

W krajowych warunkach atmosferycznych (jesiennie-zimowych) powszechnym oddziaływaniem na konstrukcje i elementy betonowe jest cykliczne zamrażanie oraz rozmrażanie wody zawartej w strukturze betonu. Zamarzająca woda zmienia stan skupienia, przemianie fazowej woda-lód towarzyszy wzrost objętości (około 9%), co może prowadzić do powstawania spękań oraz uszkodzeń elementu betonowego.

Beton mrozoodporny ≠ Beton wykonywany podczas obniżonych temperatur

Betonem mrozoodpornym nazywamy beton odporny na agresywne oddziaływanie środowiska wywołane cyklicznym zamrażaniem/rozmrażaniem przy udziale środków odladzających lub bez ich udziału. Zgodnie z normą PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” wyróżniamy cztery klasy ekspozycji XF1–XF4 wywołane agresją mrozową (tabela 1).

Najsukuteczniejszymi metodami zwiększającymi odporność betonu na cykliczne zamrażanie/rozmrażanie są:

- napowietrzenie (ilość, wielkość i rozkład porów powietrznych),
- obniżenie współczynnika w/c (im niższy, tym bardziej mrozoodporny beton),
- odpowiednia pielęgnacja (im dłużej, tym lepiej).

Tabela 1. Wymagania dotyczące betonu w klasach ekspozycji XF wg PN-EN 206.

| Klasa ekspozycji | Opis środowiska | Przykład przyporządkowania do danej klasy | Min. zawartość cementu [kg/m ³] | Maksymalny współczynnik w/c | Min. klasa wytrzymałości na ściskanie [MPa] | Min. zawartość powietrza [%] | Wymagania dodatkowe |
|---|--|--|---|-----------------------------|---|------------------------------|---|
| Agresja spowodowana zamrażaniem/rozmrażaniem przy udziale środków odladzających lub bez ich udziału | | | | | | | |
| W przypadku, gdy beton w stanie mokrym jest narażony na znaczną agresję spowodowaną cyklicznym zamrażaniem/rozmrażaniem, ekspozycja powinna być klasyfikowana w następujący sposób: | | | | | | | |
| XF1 | Umiarkowane nasycenie wodą | Pionowe powierzchnie narażone na deszcz i zamrażanie | 300 | 0,55 | C30/37 | - | Kruszywo zgodne z EN 12620 o odpowiedniej mrozoodporności |
| XF2 | Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odladzającymi | Pionowe powierzchnie konstrukcji drogowych narażone na zamrażanie i działanie środków odladzających z powietrza | 300 | 0,55 | C25/30 | 4,0% | |
| XF3 | Silne nasycenie wodą bez środków odladzających | Poziome powierzchnie narażone na deszcz i zamrażanie | 320 | 0,50 | C30/37 | | |
| XF4 | Silne nasycenie wodą ze środkami odladzającymi lub wodą morską | Jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odladzających, powierzchnie betonowe i strefy rozbryzgów narażone na działanie wody i zamrażanie | 340 | 0,45 | C30/37 | | |

DOBÓR JAKOŚCIOWY SKŁADNIKÓW

W celu wykonania betonu o wymaganym stopniu mrozoodporności, należy odpowiednio dobrać składniki mieszanki betonowej pod względem jakościowym oraz ilościowym (tabela 1).

Cement

Rodzaj cementu i jego ilość ma znaczący wpływ na przebieg procesu hydratacji oraz właściwości betonu stwardniałego. Jak powszechnie wiadomo cementy z dodatkami mineralnymi CEM II÷CEM V wykazują wolniejszy przyrost wytrzymałości w porównaniu do cementów portlandzkich CEM I. Z tego względu wiele specyfikacji technicznych, np. Ogólne Specyfikacje Techniczne GDDKiA (OST) zaleca przeprowadzenie badań mrozoodporności w terminach dłuższych niż normowe 28 dni, np. 56 lub 90 dni (tabela 2).

Tabela 2. Zalecana długość okresu pielęgnacji próbek przed badaniem mrozoodporności w zależności od klasy i rodzaju cementu wg OST

| Rodzaj cementu | Czas równoważny [dni] |
|---|-----------------------|
| CEM I (R), CEM II/A-S (R) | 28 dni |
| CEM I (N), CEM II/A-S (N) CEM II/B-S (N, R) | 56 dni |
| CEM III/A | 90 dni |

Kruszywo

Kruszywo stanowi około 70% objętości betonu, zatem jego właściwości w istotny sposób przekładają się na właściwości gotowych elementów. Właściwości kruszywa wynikają z cech skały macierzystej oraz zastosowanej obróbki mechanicznej w procesie produkcji. Do kruszywa wrażliwych na działanie mrozu zalicza się: łupek, łupek mikowy, łupek ilasto-mikowy, kredę, margiel, iłołupek, porowaty krzemień, zmieniony porowaty bazalt oraz kruszywa luźno scementowane minerałami ilastymi. Zgodnie z zapisami normy PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” kruszywo do betonu przy klasach ekspozycji XF powinno wykazywać odpowiedni stopień mrozoodporności w zależności od warunków środowiskowych zgodnie z PN-EN 12620 „Kruszywa do betonu” (tabela 3).

Tabela 3. Dobór kruszywa w zależności od warunków środowiskowych

| Warunki środowiskowe | Klimat | | |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | śródmorski | atlantycki | kontynentalny* |
| Brak mrozu i sucho | brak wymagań | brak wymagań | brak wymagań |
| Częściowe nasycenie, brak soli | brak wymagań | F ₄ /MS ₃₅ | F ₂ /MS ₂₅ |
| Stałe nasycenie, brak soli | brak wymagań | F ₂ /MS ₂₅ | F ₁ /MS ₁₈ |
| Stałe nasycenie, sól | F ₄ /MS ₃₅ | F ₂ /MS ₂₅ | F ₁ /MS ₁₈ |
| Nawierzchnie lotnisk | F ₂ /MS ₂₅ | F ₁ /MS ₁₈ | F ₁ /MS ₁₈ |

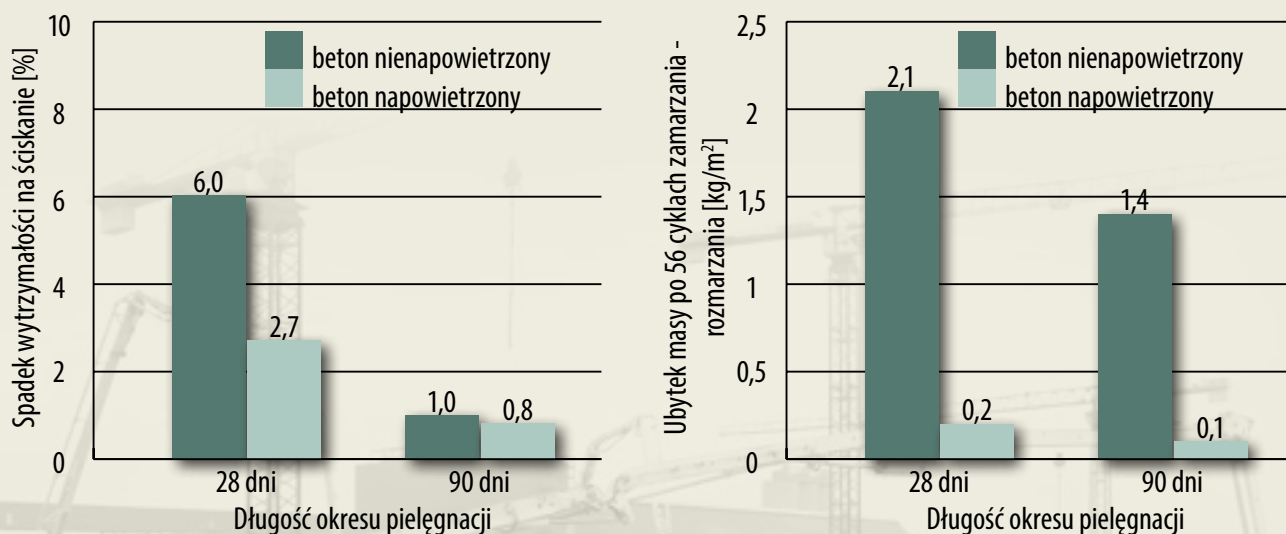
F – mrozoodporność na podstawie ubytku masy po 10 cyklach zamrażania i rozmrażania wg PN-EN 1367-1
 MS – mrozoodporność na podstawie ubytku masy po 5 cyklach zanurzenia w roztworze MgSO₄ i suszeniu w 110°C wg PN-EN 1367-2
 *Kategoria kontynentalny może odnosić się również do Islandii, części Skandynawii i rejonów górskich, w których występują surowe warunki zimowe.

Domieszki napowietrzające

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, co obrazują wyniki badań zamieszczone na rys. 1.

NAJSKUTECZNIEJSZĄ METODĄ OCHRONY BETONU PRZED DESTRUKCYJNYM DZIAŁANIEM MROZU JEST PRAWIDŁOWE NAPOWIETRZENIE

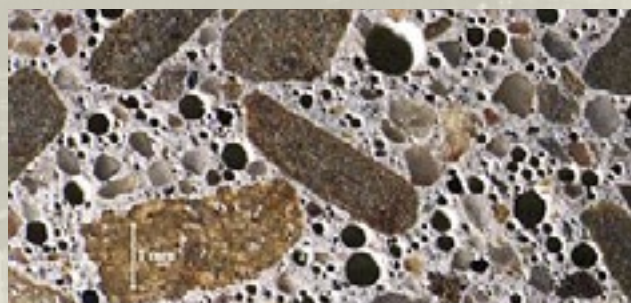
Zgodnie z normą PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”, betony eksploatowane w warunkach opisanych klasami ekspozycji XF2, XF3 i XF4 muszą być napowietrzane. Minimalna zawartość powietrza w betonie powinna wynosić 4%.



Rys. 1. Wpływ napowietrzenia betonu na mrozoodporność: a) zwykłą po 150 cyklach zamrażania-rozmrażania (metodyka badań wg PN-88/B-06250 „Beton zwykły”), b) w obecności soli odladzających po 56 cyklach zamrażania-rozmrażania (metodyka badań wg CEN/TS 12390-9 „Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling”)

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

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 4 i 5.



Rys. 2. Odpowiednie napowietrzenie mieszanki betonowej

Tabela 4. Wymagania dotyczące napowietrzenia betonu

| Norma/Specyfikacja techniczna | Wymaganie | Klasa ekspozycji | | | |
|---|---|---|-------------|-----------|--------|
| | | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 |
| PN-EN 206 | Zawartość powietrza | - | ≥ 4,0% | ≥ 4,0% | ≥ 4,0% |
| OST „Nawierzchnia z betonu cementowego” | Zawartość mikroporów o średnicy <0,3 mm (A ₃₀₀) | Beton nawierzchniowy tylko wg wymagań dla klas ekspozycji XF3 i XF4 | ≥ 1,5% | | |
| | Wskaźnik rozmieszczenia porów L | | ≤ 0,25 mm | ≤ 0,20 mm | |
| | Zawartość powietrza | | wg tabeli 5 | | |
| OST „Beton konstrukcyjny” | Zawartość powietrza | - | wg tabeli 5 | | |

WŁAŚCIWE NAPOWIETRZENIE BETONU POWODUJE POPRAWĘ MROZODPORNOŚCI, ALE JEDNOCZEŚNIE WIĄŻE SIĘ ZE SPADKIEM WYTRZYMAŁOŚCI. ZADANIEM TECHNOLOGA BETONU JEST OKREŚLENIE WŁAŚCIWYCH KOMPROMISÓW.

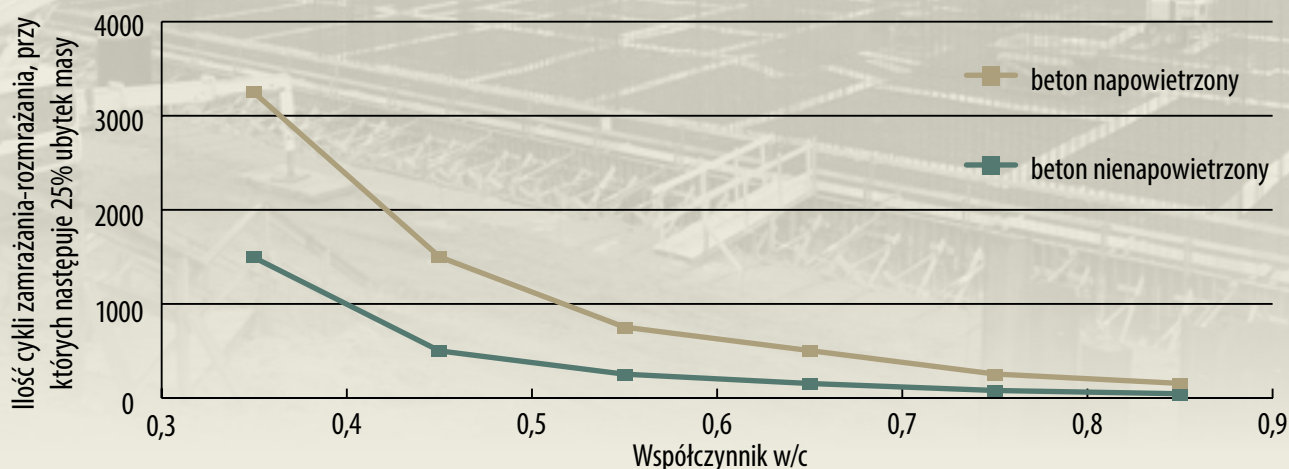
Odpowiednie napowietrzenie betonu uzależnione jest od ilości zaprawy w mieszance betonowej, której ilość wynika z maksymalnego wymiaru kruszywa. Im maksymalny wymiar kruszywa jest mniejszy (im drobniejsze ziarna), tym większe jest zapotrzebowanie na zaprawę. Większa ilość zaprawy w mieszance betonowej wymaga większej ilości pęcherzyków powietrza do zachowania odpowiedniego stopnia mrozoodporności.

Tabela 5. 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 |
| 16,0 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 | |

Współczynnik w/c

Kształtowanie współczynnika w/c na odpowiednim – niskim poziomie, zapewnia korzystny wpływ na mrozoodporność betonu (rys. 3). Zmniejszenie współczynnika w/c w mieszance betonowej skutkuje mniejszą ilością porów kapilarnych w betonie, a więc podwyższeniem trwałości. Norma PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” określa maksymalny współczynnik wodno-cementowy dla betonu w poszczególnych klasach ekspozycji XF (tabela 1).



Rys. 3. Wpływ współczynnika w/c na odporność betonu na cykliczne zamrażanie-rozmrażanie

METODY BADANIA MROZOODPORNOCI BETONU

Obowiązująca norma na beton PN-EN 206 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” nie podaje żadnych informacji, jaką należy przyjąć metodę badawczą do oceny mrozoodporności betonu. W praktyce o doborze metody badawczej decyduje inwestor i projektant obiektu. Najpowszechniej stosowanymi metodami badania mrozoodporności w Polsce są:

- metoda zwykła wg PN-88/B-06250 „Beton zwykły”,
- metoda badania odporności betonu na cykliczne zamrażanie/rozmrażanie z udziałem soli odładzającej wg. PKN-CEN/TS 12390-9 „Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling” tzw. „slab test”.

Metodykę badań oraz kryteria oceny mrozoodporności według podanych metod opisano w karcie D1 „Metody badań mrozoodporności”.



Rys. 4. Uszkodzenia betonu na skutek działania mrozu.