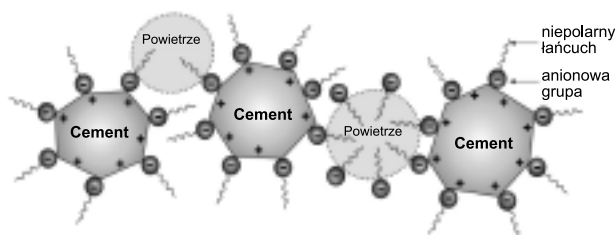
tycznemu transportowi wody (rysunek 2). Efektem jest nadanie betonowi odporności na działanie mrozu.



Rys. 2. Struktura betonu napowietrzonego: 1 – pęcherzyki powietrza; 2 – kapilary

## Mechanizm działania i natura chemiczna domieszek napowietrzających

Domieszki napowietrzające zbudowane są z grup hydrofobowych, takich jak łańcuch węglowodorowy, połączonych z grupami, które dysocjują w środowisku wodnym, tworząc grupy hydrofilowe, np. sulfonowe ( $-\text{SO}_3^-$ ) lub karboksylowe ( $-\text{COO}^-$ ). Na granicy fazy stałej z ciekłą część hydrofilowa domieszki łączy się z powierzchnią fazy stałej, a niepolarna jest skierowana w stronę wody. Wynikiem tego procesu jest hydrofobizacja ziaren cementu – adsorbują się na nich bąbelki powietrza, w których ulokowane są niepolarne łańcuchy (rysunek 3). **Domieszki napowietrzające zmniejszają napięcie powierzchniowe wody (ułatwiają to powstawanie pęcherzy powietrza) oraz przeciwdziałają łączeniu się (koalescencji) pęcherzyków. Podczas zagęszczania mieszanki betonowej mikropęcherzyki powietrza działają jak łożyska kulkowe, poprawiając urabialność mieszanki.**



Rys. 3. Mechanizm działania domieszki napowietrzającej w mieszance betonowej

Pod względem natury chemicznej, domieszki napowietrzające można podzielić na kilka podstawowych grup [3, 4]:

- żywice naturalne i ich sole;
- kwasy tłuszczowe i ich sole;
- sole alkilo-arylo sulfonianów;
- sole alkilosiarczanów;
- związki alkilo-arylooksyetylenowane;
- sole lignosulfonianów;
- inne (np. sole pochodzenia petrochemicznego, białko zwierzęce, oleje).

## Praktyczne aspekty stosowania domieszek napowietrzających

Zgodnie z normą PN-EN 934-2 *Domieszki do betonu*, objętościowa zawartość powietrza w mieszance napowietrzanej powinna wynosić  $4 \pm 6\%$  i być o co najmniej 2,5% większa niż w mieszance kontrolnej o tej samej konsystencji. Wytrzymałość na ściskanie betonu napowietrzonego po 28 dniach nie może być mniejsza niż 75% wytrzymałości betonu niemodyfikowanego.

### Zawartość powietrza i rozkład porów w mieszance betonowej zależą od:

- rodzaju i ilości domieszki napowietrzającej;
- sposobu mieszania – bardzo szybkie obroty mieszarki zwiększają ilość wprowadzanego powietrza;
- czasu mieszania – podczas mieszania napowietrzenie początkowo wzrasta, a potem maleje;
- konsystencji mieszanki;
- sposobu i stopnia mieszanki; wibrowanie zmniejsza napowietrzenie mieszanki, ale liczne badania wykazały, że umiarkowane wibrowanie nie zmniejsza mrozoodporności betonu, gdyż powoduje głównie usuwanie pęcherzyków o dużych rozmiarach, które nie przyczyniają się do wzrostu odporności mrozowej;
- rodzaju (kształtu) i uziarnienia kruszywa; szczególnie duży jest wpływ uziarnienia drobnych frakcji kruszywa; frakcje  $0,25 \div 1$  mm ułatwiają napowietrzenie, natomiast pyły (poniżej  $0,125$  mm)

– utrudniają, ich duża zawartość powoduje zatem konieczność zwiększenia ilości domieszki.

Domieszki napowietrzające wprowadza się w bardzo niewielkiej ilości, zwykle do 0,5% masy cementu (na rynku dostępne są produkty rozcieńczone,

stosowane w ilości 0,5 – 2%). Niektóre czynniki zmniejszają skuteczność domieszki i wówczas potrzebna jest jej większa dawka. Należą do nich [5]:

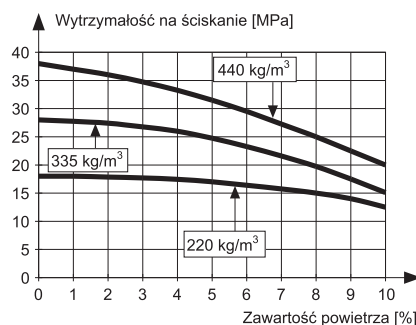
- woda twarda stosowana jako woda zarobowa;
- cement niskoalkaliczny;
- substancje drobnoziarniste (popioły lotne, pigmenty);
- cement o większym rozdrobnieniu.

Inne typy domieszek, np. uplastyczniające i upłynniające, również mogą wykazywać działanie napowietrzające, uważane zazwyczaj za skutek niepożądany.

Zawartość domieszki napowietrzającej w mieszance betonowej wpływa w różny sposób na właściwości betonu. W przypadku zbyt dużej jej zawartości hamowany jest proces hydratacji (domieszka blokuje dostęp wody do powierzchni ziarna cementu) oraz wprowadza się zbyt dużą ilość powietrza, co może prowadzić do pogorszenia właściwości mechanicznych betonu (rysunek 4).

## Podsumowanie

Stosowanie domieszek napowietrzających jest najskuteczniejszym sposobem zabezpieczania betonu przed działaniem mrozu. Znajdują one zastosowanie wszędzie tam, gdzie beton jest narażony na czynniki atmosferyczne, zwłaszcza w budownictwie komunikacyjnym, ale także w szczególnych obszarach technologii betonu, takich



Rys. 4. Wpływ napowietrzenia na wytrzymałość na ściskanie betonu z kruszywem 0 – 25 mm w przypadku różnej zawartości cementu

jak produkcja betonu hydrotechnicznego, betonu lekkiego lub betonu o małej zawartości cementu.

## Streszczenie

Destrakcja mrozowa to jeden z najpoważniejszych czynników, ograniczających trwałość betonu w klimacie, w którym jest on poddawany powtarzającym się cyklom zamrażania i rozmrażania. Skutecznym sposobem nadania betonowi mrozoodporności jest stosowanie domieszek napowietrzających. Powodują one zmianę struktury materiału, polegającą na stabilizowaniu w stwardniałym betonie mikropecherzyków o takim rozkładzie przestrzennym i rozmiarach, że zabezpieczają one beton przed naprężeniami powstającymi na skutek zwiększenia objętości przez zamarzającą wodę. Domieszki napowietrzające są nieodzowne wszędzie tam, gdzie beton jest narażony na czynniki atmosferyczne, zwłaszcza w budownictwie komunikacyjnym, ale także w innych obszarach technologii betonu.

**Słowa kluczowe:** beton, domieszki, mrozoodporność, napowietrzanie.

## Abstract

Frost action is one of the most significant factors, limiting the durability of concrete in the climate, in which it undergoes to repeating cycles of freezing and thawing. The effective measure for making concrete frost-resistant is use of air-entraining admixtures. They cause the change in the material structure, consisting in the stabilization of the air micro-bubbles in the hardened concrete. The micro-bubbles have such spatial distribution and sizes that protect concrete against the excessive stresses created by the water, which expands when freezing. The air entraining admixtures are necessary, when the concrete is exposed to the atmospheric factors, particularly in the communication construction but also in the other fields of concrete technology.

## Literatura

- [1] Rusin Z.: *Technologia betonów mrozoodpornych*. Polski Cement, Kraków, 2002.
- [2] Mehta P.K., Monteiro P.J.M.: *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill, New York 2006.
- [3] Kurdowski W.: *Chemia cementu i betonu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010.
- [4] Łukowski P., Wiliński D.: *Rozwój domieszek do betonów nowej generacji*. Budownictwo, Technologie, Architektura, 1, 2013, 54 – 56.
- [5] Łukowski P.: *Domieszki do zapraw i betonów*. Polski Cement, Kraków, 2003.