

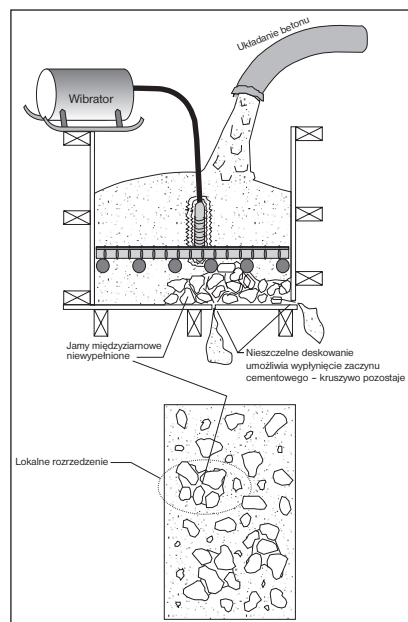
Trwałość konstrukcji a jakość betonu

Podstawę sformułowania europejskiej normy EN 206-1 „Beton. Wymagania, wykonywanie, produkcja i kryteria zgodności“ stanowi podsumowanie stanu wiedzy na temat trwałości betonu w różnych środowiskach i właśnie zapewnienie trwałości stanowi myśl przewodnią tej normy. W pracach nad normą oparto się z jednej strony na obserwacjach dotyczących trudności ze ścisłym powiązaniem wyników badań laboratoryjnych z rzeczywistą pracą betonu w konstrukcji, z drugiej zaś na ogromnym zbiorze doświadczeń praktycznych w zakresie zagadnienia „jak projektować beton, aby był on trwały“ [1].

Założenia i normowe wymagania trwałości
W normie EN 206 sformułowano wymagania materiałowo-technologiczne przy założeniu co najmniej 50-letniego okresu użytkowania konstrukcji. Edward Kon – przewodniczący Normalizacyjnej Komisji Problemowej „Beton“ (NKP 274) słusznie podkreśla, iż przyjęte w normie podejście

Tabl. 1. Klasy środowiska wg prEN 206-1:1995-25 [2]

Klasa	Charakterystyka środowiska
1. Zagrożenie korozyjne nie występuje	
X0	Dla betonu niezbrojonego i bez innych wstawek metalowych: we wszystkich warunkach z wyjątkiem korozji mrozowej i chemicznej Dla żelbetu i betonu z innymi wstawkami metalowymi: w warunkach bardzo suchych
2. Korozja spowodowana karbonatyzacją	
Dla żelbetu lub betonu z innymi wstawkami metalowymi, pod działaniem atmosfery i wilgoci	
XC1	W warunkach suchych lub przy stałym zawilgoceniu
XC2	W warunkach wilgotnych, przy sporadycznym osuszaniu
XC3	W warunkach umiarkowanej wilgotności
XC4	W warunkach cyklicznego zawilgocenia i osuszania
UWAGA: Warunki wilgotnościowe odnoszą się do otuliny betonowej, jednakże w wielu przypadkach odpowiadają one otaczającemu środowisku; odpowiednia może być wtedy klasyfikacja środowisk zewnętrznych. Przypadek taki nie zachodzi, jeśli istnieje bariera między betonem a środowiskiem	
3. Korozja spowodowana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej	
Dla żelbetu lub betonu z innymi wstawkami metalowymi, podlegającego działaniu wody zawierającej chlorki, w tym sole odładzające, ze źródeł innych niż woda morska	
XD1	W warunkach umiarkowanej wilgotności
XD2	W warunkach wilgotnych, przy sporadycznym osuszaniu
XD3	W warunkach cyklicznego zawilgocenia i osuszania
4. Korozja spowodowana chlorkami z wody morskiej	
Dla żelbetu lub betonu z innymi wstawkami metalowymi, podlegającego działaniu chlorków pochodzących z wody morskiej	
XS1	W warunkach działania soli z powietrza, bez bezpośredniego kontaktu z wodą morską
XS2	W warunkach stałego zanurzenia
XS3	W warunkach przyływu lub przyboju
5. Korozja mrozowa	
Dla betonu podlegającego zamrażaniu i rozmrażaniu w warunkach zawilgocenia	
XF1	W warunkach umiarkowanego nasycenia wodą nie zawierającą środków odładzających
XF2	W warunkach umiarkowanego nasycenia wodą zawierającą środki odładzające
XF3	W warunkach dużego nasycenia wodą nie zawierającą środków odładzających
XF4	W warunkach umiarkowanego nasycenia wodą zawierającą środki odładzające lub wodą morską
6. Korozja chemiczna	
Dla betonu podlegającego agresji chemicznej pochodzącej z naturalnych gruntów lub wód gruntowych (por. tabl. 2). Klasyfikacja wód morskich zależy od położenia geograficznego miejsca zastosowania betonu	
XA1	W warunkach działania środowiska o słabym stopniu agresywności wg tab. 2
XA2	W warunkach działania środowiska o średnim stopniu agresywności wg tab. 2
XA3	W warunkach działania środowiska o silnym stopniu agresywności wg tab. 2
UWAGA: dodatkowe analizy mogą być niezbędne dla ustalenia klasyfikacji, jeżeli: - przekroczone są zakresy podane w tabl. 2 - występują inne agresywne czynniki chemiczne - występuje chemiczne skażenie gruntu lub wody - występuje przepływ wody o dużej szybkości	



Rys. 1. Poglądowy mechanizm kształtowania się lokalnych rozrzedzeń struktury betonu

jest proste i technicznie oczywiste. Podstawę stanowi określenie warunków użytkowania – klasy ekspozycji betonu (tabl. 1). Norma w zależności od rodzaju zagrożenia betonu rozróżnia 6 klas, w których zagrożenie korozją:

- nie występuje
- stanowi karbonatyzacja
- stanowią chlorki pochodzące z wody morskiej
- stanowią inne chlorki
- stanowi działanie mrozu
- stanowi agresja chemiczna.

Ponadto, wyróżnia się podklasy w zależności od stopnia zawilgocenia, a w odniesieniu do korozji chemicznej rozróżnia się różne agresywne oddziaływanie wody i gruntów (tabl. 2).

W zależności od przewidywanej klasy ekspozycji betonu dobieramy skład, klasę i strukturę betonu (tabl. 3). Wymagania mogą być w niektórych przypadkach zaostrzone, na przykład przy nietypowym składzie betonu lub przy zmniejszonej w stosunku do wymagań grubości otulenia, albo też przy wymaganiu dłuższej pracy konstrukcji.

Dobiera się również grubość otulenia zbrojenia, a w niektórych przypadkach także ochronę materiałowo-strukturalną i ochronę powierzchniową. Norma definiuje także dopuszczalne rozwarście rysy i maksymalny

współczynnik wodno-cementowy, a w niektórych przypadkach także wymagana wodoszczelność (tabl. 4).

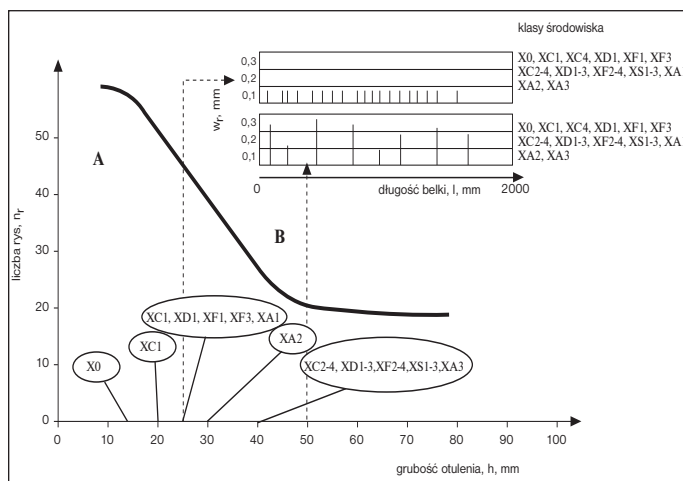
Jakość wykonania

Warunkiem zapewnienia trwałości jest wykonanie betonu zgodnie ze sztuką inżynierską [1]. Zapewnienie jakości betonu na kolejnych etapach jego wytwarzania stanowi równoległą obok trwałości przesłankę normy EN 206. Odrębny rozdział normy poświęcony jest jakości betonu towarowego. W praktyce szereg czynników może powodować obniżenie niezawodności wybranego rozwiązania materiałowo-technologicznego. Według J. Szwabowskiego [5] podczas transportu samochodowego zmiany w mieszance betonowej są powodowane przez upływ czasu, wstrząsy i mieszanie. Do zjawisk negatywnych wywołanych przez dwa pierwsze czynniki należy między innymi:

- osiadanie i segregacja ziaren kruzywa

- redukcja wskaźnika wodno-cementowego w/c w wyniku parowania.

Mieszanie łądzi do pewnego stopnia te negatywne skutki, niemniej zawsze można się spodziewać obniżenia urabialności. Może to skutkować z kolei obniżeniem jakości betonu – rozrzedzeniem struktury. Do czynników sprzyjających takim niekorzystnym zjawiskom należy zaliczyć między innymi (rys. 1):



Rys. 2. Oszacowanie liczby rys (nr) na długości belki (300 x 600 x 6000 mm, zbrojenie 3 x Ø20) wg normy brytyjskiej BS 8110:P1:1985 [8] w zależności od grubości otulenia zbrojenia (h). Orientacyjne rozmieszczenie rys [9] i ich szerokość (wr) dla grubości otulenia h=25 mm (A) i h=50 mm (B). Zaznaczono dopuszczalne szerokości rys wg PN-B-03264:1999 [4] i wymagane grubości otulenia wg PN-ENV 206:1990 [3]

Tabl. 2. Klasy środowiskowe wody i gruntu (T=5-25°C)¹⁾ wg prEN 206-1:1999 [2]

Czynnik agresywny	Metoda badawcza ¹⁾	XA ₁	XA ₂	XA ₃
SO ₄ ²⁻ mg/dm ³ w wodzie	EN 196-2	≥200 i ≤600	>600 i ≤3000	≥3000 i ≤6000
SO ₄ ²⁻ mg/dm ³ w gruncie	EN 196-2 ²⁾	≥2000 i ≤3000 ³⁾	>3000 ³⁾ i ≤12000	>12000 i ≤24000
pH wody	DIN 4030-2	≤6,5 i ≥5,5	<5,5 i ≥4,5	<4,5 i ≥4,0
Kwasowość gruntu	DIN 4030-2	>20° Baumann Gully		
CO ₂ mg/dm ³ agresywne w wodzie	P-EN WVV	≥15 i ≤40	>40 i ≤100	>100
NH ₄ ⁺ mg/dm ³ w wodzie	ISO 7150-1 ISO 7150-2	≥15 i ≤30	>30 i ≤60	>60 i ≤100
NH ₄ ⁺ mg/dm ³ w wodzie	ISO 7980	≥300 i ≤1000	≥1000 i ≤3000	>3000

1) przepływ wody tak powolny, że może być określony jako warunki statyczne
 2) klasę determinuje najbardziej niekorzystna wartość czynnika agresywnego
 3) gdy dwa lub więcej czynników agresywnych wskazują na tę samą klasę, środowisko należy zakwalifikować do następnego wyższej klasy
 4) poziom czynników agresywnych zaleca się określać wg podanych metod
 5) grunty gliniaste o przepuszczalności poniżej 10⁻⁶ m/s można przesunąć do niższej klasy
 6) metoda badawcza zaleca ekstrakcję SO₄²⁻ kwasem solnym; alternatywnie można wykonywać to wodą, jeżeli są odpowiednie doświadczenia
 7) granicę 3000 mg/dm³ należy obniżyć do 2000 mg/dm³ gdy jest niebezpieczeństwo kumulowania się jonów siarczanowych w wyniku cyklicznego nawilżania i schnięcia lub w wyniku podciągania kapilarnego

– niewielki przekrój elementu
 – zbyt gęste zbrojenie – nieszczerne deskowanie
 – podawanie mieszanki ze zbyt dużej wysokości
 – niewłaściwe zagęszczanie
 – niedostateczną lub niewłaściwą pielęgnację.

Kolejnym problemem jest dokładne otulenie prętów zbrojenio- wych i zapewnienie wymaganej normą grubości otulenia [6]. Grubsza otulina nie tylko dlatego lepiej chroni zbrojenie,

że stwarza większy opór oddziaływaniom środowiskowym, ale również dlatego, iż występuje mniejsza liczba rys podczas rozciągania przy zginaniu (rys. 2). W danych warunkach całkowita szerokość rys wywołana obciążeniem mechanicznym na jednostkę długości elementu jest stała. Wzrost grubości otuliny powoduje, że liczba rys maleje, a ich szerokość rozwarcia („mało szerokich“) rośnie; w przypadku mniejszej grubości otuliny ma miejsce sytuacja odwrotna („dużo cienkich“). Obecnie wymagania normowe nie definiują częstości występowania rys, a tylko graniczną ich szerokość. Zwiększanie grubości otulenia – zresztą zalecane wg PN-ENV 206:1990 w miarę wzrostu klasy środowiska – może utrudniać zachowanie dopuszczalnego rozwarcia pojedynczej rysy (por. rys. 2). O intensywności korozji decyduje rozwarłość rys (wr), lecz ważna jest również ich częstość występowania (liczba i rozstęp, nr i lr). Całkowity

Tabl. 3. Wartości graniczne składu i podstawowych cech betonu w zależności od klasy środowiskowej wg prEN 206-1:1999-25 [2]

	Klasa środowiskowa ¹⁾																			
	Brak zagrożenia	Korozja powodowana karbonatyzacją				Korozja powodowana przez chlorki						Korozja mrozowa				Agresja chemiczna				
		XO	XC ₁	XC ₂	XC ₃	XC ₄	Woda morską			Chlorki z wody morskiej			XF ₁	XF ₂	XF ₃	XF ₄	XA ₁	XA ₂	XA ₃	
Maksymalny stosunek wodno-cementowy	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45			0,55			0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Minimalna klasa betonu	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37	C35/45	C35/45		C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37				C30/37	C35/45	
Minimalna zawartość cementu, kg/m ³	-	260	280		300	300	320	340		300	320	300		320	340		300	320	360	
Minimalne napowietrzenie	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-		4,0 ²⁾	4,0 ²⁾	4,0 ²⁾	-	-	-	
Inne wymagania														Kruszywa odporne na zamrażanie wg prEN 12620				Rodzaj cementu ³⁾		

¹⁾ Porównaj tabl. 1

²⁾ Jeżeli nie stosuje się napowietrzenia betonu, to jego właściwości należy zbadać zgodnie z prEN FFF-1 "Metody badania mrozoodporności betonu – badania w wodzie lub w roztworze chlorku sodu – Część 1: Łuszczenie" w porównaniu z betonem, dla którego jest sprawdzona mrozoodporność na odpowiednią klasę ekspozycji

³⁾ Gdy o klasach ekspozycji XA2 i XA3 decyduje występowanie SO₄, to jest istotne stosowanie cementu odpornego na siarczany. Średnio- lub wysokoodporny cement powinien być stosowany przy klasie ekspozycji XA2 (i przy klasie ekspozycji XA1 gdy jest to pożądane), a wysokoodporny cement powinien być stosowany przy klasie ekspozycji XA3.



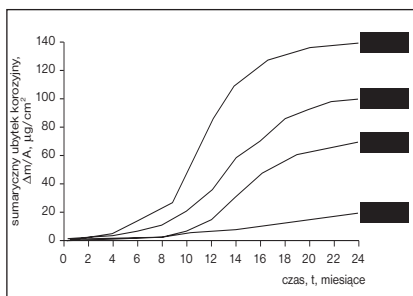
Naprawa mostu Dębnickiego

fot. Archiwum

ubytek korozyjny stali rośnie wraz ze wzrostem liczby rys na jednostkę długości elementu betonowego przy zachowaniu tej samej sumarycznej szerokości rys (rys. 3). Może wówczas powstać konflikt między wymaganą grubością otulenia a szerokością rozwarcia rysy. Jako remedium można w takiej sytuacji rozpatrywać dodatek włókien jako zbrojenia rozproszonego [7].

Podsumowanie

Norma EN 206 formułuje jako cel zapewnienie trwałości poprzez dobór składu, struktury i wytrzymałości betonu oraz grubości otulenia zbrojenia przy założeniu wykonania (i użytkowania) zgodnie ze sztuką inżynierską.



Rys. 3. Sumaryczny ubytek korozyjny w zależności od czasu dla różnej częstości występowania rys [9]: n_i – liczba rys, całkowita szerokość rys w_i=2,4 =const (długość belki l=1360 mm, odstęp między rysami stałe, pręt zbrojeniowy Ø=8 mm grubość otulenia h=42 mm)

Tabl. 4. Wymagania normowe w zakresie zapewnienia trwałości konstrukcji żelbetowej wg PN-ENV:206:1990 [3], prEN 206-1:1995-25 [2] i PN-B-03264:1999 [4]

Wymagania	Klasa środowiska wg PN-ENV 206 i EC2								
	1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c
	Klasa środowiska wg PN-ENV 206 i EC2								
	X0	XC1	XC4 XF1 XF3	XC2 XC3 XC4 XD1 XD2 XD3 XF2 XF4	XS1 XF3	XS2 XS3 XF2 XF4	XA1	XA2	XA3
Minimalne otulenie, mm:									
- żelbet	15	20	25	40	40	40	25	30	40
- beton sprężony	25	30	35	50	50	50	35	40	50
Dopuszczalne rozwarcie rys, mm	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2 lub s ¹	0,1 lub s ¹	0,1 lub s ¹
Maksymalny wskaźnik w/c	0,60	0,60	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
Wodoszczelność			+ ²⁾	+ ²⁾		+ ²⁾	w-4 do w-6 ³⁾	w-6 do w-8 ³⁾	w-8 ³⁾
Ochrona materiałowo-strukturalna							+ ⁴⁾	+ ⁴⁾	+ ⁴⁾
Ochrona powierzchniowa								+ ⁴⁾	+ ⁴⁾

Uwagi: ¹⁾ wartości wg EC2, s - specjalne zabezpieczenia w zależności od typu agresji
²⁾ beton wodoszczelny wg PN-ENV 206:1990
³⁾ wymagany stopień wodoszczelności wg BN-62/6738-07
⁴⁾ w klasach środowiskowych 5a, 5b, 5c niezależnie od ochrony materiałowo-strukturalnej wymagana jest ochrona powierzchniowa wg PN-80/B-01800 i PN-82/B-01801

wską. W praktyce szereg czynników, zwłaszcza w odniesieniu do betonu towarowego, może powodować obniżenie niezawodności wybranego rozwiązania materiałowo-technologicznego. Norma formułuje w tym zakresie warunki należytej staranności. Odrębny problem w niektórych warunkach może stanowić konieczność zwiększania grubości otuliny w miarę wzrostu klasy agresywności środowiska. Powoduje to przeciwnie skutki – „liczba rys a szerokość ich rozwarcia“.

prof. Lech Czarnecki
Politechnika Warszawska

Literatura

[1] Kon E.: *Trwałość i jakość betonu według EN 206-1*. Konferencja „Beton na progu nowego milenium“, Kraków 2000, 41-54
 [2] EN 206-1:1999-25: *Concrete – Part 1: Specification – performance, production and conformity*
 [3] PN-ENV 206:1990 *Beton – właściwości, produkcja, układanie i kryteria zgodności*
 [4] PN-B-03264:1999: *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*
 [5] Szwabowski J.: *Aktualne problemy technologii robót betonowych*. Konferencja „Beton na progu nowego milenium“, Kraków 2000, 147-158
 [6] Jamroży Z.: *Beton i jego technologie*. PWN, Warszawa 2000
 [7] Brandt A.M.: *Zastosowanie włókien jako uzbrojenia w elementach betonowych*. Konferencja „Beton na progu nowego milenium“, Kraków 2000, 433-444
 [8] BS 8110 Part 1:1985: *Structural use of concrete: code of practise for design and construction*
 [9] Arya C., Ofori-Darko F.K.: *Influence of crack frequency on reinforcement corrosion in concrete*. *Cement and Concrete Research*, 3 (1996), 345-353

**CENTRUM TECHNOLOGICZNE BUDOWNICTWA
PRZY POLITECHNICIE RZESZOWSKIEJ Sp. z o. o.**

ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów, tel. +48-17-864-04-50, fax. +48-17-864-04-51,
e-mail: ctb@ctb-prz.pl, www.ctb.ctb-prz.pl

Pełna obsługa laboratoryjna producentów betonu, inwestorów, inspektorów i wykonawców na terenie całego kraju

Nadzory, konsultacje, doradztwo z pełnego zakresu budownictwa przez doświadczoną kadrę uprawnionych rzeczoznawców, ekspertów i inżynierów budownictwa

Ekspertyzy, opinie i oceny konstrukcyjne, materiałowe i technologiczne oraz diagnozowanie i ocena elementów konstrukcyjnych i całych budowli