

Napowietrzenie mieszanki betonowej ma na celu wprowadzenie do struktury betonu dodatkowych porów powietrznych o odpowiednim kształcie, rozmiarze i rozmieszczeniu. Napowietrzenie jest jednym z głównych zabiegów technologicznych mających na celu poprawę odporności betonu na destrukcyjne działanie mrozu.

NAJSKUTECZNIEJSZĄ METODĄ OCHRONY BETONU PRZED DESTRUKCYJNYM DZIAŁANIEM MROZU JEST PRAWIDŁOWE NAPOWIETRZENIE

Korozja mrozowa (cykliczne zamrażanie i rozmrażanie) powoduje uszkodzenia struktury betonu wskutek zamarzania wody w porach kapilarnych betonu. Zamarzająca woda zmienia stan skupienia, przemianie fazowej woda-lód towarzyszy zmiana objętości o około 9%. Ponieważ cała objętość kapilary, w której zamarza woda, jest nią wypełniona, powstający lód nie ma wolnych przestrzeni na kompensację zwiększonej objętości. W wyniku tego, wewnątrz kapilary powstaje wysokie ciśnienie (około 110 MPa). Beton, jako ciało kruche, charakteryzuje się stosunkowo niewielką wytrzymałością na rozciąganie, szacowaną na około 10% wartości wytrzymałości na ściskanie. W efekcie powstającego ciśnienia, generowane są naprężenia wewnętrzne, których wartości przekraczają poziom wytrzymałości betonu na rozciąganie, powodując uszkodzenie struktury betonu, objawiające się zarysowaniem, powierzchniowym złuszczeniem i odpryskami. Przykłady destrukcyjnego działania mrozu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykłady destrukcji betonu wskutek agresji mrozowej

Poprawne napowietrzenie betonu polega na wprowadzeniu drobnych, regularnie rozmieszczonych, sferycznych pęcherzyków powietrznych, niepołączonych ze sobą i przerywających system porów kapilarnych w betonie (rys. 2).

Prawidłowo napowietrzony beton powinien charakteryzować się:

- zawartością powietrza na poziomie 4 do 6%,
- jak największą zawartością mikroporów ($< 0,3$ mm), minimum 1,5%,
- wskaźnikiem rozmieszczenia porów poniżej $0,2 \pm 0,25$ mm.

Wymagania dotyczące całkowitej zawartości powietrza, w tym zawartości mikroporów i ich rozmieszczenia, zawarte są w normie PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” oraz w Ogólnych Specyfikacjach Technicznych (OST) opracowanych przez GDDKiA - tabela 1 i 2.

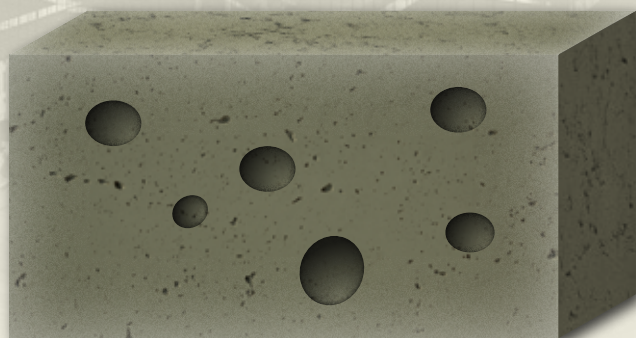
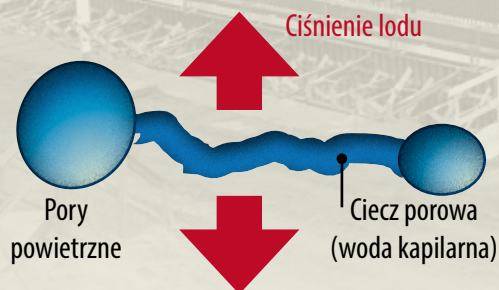
Tabela 1. Wymagania dotyczące napowietrzenia betonu

Norma/Specyfikacja techniczna	Wymaganie	Klasa ekspozycji			
		XF1	XF2	XF3	XF4
PN-EN 206	Zawartość powietrza	-	$\geq 4,0\%$	$\geq 4,0\%$	$\geq 4,0\%$
OST „Nawierzchnia z betonu cementowego”	Zawartość mikroporów o średnicy $< 0,3$ mm (A_{300})	OST nie przewiduje nawierzchni w tych klasach ekspozycji		$\geq 1,5\%$	
	Wskaźnik rozmieszczenia porów L			$\leq 0,25$ mm	$\leq 0,20$ mm
	Zawartość powietrza			wg tabeli 2	
OST „Beton konstrukcyjny”	Zawartość powietrza	-	wg tabeli 2		

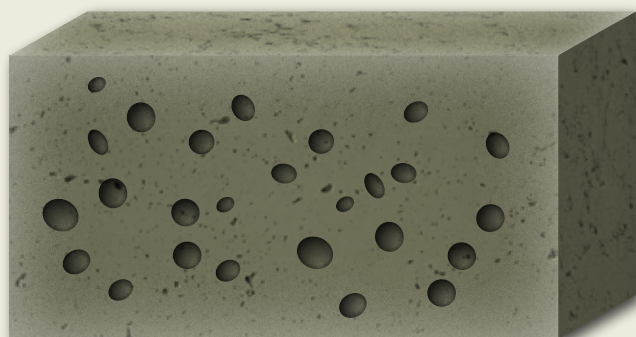
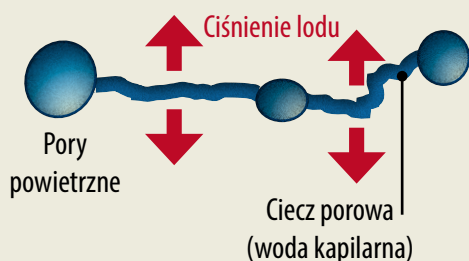
Tabela 2. Wymagania dotyczące napowietrzenia mieszanki betonowej wg OST

Maksymalny wymiar kruszywa [mm]	Etap wykonania badań		Tolerancja pomiarowa [%]
	Projektowanie składu mieszanki betonowej [%]	Zatwierdzenie receptury, próba technologiczna, kontrola jakości robót [%]	
Beton nawierzchniowy			
8	5,0÷6,5	5,0÷7,0	-0,5 +1,0
16 lub 22,4	4,5÷6,0	4,5÷6,5	
31,5	4,0÷5,5	5,0÷6,5	
Beton konstrukcyjny			
16,0	4,5÷6,0	4,5÷6,5	-0,5 +1,0
22,4	4,0÷5,5	4,0÷6,0	
31,5	4,0÷5,5	4,0÷6,0	

Napowietrzenie mieszanki betonowej, czyli kontrolowane wprowadzenie porów powietrznych uzyskuje się w efekcie zastosowania domieszki napowietrzającej, jako składnika betonu. Określenie optymalnej ilości domieszki nie jest łatwe, ponieważ zalecane przez producenta przedziały dozowania są zwykle dosyć szerokie, zaś efektywność w przypadku domieszek napowietrzających zależy od wielu czynników (tabela 3). Należy przy tym pamiętać, że wprowadzenie dodatkowej ilości powietrza skutkuje obniżeniem wytrzymałości betonu na ściskanie.



Beton bez domieszki napowietrzającej



Beton z domieszką napowietrzającą

Rys. 2. Wpływ napowietrzenia na ograniczenie ciśnienia lodu przez przerwanie ciągłości porów kapilarnych

KAŻDY 1 % DODATKOWO WPROWADZONEGO POWIETRZA POWODUJE OBNIŻENIE WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE DO 5%

Wprowadzenie do mieszanki betonowej powietrza powoduje, przede wszystkim poprawę mrozoodporności, a dodatkowo także zwiększenie objętości zaczynu cementowego, obniżenie tarcia wewnętrznego, ułatwienie poślizgu między ziarnami kruszywa, zmniejszenie tendencji do segregacji składników, ograniczenie „bleedingu” i poprawę urabialności mieszanki betonowej.

Tabela 3. Czynniki wpływające na efektywność napowietrzenia

Czynnik	Zmniejsza napowietrzenie	Zwiększa napowietrzenie	Komentarz
Temperatura mieszanki	Wysoka	Niska	Przy tym samym stopniu dozowania domieszki napowietrzającej, wzrost temperatury mieszanki betonowej skutkuje obniżeniem zawartości powietrza
Rodzaj cementu	CEM II÷CEM V	CEM I	Im większa zawartość składników nieklinkerowych w cemencie, tym trudniej napowietrzyć mieszankę betonową (przy tym samym dozowaniu domieszki napowietrzającej)
Czas mieszania	Krótki	Wydłużony	Należy dobrać doświadczalnie w celu uzyskania jak najefektywniejszego napowietrzenia
Czas dozowania na węźle betoniarskim	-	-	
Klasa wytrzymałości cementu	42,5 52,5	32,5	Cementy wyższej klasy wytrzymałości zwykle wymagają większego dozowania domieszki napowietrzającej dla uzyskania tego samego poziomu napowietrzenia
Ilość cementu	Większa	Mniejsza	Im większa zawartość cementu, tym większe dozowanie domieszki napowietrzającej (dla uzyskania tego samego poziomu napowietrzenia)
Dodatki do betonu wg PN-EN 206	Tak	Nie	Stosowanie dodatków do betonu (szczególnie popiołu lotnego) utrudnia prawidłowe napowietrzenie mieszanki, a przy tym wymaga większego dozowania domieszki napowietrzającej
Zawartość frakcji 0,25÷0,5 mm w piasku	Niska	Wysoka	Wysoka zawartość frakcji 0,25÷0,5 mm w piasku powoduje zwiększenie napowietrzenia
Konsystencja betonu	Klasa S1-S2 wg PN-EN 206	Klasa S3-S4 wg PN-EN 206	Niski stopień upłynnienia mieszanki betonowej utrudnia prawidłowe napowietrzenie mieszanki. Mieszanki o konsystencji ciekłej łatwiej z kolei odpowietrzyć
Prędkość mieszania w betonomieszarce	Niska	Wysoka	Im większa prędkość mieszania, tym większe ryzyko dodatkowego napowietrzenia podczas transportu

