

# Trwałość betonu w konstrukcji w świetle wymagań normowych klas ekspozycji

## Durability of concrete in structures and standard exposure class requirements

dr inż. Maciej Gruszczyński (ORCID: 0000-0002-0445-5745), Politechnika Krakowska, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce, dr inż. Małgorzata Lenart (ORCID: 0000-0002-0698-4835), Politechnika Krakowska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1300

**Streszczenie:** Założona trwałość betonu według normy PN-EN 206 wynosi 50 lat. Jest to okres, w którym można bezproblemowo eksploatować konstrukcję betonową/żelbetonową bez większych remontów, a jedynie stosując jej bieżącą konserwację. Uwzględniając ten założony okres trwałości, klasy ekspozycji, wyspecyfikowane w PN-EN 206 oraz w krajowym uzupełnieniu PN-B-06265, przedstawiają wymagania w stosunku do składu betonu, jak i jego właściwości. W artykule omówiono wymagania materiałowe określone w poszczególnych klasach ekspozycji, skupiając się na klasie ekspozycji XF związanej ze znakozmieniennym oddziaływaniem środowiska.

**Słowa kluczowe:** klasy ekspozycji, trwałość, mrozoodporność, korozja, beton.

**Abstract:** The assumed durability of concrete according to the PN-EN 206 standard is 50 years. This is the period during which the concrete or reinforced concrete structure can be used without any problems, without major renovations and only with ongoing maintenance. Taking into account this durability period, the exposure classes specified in PN-EN 206 and in the national supplement PN-B-06265 present the requirements for the composition of concrete and its properties. The article discusses the material requirements specified in individual exposure classes focusing on the XF exposure class related to freezing and thawing environmental influences.

**Keywords:** exposure classes, durability, frost resistance, corrosion, concrete.

## 1. Wprowadzenie

Podstawą projektowania i wykonania konstrukcji jest zapewnienie, aby spełniała ona swoje funkcje, czyli zachowała nośność oraz cechy użytkowe przez cały założony okres użytkowania [1]. Jeszcze w połowie ubiegłego wieku istniało przekonanie, że beton wytrzymały to również beton trwały. Współcześnie wiadomo, że nie tylko wytrzymałość betonu wpływa na jego trwałość [2]. Powszechne jest podejście, zgodne z Eurokodami, w którym już na etapie projektowania bierze się pod uwagę czynniki wpływające na trwałość betonu [3]. Norma PN-EN 206 wyraźnie zaznacza, że beton w konstrukcji, a tym samym sama konstrukcja będzie trwała w konkretnym, założonym środowisku, jeśli:

- założono w trakcie projektowania właściwą klasę ekspozycji,
- wykonano konstrukcję, w której jest zapewniona minimalna betonowa otulina zbrojenia zgodna z odpowiednim Eurokodem,
- beton został prawidłowo wykonany, ułożony, zagęszczony i pielęgnowany oraz
- zapewnione zostało odpowiednie bieżące utrzymanie betonu i konstrukcji w założonym okresie użytkowania.

W niniejszym artykule szczegółowo zostaną przedstawione wymagania odnoszące się do składu i właściwości betonu

wynikające z oddziaływania środowiska zewnętrznego na beton, które w normie PN-EN 206 zostały pogrupowane w odpowiednie klasy ekspozycji. Wymagania te zostaną uzupełnione o klasę ekspozycji przedstawioną w krajowym uzupełnieniu, czyli w normie PN-B-06265.

## 2. Przyczyny niedostatecznej trwałości a klasy ekspozycji

Destrukcja betonu może być spowodowana różnorodnymi czynnikami zarówno zewnętrznymi, jak i wewnętrznymi wynikającymi z budowy samego betonu. Te różnorodne oddziaływania można podzielić na oddziaływania o charakterze chemicznym, fizycznym lub mechanicznym.

Do chemicznych przyczyn możemy zaliczyć agresywne oddziaływania różnorodnych związków chemicznych czy jonów z nich pochodzących, takich jak siarczany czy chlorki, ale również agresywne oddziaływania cieczy i gazów pochodzenia naturalnego bądź przemysłowego. Należy również tu wspomnieć o szkodliwych reakcjach alkalia-krzemionka czy alkalia-węglany [4].

Z kolei fizyczne, destrukcyjne, oddziaływania na beton związane są przede wszystkim z naprzemiennym zamrażaniem i rozmrażaniem betonu, powiązaniem często z dodatkowym oddziaływaniem soli odładzających [5]. Do fizycznych

przyczyn niszczenia należy również zaliczyć oddziaływanie wysokiej temperatury czy też skutki różnic w rozszerzalności cieplnej kruszywa i matrycy cementowej.

Szkodliwe oddziaływania mechaniczne związane są na przykład z udarem, erozją czy ścieraniem [6]. Ten ostatni przypadek jest rozpatrywany w klasie ekspozycji dodanej przez krajowe uzupełnienie, czyli normę PN-B-06265.

Warto zauważyć, iż często zdarza się, że wspomniane oddziaływania występują łącznie i mają charakter synergiczny. Ponadto oddziaływania fizyczne i chemiczne związane są z transportem cieczy poprzez beton, za który, oprócz czynników zewnętrznych, odpowiada struktura matrycy cementowej [7]. Stąd istotny jest ilościowy i jakościowy skład mieszanki betonowej, a co za tym idzie proporcje poszczególnych składników, na przykład współczynnika wodno-cementowego [8].

Klasy ekspozycji wyspecyfikowane w normie PN-EN 206 obejmują następujące, niekorzystne, oddziaływania środowiskowe:

- korozję spowodowaną karbonatyzacją (oznaczenie XC),
- korozję spowodowaną oddziaływaniami chlorków: nie pochodzących z wody morskiej (XD) lub pochodzących z wody morskiej (XS),
- agresję chemiczną (XA),
- agresję spowodowaną zamrażaniem-rozmrażaniem z udziałem lub bez udziału środków odładzających (XF).

Natomiast norma PN-B-06265 dodała klasę ekspozycji związaną ze ścieraniem (XM).

Jak można zauważyć klasy ekspozycji nie obejmują wszystkich możliwych szkodliwych oddziaływań na beton. W takim przypadku projektant powinien przyjąć najbardziej zbliżoną klasę ekspozycji.

### 3. Wymagania klas ekspozycji odnoszące się do składu i właściwości betonu

Jak już wspomniano powyżej, na trwałość betonu ma wpływ nie tylko jego wytrzymałość, ale także ilościowy i jakościowy jego skład. Norma PN-EN 206 wyspecyfikowała cztery takie podstawowe parametry związane z trwałością betonu:

- minimalną klasę wytrzymałości betonu,
- maksymalny współczynnik wodno-cementowy,
- minimalną zawartość cementu oraz
- minimalne napowietrzenie w klasach ekspozycji XF2 do XF4.

Na szczególną uwagę zasługują również tzw. „inne wymagania”, które występują w wybranych klasach ekspozycji a biorąc pod uwagę specyfikę danego środowiska i jego oddziaływania na beton.

#### 3.1. „Inne wymagania”

„Inne wymagania” odnoszą się do wymagań w stosunku do kruszyw stosowanych w klasach ekspozycji: XF1 do XF4 oraz XM1 do XM3, jak również cementów stosowanych

w klasach XA2 do XA3 związanych z agresją chemiczną środowiska na beton. Dodatkowo we wszystkich klasach ekspozycji związanych ze ścieraniem wymagana jest właściwa pielęgnacja i obróbka powierzchni betonu.

Norma PN-EN 206 specyfikuje, że w klasach spowodowanych agresją zamrażania – rozmrażania (XF1–XF4) należy zastosować kruszywo o odpowiedniej mrozoodporności zgodnie z PN-EN 12620. Jednakże brakuje tu doszczegółowienia, co oznacza „odpowiednia mrozoodporność”. Krajowe uzupełnienie usuwa tę nieścisłość podając, że w klasie XF1 należy stosować kruszywo kategorii F<sub>2</sub>, a w klasach XF2 i XF3 kruszywo kategorii F<sub>1</sub>. Kategoria F<sub>1</sub> oznacza, że procentowy ubytek masy kruszywa po cyklach zamrażania i rozmrażania, oznaczony zgodnie z normą PN-EN 1367-1, powinien być nie większy niż 1%. Analogicznie w przypadku kategorii F<sub>2</sub> ubytek ten powinien być nie większy niż 2%. Badanie kruszywa zgodnie z PN-EN 1367-1 polega na podaniu kruszywa 10 cyklom zamrażania w wodzie w temperaturze -17,5°C i rozmrażania również w wodzie w temperaturze +20°C. Natomiast w klasie ekspozycji XF4 należy stosować kruszywo (F<sub>NaCl</sub>), które przebadano zgodnie z normą PN-EN 1367-6, czyli poddano również 10 cyklom zamrażania-rozmrażania w 1% roztworze solanki (NaCl) i zadeklarowano odpowiednią wartość procentowego ubytku masy, wynoszącą w tym przypadku maksymalnie 6%.

Z kolei w wszystkich klasach ekspozycji związanych ze ścieraniem (XM) należy zastosować kruszywo o znanym i zbadanym współczynniku ścieralności mikro-Devala  $M_{DE}$  (im niższa wartość tego współczynnika, tym wyższa odporność na ścieranie). Badanie to przeprowadza się zgodnie z procedurą przedstawioną w normie PN-EN 1097-1 dla poszczególnych frakcji 2/8 oraz 8/16. W przypadku klasy XM1 współczynnik  $M_{DE}$  powinien być znany i zadeklarowany przez dostawcę kruszywa, natomiast w klasach XM2 i XM3 wielkość dopuszczalnego współczynnika jest uzależniona od frakcji. I tak dla frakcji 2/8  $M_{DE}$  powinien być nie większy niż 25 w klasie ekspozycji XM2 oraz 20 w klasie XM3, podczas, gdy dla frakcji 8/16 współczynnik mikro-Devala nie może być większy niż 20 w klasie XM2 oraz 15 w klasie XM3.

W związku z agresją chemiczną związaną ze średnim i wysokim natężeniem siarczanów ( $SO_4^{2-}$ ) występujących w klasach ekspozycji XA2 do ZA3 wymagany jest cement odporny na siarczany. Krajowe uzupełnienie PN-B-06265 uściśla, iż chodzi o cementy odporne na siarczany oznaczone SR zgodne z normą PN-EN 197-1 oraz HSR zgodne z normą PN-B-19707. Jak wyspecyfikowano to w normie PN-EN 197-1 oznakowanie SR dotyczy tylko cementów hutniczych odpornych na siarczany, czyli CEM III/B-SR i CEM III/C-SR oraz cementów pucolanowych odpornych na siarczany, czyli CEM IV/A-SR i CEM IV/B-SR. Z kolei cementy z członem „HSR” w nazwie, to cementy powszechnego użytku spełniające dodatkowo wymagania dotyczące odporności na siarczany a nie uwzględnione w grupie cementów SR, na przykład: CEM II/A-V, CEM II/A-S, CEM V/A(S-V).

### 3.2. Wymagane minimalne napowietrzenie w klasach ekspozycji XF2 do XF4

Wymagania związane z trwałością betonu na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie (klasy ekspozycji XF1 do XF4) są kluczowe dla betonów narażonych na bezpośrednie oddziaływanie ujemnych temperatur (mrozu) i/lub środków odladzających. Szczególnym problemem jest fakt, że beton – jako materiał kapilarno-porowaty – podatny jest na destrukcję mrozową w trakcie cykli zamrażania-odmrażania. Jednocześnie należy podkreślić, że w strefie klimatu umiarkowanego, w której położona jest Polska, roczna ilość przejść przez temperaturę 0°C waha się w granicach 150-200. Z tej też przyczyny do zagadnienia trwałości mrozowej norma EN 206 oraz krajowe uzupełnienie PN-B-06265 podchodzą niezwykle skrupulatnie.

Podstawową grupę czynników materiałowych – niezbędnych do zapewnienia mrozoodporności betonu – przedstawiono w punkcie 3.1. niniejszego artykułu. Zalicza się do nich m.in. konieczność stosowania kruszyw grubych o odpowiedniej kategorii mrozoodporności ( $F_1$ ,  $F_2$  lub  $F_{NaCl}$  w przypadku oddziaływania soli).

W celu zredukowania porowatości kapilarnej betonu w klasie ekspozycji XF niezbędne jest zmniejszenie wskaźnika w/c poniżej wartości 0,55 dla XF1 i XF2, 0,50 dla XF3 i 0,45 dla XF4. Ponadto konieczne jest stosowanie cementu w ilości minimum 300–340 kg/m<sup>3</sup>. Co ważne, norma PN-B-06265 nie zakazuje stosowania do betonu w klasie ekspozycji XF dodatku popiołu lotnego (np. w celu poprawy urabialności, pompowalności czy doszczelnienia struktury), ale nie dopuszcza do stosowania koncepcji współczynnika  $k$  do wyliczenia maksymalnej wartości współczynnika w/c i określenia zawartości cementu. Zatem nie można w klasie ekspozycji XF przeliczać dodatku popiołu lotnego jako ekwiwalentu cementu.

W przypadku klas ekspozycji XF2 do XF4, w celu zapewnienia trwałości betonu – oprócz konieczności spełnienia wyżej wymienionych czynników dotyczących jakości surowców i składu ilościowego mieszanki – konieczne jest jej prawidłowe napowietrzenie. Norma PN-EN 206 wymaga poziomu napowietrzenia betonu w ilości 4% jego objętości. Jednak jak pokazuje wieloletnia praktyka, jest to podejście niepoprawne, ponieważ istotny jest stopień napowietrzenia matrycy betonu, a ten z kolei zależy od ilości i wielkości kruszywa grubego. Z tej też przyczyny w krajowym uzupełnieniu PN-B-06265 uzależniono minimalną zawartość powietrza w betonie od wymiaru zastosowanego kruszywa (tab. 1).

Zróznicowanie procentowej zawartości powietrza w mieszance w zależności od wymiaru ziarna kruszywa związane jest z koniecznością zapewnienia odpowiedniego poziomu napowietrzenia zaczynu cementowego. Stwierdzono w praktyce, że minimalna objętość powietrza gwarantująca mrozoodporność wynosi: 20% w stosunku do objętości zaczynu lub 9% w stosunku do objętości zaprawy.

**Tabela 1.** Zalecana zawartość powietrza w mieszance dla betonów w klasie ekspozycji XF

Maksymalny wymiar ziarna kruszywa, [mm]	Minimalna zawartość powietrza wg PN-B-06265 [%]
8,0	5,5
16,0	4,5
32,0	4,0
63,0	3,5

Zróznicowanie zawartości powietrza w mieszance w zależności od wymiaru maksymalnego ziarna kruszywa podyktowane jest tym, że jednostkowa objętość zaczynu zwiększa się ze zmniejszaniem górnej granicy uziarnienia, a tym samym wzrasta ilość powietrza w stosunku do objętości mieszanki betonowej.

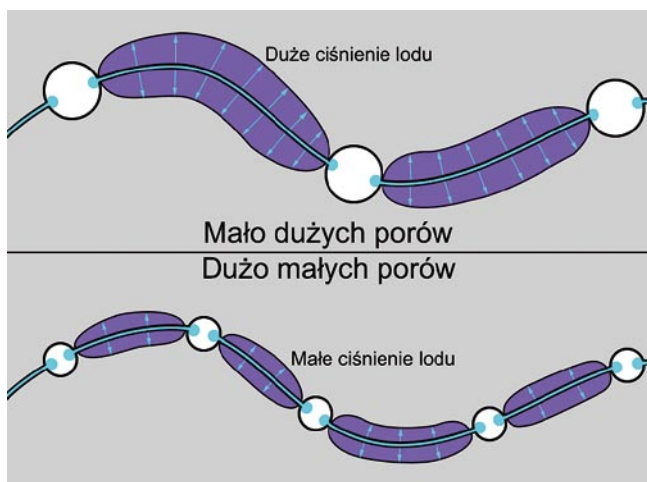
### 4. Napowietrzenie mieszanki betonowej a mrozoodporność betonu

Napowietrzenie mieszanki betonowej następuje w wyniku zadziałania odpowiedniej domieszki napowietrzającej [9], dodawanej najczęściej wraz z wodą zarobową bezpośrednio do betoniarki lub rzadziej przez zastosowanie odpowiedniego cementu specjalnego. Ilość wytworzonego w ten sposób powietrza jest niezależna od objętości powietrza schwytanego w sposób przypadkowy i zależy głównie od poziomu dozowania domieszki napowietrzającej. Każda domieszka posiada krytyczny poziom dozowania, powyżej którego nie następuje dalsze zwiększanie objętości wytworzonych porów.

Prawidłowe napowietrzenie mieszanki polega na wytworzeniu odpowiedniej ilości pustek powietrznych o optymalnej strukturze i stabilności. Ta sama ilość domieszki napowietrzającej może zadziałać bardzo różnie w zależności od szeregu czynników, jak np.: proporcji i jakości składników, konsystencji, temperatury, czasu i sposobu mieszania oraz zagęszczania [10].

Woda zamarzając, zwiększa swoją objętość o nieco ponad 9%. Sam mechanizm napowietrzenia opiera się zatem na zjawisku polegającym na tym, że jeżeli nadmiar zamarzającej wody zamieniającej się w lód może przedostać się do przylegających pustek, wypełnionych powietrzem, to wtedy zniszczenie betonu nie nastąpi. To rozumowanie stanowi ideę napowietrzania betonu, której technika polega na wprowadzeniu do mieszanki betonowej powietrza w postaci równomiernie rozmieszczonych porów o średnicach od 10 do 1000  $\mu\text{m}$ . W warunkach idealnych wprowadzone pory powinny być możliwie małe (mniejsze niż 300  $\mu\text{m}$ ) i równo rozłożone w masie betonu [11]. Oczywiście jest, że droga transportu wody między porami będzie znacznie krótsza, gdy duże naturalnego pochodzenia pustki, zostaną zastąpione znaczną ilością małych, powstałych w wyniku napowietrzenia. W ten

też sposób znacznej redukcji ulegają naprężenia powstające przy ekspansji zamarzającej wody (rys. 1).



**Rys. 1.** Wpływ wielkości porów powietrza na wielkość ciśnienia wywieranego na beton przez zamarzającą wodę

Woda swobodna w porach kapilarnych przemieszcza się na skutek ciśnienia kapilarnego, którego wielkość jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości przekroju kapilary  $r$ . Oznacza to, że przy wylocie do pęcherzyka powietrza o średnicy  $R$ , ciśnienie kapilarne gwałtownie spada ( $1000$  do  $10\,000$  razy  $R \gg r$ ). Ruch wody zatrzymuje się i wszystkie pory kapilarne, otaczające pęcherzyk wypełniają się wodą. W trakcie zamrażania puste pory powietrzne przejmują z otaczających kapilar nadmiar zamarzającej wody, zabezpieczając beton przed nadmiernym wzrostem ciśnień hydraulicznych. Podczas rozmrażania woda z pęcherzyków ponownie jest odsysana do porów kapilarnych. Każda pustka (pęcherzyk) zabezpiecza jedynie cienką, otaczającą ją powłokę [10, 11]. Przy prawidłowym napowietrzeniu powłoki te powinny wzajemnie nachodzić na siebie, aby zabezpieczyć całą przestrzeń betonu przed niszczącym działaniem mrozu. Należy zaznaczyć, że w celu uzyskania betonu w pełni odpornego na destrukcyjne działanie środków odladzających i znakozmiennych temperatur, oprócz napowietrzenia, należy dążyć do maksymalnej redukcji ilości otwartych porów kapilarnych poprzez zmniejszanie wartości wskaźnika  $w/c$  poniżej  $0,50$ . Kontrola procesu napowietrzenia betonu powinna przebiegać dwuetapowo i obejmować:

- pomiar całkowitej zawartości powietrza w mieszance betonowej,
- określenie wielkości współczynnika dyspersji porowatości i wskaźnika A300.

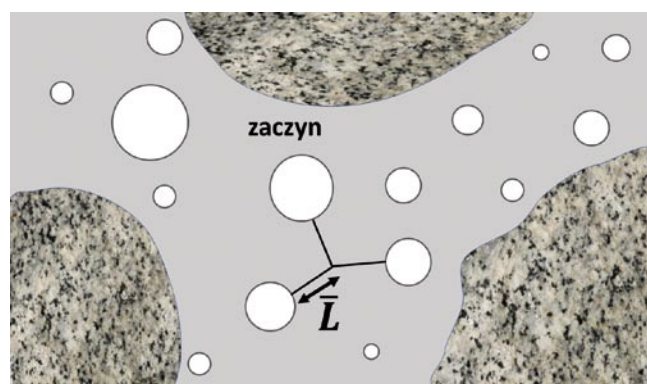
W praktyce inżynierskiej sprawdzanie poprawności napowietrzenia ogranicza się zazwyczaj tylko do pomiaru zawartości powietrza w świeżej mieszance betonowej według PN-EN 12350-7: Badania mieszanki betonowej – Część 7: Badanie zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe.

Metoda ciśnieniowa określania zawartości powietrza w świeżej mieszance betonowej oparta jest na prawie Boyle'a-

Mariotte'a, które opisuje zależność między objętością powietrza a przyłożonym ciśnieniem (przy stałej temperaturze). W przypadku stosowania tej metody nie jest potrzebna znajomość proporcji składników badanej mieszanki.

Samo kontrolowanie procesu napowietrzenia betonu, tylko za pomocą metody ciśnieniowej jest niewystarczające dlatego, że wynikiem badania jest jedynie znajomość całkowitej zawartości powietrza w mieszance. Czyli będącego efektem zadziałania domieszki napowietrzającej, jak też wprowadzonego przypadkowo w trakcie mieszania składników mieszanki betonowej, bądź też będącego skutkiem niedogęszczenia betonu. Niewiadomą pozostaje struktura porowatości, tj. przeciętny wymiar pęcherzyków powietrza i ich rozmieszczenie w masie betonu. Z tego też względu zasadne jest kontrolowanie tego procesu poprzez badanie współczynnika dyspersji porowatości i wskaźnika mikroporowatości A300.

Jako pierwszy pojęcie współczynnika dyspersji porowatości wprowadził Powers. Stwierdził on, że każdy pęcherzyk powietrza chroni jedynie cienką otaczającą go przestrzeń (matrycę betonu). Te zabezpieczające powłoki, aby skutecznie chronić beton powinny wzajemnie nakładać się na siebie. Tak więc podstawowym miernikiem poprawności napowietrzenia betonu jest minimalizacja drogi, jaką musi w zaczynie pokonywać zamarzająca woda. Zatem idealne napowietrzenie betonu powinno charakteryzować się wprowadzeniem założonej ilości powietrza w postaci ekstremalnie małych, gęsto rozmieszczonych porów [10, 11]. Współczynnik dyspersji porowatości  $L$  definiowany jest jako średnia odległość dowolnego punktu położonego w zaczynie cementowym od brzegu najbliższego pęcherzyka powietrza. W praktyce współczynnik wyznacza się jako połowę przeciętnej odległości między dwoma najbliższymi porami (rys. 2).



**Rys. 2.** Fizyczna interpretacja współczynnika dyspersji porowatości  $L$

Powers wyznaczył krytyczną wartość współczynnika  $L$ , tzn. taką, która zabezpiecza beton przed niszczącym działaniem mrozu i powinna ona wynosić nie więcej niż  $0,25$  mm. Współczesne normy i wytyczne zalecają przyjmować jego wartość w granicach  $0,18$ – $0,28$  mm (np. według wytycznych GDD-KiA dla betonu nawierzchniowego  $L < 0,20$  mm).

Założonym efektem stosowania napowietrzenia betonu jest zwiększenie jego odporności na działanie zmiennych temperatur i poprzez ograniczenie chłonności kapilar, zwiększenie odporności na destrukcyjne działanie środków odladzających, stosowanych przy zimowym utrzymaniu nawierzchni drogowych. Jednak, jak pokazuje praktyka istnieją też inne, nie zawsze korzystne efekty napowietrzenia betonu.

Pustki powietrzne będące efektem zadziałania domieszki napowietrzającej jak też będące skutkiem niepełnego zagęszczenia betonu powodują redukcje jego wytrzymałości na ścislenie. Zależność ta ma charakter liniowy. Jak pokazuje praktyka, przeciętny ubytek wytrzymałości w zależności od rodzaju zastosowanej domieszki, jakości składników oraz zabiegów technologicznych waha się w granicach 4,5–6% na każdy 1% zawartego w mieszance powietrza. Badania dowodzą, że wpływ napowietrzenia na wytrzymałość na rozciąganie betonu jest znikomy, co w przypadku budowy nawierzchni drogowych czy lotniskowych ma bardzo duże znaczenie ze względu na charakter ich pracy statycznej (płyty na sprężystym podłożu).

Korzystnym efektem napowietrzenia jest poprawa urabialności i kohezji mieszanki betonowej, co związane jest ze zwiększeniem lepkości i objętości zaczynu cementowego. Innym powodem poprawy urabialności jest fakt, że wprowadzone do mieszanki kuliste pęcherzyki powietrza zachowują się jak nieważkie ziarna piasku o bardzo małym tarciu powierzchniowym i dużej elastyczności. Dlatego też napowietrzona mieszanka zachowuje się tak, jakby miała nadmiar piasku, co umożliwia redukcję ilości wody zarobowej, a przez to kompensuje część ubytku wytrzymałości, wywołanego obecnością porów powietrza. Poprawa urabialności powoduje, że mieszanka układa się łatwiej i szczelniej. Podczas jej wibrowania stawia ona znacznie mniejszy opór, dzięki czemu zasięg działania wibratora ulega powiększeniu.

Innym korzystnym efektem stosowania napowietrzenia betonu jest ograniczenie wydzielania się na powierzchni mleczka cementowego. Pęcherzyki powietrza zmniejszają segregację cząstek stałych mieszanki a co z tym związane wydzielanie się wody z betonu. Skutkuje to poprawą mrozoodporności i zwiększeniem odporności na działanie środków odladzających górnej powierzchni płyty betonowej. Powietrze wprowadzone do mieszanki powoduje, że staje się ona bardziej odporna na segregację w czasie mieszania i transportu. Napowietrzanie nie zabezpiecza jednak przed segregacją w wyniku przewibrowania, ponieważ w takim przypadku z mieszanki gwałtownie uciekają wytworzone pęcherzyki powietrza.

## 5. Podsumowanie

Podsumowując wymagania zawarte w normie PN-EN 206 oraz w krajowym uzupełnieniu PN-B-06265, można zauważyć, że poprzez wprowadzenie klas ekspozycji nadzoruje się

trwałość konstrukcji wykonanych z betonu. Przywołane dokumenty oparte są na wieloletniej wiedzy i doświadczeniu, w tym obserwacji zachowania betonu eksploatowanego w różnorodnych środowiskach.

Co ważne, w przedmiotowych normach, w jasny sposób przedstawiono narzędzie pozwalające na określenie składu praktycznie każdego betonu, poprzez zdefiniowanie minimalnych wymagań materiałowo-technologicznych. Takie podejście do zagadnienia trwałości konstrukcji żelbetowej, pozwala projektantowi, wykonawcy i technologowi betonu zaprojektować i wykonać trwały beton, „pracujący” w założonych wcześniej klasach ekspozycji.

Najbardziej wymagającą klasą ekspozycji pozostaje klasa XF – tj. mrozoodporność betonu oraz odporność na oddziaływanie soli odladzających. Jednakże poprzez ścisłe przestrzeganie zaleceń zawartych, zwłaszcza w krajowym uzupełnieniu PN-B-06265, możliwe jest wykonanie betonu odpornego na działanie mrozu przez założony, określony czas eksploatacji.

Co ważne, wymagania zawarte w omawianych normach są na tyle elastyczne, że pozostawiają projektantowi betonu wiele swobody w doborze jakościowym i ilościowym surowców do produkcji. Jednakże, aby zapewnić trwałość konstrukcji żelbetowej nie należy pomijać wymagań zawartych w przedmiotowych normach a odnoszących się do pozostałych uczestników procesu budowlanego np. konieczność prowadzenia starannej pielęgnacji wilgotnościowej przez wykonawcę prac betonowych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrade C., Concrete structures: on-site electrochemical techniques and concrete resistivity to predict service life. P. 2, Service life of structural concrete, present and future challenges, Ochrona przed korozją, tom 62, 2/2019, str. 36–40
- [2] Baloch W. L., Siad H., Lachemi M., Sahmaran M., A review on the durability of concrete-to-concrete bond in recent rehabilitated structures, Journal of Building Engineering, 2021, tom 44, str. 103315
- [3] Sanjery K. A. A., Rahman N. A., Baharudin K. S., Aspects of Reliability and Quality Management of Buildings in Accordance with Eurocode, Procedia Engineering, tom 20, 2011, str. 166–173
- [4] Tang S. W., Yao Y., Andrade C., Li Z. J., Recent durability studies on concrete structure, Cement and Concrete Research, 2015, tom 78, A, str. 143–154
- [5] Gruszczyński M., Aleksion M., Paszek U., Cement-polymer concrete used to repair the offshore breakwater at the Port of Gdynia, tom 57, 12/2014, str. 466–474
- [6] Jacobsen S., Scherer G. W., Schulson E. M., Concrete-ice abrasion mechanics, Cement and Concrete Research, tom 73, 2015, str. 79–95
- [7] Touil B., Ghomari F., Khelidj A., Bonnet S., Amiri O., Durability assessment of the oldest concrete structure in the Mediterranean coastline: The Ghazaouet harbour, Marine Structures, 2022, tom 81, str. 103121
- [8] Lenart M., Gruszczyński M., Paszek U., Wpływ dodatków polimerowych na skurcz kompozytów cementowych, tom 60, 1/2017, str. 7–9
- [9] Łukowski P., Wiliński D., Współczesne domieszki napowietrzające do betonu, Materiały Budowlane 10/2013, str. 24–25
- [10] Şahin R., Polat R., İçelli O., Çelik C., Determination of transmission factors of concretes with different water/cement ratio, curing condition, and dosage of cement and air entraining agent, Annals of Nuclear Energy, 2011, tom 38, N.7, str. 1505–1511
- [11] Şahin Y., Akkaya Y., Boylu F., Taşdemir M. A., Characterization of air entraining admixtures in concrete using surface tension measurements, Cement and Concrete Composites, 2017, tom 82, str. 95–104