

Planowane zmiany w normach betonu (EN 206, Eurokod 2) – ewolucja czy rewolucja?

Systematyczne zmiany i korekty norm dotyczących konstrukcji betonowych oraz betonu wydają się być zarówno konieczne, jak i oczywiste. Wynikają bowiem ze stałego postępu wiedzy i technologii, ale też ze zmian prawnych, czy też zmian polityki związanej z ochroną środowiska.

Szczególnie ten ostatni czynnik staje się w ostatnim czasie głównym motorem napędowym, a to z uwagi na wielkość szkodliwych emisji towarzyszących procesom wytwarzania (zwłaszcza cementu), ale też globalnej skali wielkości produkcji cementu i betonu. Efektem przedsięwzięć związanych z obniżeniem poziomu emisji stosowanych spoiw jest zróżnicowana odporność kompozytów cementowych na czynniki korozyjne, którą trzeba uwzględnić w procesie projektowania. Aby ten proces był bardziej efektywny, zarówno ekologicznie jak i ekonomicznie, rozwiązania projektowe muszą być właściwie zoptymalizowane, co ostatnio zwykło się nazywać „szyte na miarę” – co też oznacza, że nie mogą być zbędnie „przedobrze” w odniesieniu do prognozowanej trwałości projektowanej budowli.

Zmiany w Eurokodzie 2 (EC2) – dokonane

Zagadnienie zapewnienia oczekiwanej trwałości konstrukcji betonowej w EC 2 – EN 1992-1-1:2023: *Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1-1: General rules - Rules for buildings, bridges and civil engineering structures (Projektowanie konstrukcji betonowych – Część 1-1: Zasady ogólne – Przepisy dotyczące budynków, mostów i obiektów inżynieryjnych)*, czyli normie projektowania konstrukcji betonowych, rozwiązane jest poprzez dobór odpowiedniego składu mieszanki betonowej (betonu) oraz ustalenie odpowiedniej grubości otuliny zbrojenia, zabezpieczającej pręty stalowe przed czynnikami agresywnymi pochodzącymi z otaczającego środowiska (głównie karbonatyzacji i wnikania chlorków).

W dotychczasowej wersji EC 2 (z 2004 roku) jako „odpowiedni” beton rozumiano beton o klasie wytrzymałości równej lub większej wskazanej jako minimalna dla danej klasy ekspozycji projektowanej konstrukcji. Natomiast same właściwości ochronne dla stali (w klasach ekspozycji XC, XS, XD) lub odporność na oddziaływanie środowiska

(w klasach ekspozycji XF, XA, XM) były dopiero weryfikowane przy doborze składu betonu według wymagań normy EN 206 – w zakresie minimalnej zawartości cementu, maksymalnego wskaźnika w/c oraz dodatkowo w zakresie zawartości powietrza w mieszance betonowej lub wskazań co do jakości kruszywa (mrozoodporne), ewentualnie specjalnych właściwości cementu (odporny na siarczan SR lub HSR).

W krajowej normalizacji wymogi te uszczegółowiono w krajowym uzupełnieniu do normy PN-EN 206, czyli normie PN-B-06265, ale też wskazano w jej załącznikach F2, F3 i F4 obszary zastosowań poszczególnych rodzajów cementu (zgodnych z PN-EN 197-1, PN-B 19707, PN-EN 197-5 lub PN-EN 14216) do produkcji betonu w poszczególnych, zdefiniowanych normą klasach ekspozycji. Co ważne, w normie PN-B-06265 symbolem „X” zaznaczono dla nich „akceptowany zakres stosowania”, natomiast symbolem „O” wskazano „wymagane potwierdzenie przydatności”. Oznacza to tym samym, że pomimo braku doświadczeń mogących potwierdzić przydatność danego cementu, zapisy normowe pozwalają to uczynić zgodnie z procedurami potwierdzającymi równoważne właściwości użytkowe betonu odniesione do znanego betonu referencyjnego.

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że zagadnienia związane z ustaleniem składu betonu w danej klasie ekspozycji (wg PN-EN 206 + PN-B-06265) leżą najczęściej po stronie producenta betonu i w zasadzie są poza kompetencjami projektanta konstrukcji. Z jego strony wystarczające jest bowiem określenie klasy wytrzymałości na ściskanie oraz grubości otuliny.

Nowe podejście aktualizowanego Eurokodu 2 (22 listopada 2023 r. przegłosowano w CEN ostateczny wariant tekstu, który obecnie jest na etapie tłumaczenia i redagowania załączników krajowych) także wymagać będzie od projektanta zapewnienia trwałości konstrukcji poprzez dobór grubości otuliny zbrojenia, ale przy jednoczesnym doborze odpowiedniej klasy odporności betonu na ekspozycję ERC (Exposure Resistance Classes).

Służyć temu mają zestawione w tab. 1 wymagane grubości otuliny w poszczególnych klasach ekspozycji na karbonatyzację XC1 do XC4, dla 50-

Tabela 1. Minimalne otulenie $c_{min,dur}$ przy ekspozycji na karbonatyzację (wg EN 1991-1-1:2023)

ERC	Klasy ekspozycji (karbonatyzacja)							
	XC1		XC2		XC3		XC4	
	Projektowana trwałość konstrukcji (lata)							
	50	100	50	100	50	100	50	100
XRC 0,5	10	10	10	10	10	10	10	10
XRC 1	10	10	10	10	10	15	10	15
XRC 2	10	15	10	15	15	25	15	25
XRC 3	10	15	15	20	20	30	20	30
XRC 4	10	20	15	25	25	35	25	40
XRC 5	15	25	20	30	25	45	30	45
XRC 6	15	25	25	35	35	55	40	55
XRC 7	15	30	25	40	40	60	45	60

Tabela 2. Minimalne otulenie $c_{min,dur}$ przy ekspozycji na chlorki (wg EN 1991-1-1:2023)

ERC	Klasy ekspozycji (chlorki)											
	XS1		XS2		XS3		XD1		XD2		XD3	
	Projektowana trwałość konstrukcji (lata)											
	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
XRDS 0,5	20	20	20	30	30	40	20	20	20	30	30	40
XRDS 1	20	25	25	35	35	45	20	25	25	35	35	45
XRDS 1,5	25	30	30	40	40	50	25	30	30	40	40	50
XRDS 2	25	30	35	45	45	55	25	30	35	45	45	55
XRDS 3	30	35	40	50	55	65	30	35	40	50	55	65
XRDS 4	30	40	50	60	60	80	30	40	50	60	60	80
XRDS 5	35	45	60	70	70	-	35	45	60	70	70	-
XRDS 6	40	50	65	80	-	-	40	50	65	80	-	-
XRDS 8	45	55	75	-	-	-	45	55	75	-	-	-
XRDS 10	50	60	80	-	-	-	50	60	80	-	-	-

i 100-letniej trwałości konstrukcji, gdzie wskazanym jest 8 klas XRC oznaczających odporność na korozję stali zbrojeniowej na skutek karbonatyzacji betonu, a tak upraszczając, odporność betonu na karbonatyzację. Podobnie w tab. 2 zestawiono wymagane grubości otuliny w poszczególnych klasach ekspozycji na oddziaływanie chlorków w klasach ekspozycji XD1 do XD3 i XS1 do XS3 (także dla 50- i 100-letniej trwałości konstrukcji), gdzie wskazane 10 klas XRDS oznacza odporność na korozję stali zbrojeniowej na skutek wnikania chlorków do betonu, a także upraszczając, odporność betonu na migrację chlorków. Jak widać z układu tych tabel oraz z logiki symboli, oprócz dotychczasowej klasyfikacji oddziaływań (klasy ekspozycji XC, XD, XS), wprowadza się charakterystykę odporności betonu jako materiału konstrukcyjnego w postaci klas XRC i XRDS [gdzie litera R (resistance) oznacza tę odporność].

Po wstępnych analizach zapisów normowych wydawać by się mogło, że projektant skazany będzie, po wprowadzeniu aktualizacji EC 2, na narzucanie w specyfikacjach projektowych właściwej w jego ocenie klasy ERC, która w sposób oczywisty powinna być później egzekwowana jako nowa właściwość betonu, podlegająca ocenie zgodności przez producenta betonu (rys.1).

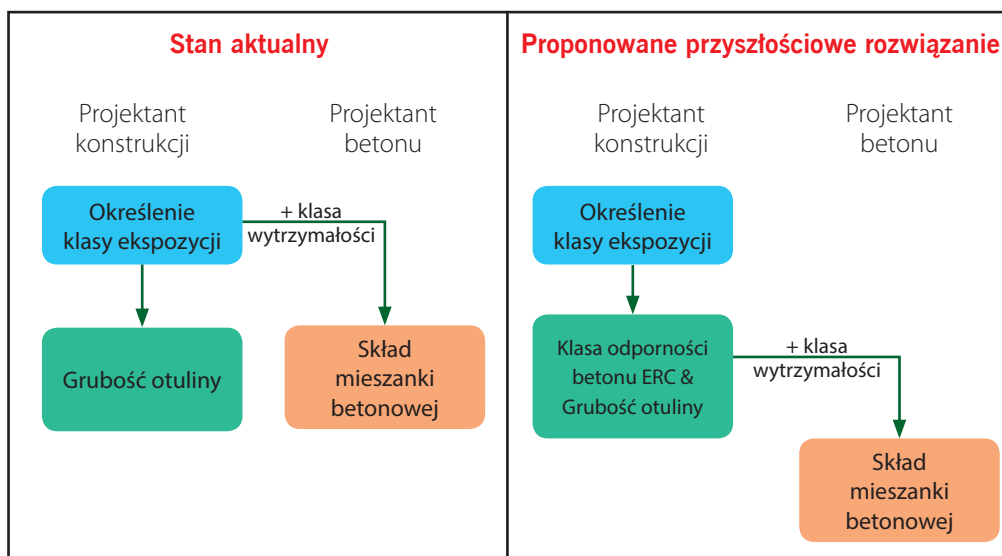
Trwałość betonu ERC może być spełniona poprzez zgodność z dowolną kombinacją składu i właściwości technicznych (klasy wytrzymałości na ści-

skanie). Beton ERC według wartości granicznych składu i wytrzymałości na ściskanie ustala się zgodnie z załącznikiem B do prEN 206-100 i przepisami obowiązującymi w miejscu stosowania.

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że w celu zapewnienia trwałości wg rozdz. 6.4, norma zawiera szereg odnośników do uregulowania w krajowych wersjach Eurokodu. I tak:

- EC 2, w załączniku informacyjnym P, zawiera alternatywne podejście do doboru otuliny bez stosowania klas ERC, które w zasadzie jest tożsame z dotychczasową metodą z poprzedniej wersji EN 1992-1-1:2004 i zaznaczono przy tym, że Załącznik Krajowy (już w tej nowej wersji PN-EN 1992) może wskazać do stosowania jedną z tych dwóch metod,
- tytuły cytowanych tutaj tabel 1 i 2 oznaczono w oryginale projektu EC 2 jako NDP, czyli Nationally Determined Parameter, co oznacza, że wielkości wymaganej otuliny w poszczególnych kombinacjach „klasy ekspozycji / klasy odporności ERC” mogą (a nawet powinny) być ustalone na poziomie wersji krajowych normy.

Powyższe uwagi są o tyle ważne, że przy przyjętej już ostatecznej wersji EC 2 prace związane z modyfikacją norm dotyczących betonu (prEN 206) napotkały spore perturbacje, a nawet wycofywanie się z wielu ustaleń. Dotyczy to w szczególności podejścia do klasyfikacji ERC, która ostatecznie może być i powinna być wprowadzona, ale w sposób



Rys.1. Zasady projektowania betonu konstrukcyjnego i składu mieszanki betonowej z uwzględnieniem klas odporności betonu ERC

rozsądny i na podstawie gruntownej wiedzy wynikającej z badań i doświadczeń zdobytych na poziomie krajowym. Trzeba zatem w sposób umiejętny wprowadzić do PN-EN 1992 możliwe zalecenia krajowe, tak aby pozostawiały dobrowolność wyboru metody i były kompatybilne z proponowanymi zmianami EN 206.

Zmiany w normie EN 206 – planowane

Przez ostatnie 10 lat przyzwyczailiśmy się, że beton objęty jest jedną normą o numerze EN 206, choć przez kilkanaście wcześniejszych lat funkcjonowały numerowane oddzielnie zeszyty – EN 206-1 (obejmujący podstawowe wymagania dla betonu) i EN 206-9 (zawierający dodatkowe wymagania dla betonu samozagęszczalnego). Podział wynikał zatem z odmiennych właściwości betonu. Obecnie redagowane dokumenty normowe dla betonu powracają do podziału treści na odrębne zeszyty, ale tym razem ich rozdzielenie wynika z innych przesłanek.

Pierwsze dwa zeszyty, o numerach EN 206-1 i 206-2 to w zasadzie podzielona na dwie części dotychczasowa norma EN 206, z pewnymi zmianami i uzupełnieniami:

- prEN 206-1 *Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność. Część 1: Właściwości użytkowe, wymagania, zakładowa kontrola produkcji i kryteria oceny pojedynczych wyników,*
- prEN 206-2 *Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność. Część 2: Ocena zgodności i certyfikacja.*

Wprowadzie do ustalenia ich ostatecznej treści jest jeszcze daleka droga (ostateczne głosowanie w CEN zaplanowane jest w czerwcu 2025 r.), ale podział merytorycznej zawartości wynika z przyjętych w CEN szablonów dla norm dotyczących wyrobów budowlanych. Dla norm nowo opracowywanych lub aktualizowanych zagadnienia związane z oceną zgodności lokowane są w osobnych zeszytach z własnym numerem „2”, natomiast pod „1” zawarte są wymagania, określone są właściwości użytkowe oraz opisana jest produkcja wraz z jej kontrolą. Pewnym detalem, który odróżnia nowe wersje normy EN 206 jest zastosowana zgodnie z przepisami CEN zasada neutralności, zgodnie z którą, zgodność może być oceniania przez:

- producenta, wytwórcę lub dostawcę (strona pierwsza),
- użytkownika lub nabywcę (strona druga),
- lub niezależny organ (strona trzecia).

Kryteria tych ocen zgodności dla wszystkich stron są jednakowe, znika zatem dotychczasowe badanie i ocena identyczności dedykowane stronom drugiej i trzeciej w dotychczasowych wersjach normy EN 206. Różne są oczywiście cele i sposoby wykorzystania efektów oceny zgodności przez poszczególne strony – dla producenta jest to obowiązkowe deklarowanie zgodności, dla stron pozostałych akceptacja dostawy lub potwierdzenie kompetencji producenta w procesie certyfikacji wyrobu.

Przyjęcie jednakowych kryteriów oceny dla wszystkich stron nie do końca wydaje się takie oczywiste jak sugeruje zasada neutralności, albowiem ocena przeprowadzana jest na różnych niezależnych zbiorach wyników. Dodatkowo trzeba zwrócić uwagę na specyfikę betonu jako ocenianego wyrobu – próbki do badań powstają wtedy, gdy beton nie posiada jeszcze ostatecznych właściwości, a kształtują się one dopiero w procesie formowania i dojrzewania. Powinien zatem pozostać pewien margines statystyczny w obróbce wyników, wyrównujący ryzyko stron, tak jak było wcześniej w ocenie identyczności.

Nie do końca jest też zrozumiałe i dopracowane częściowe przeniesienie kryteriów zgodności do EN 206-2, w której podano kryteria oceny wyników średnich w dotychczasowym podziale – dla produkcji początkowej, ciągłej i przy użyciu kart kontrolnych. Pozostawiono przy tym kryteria oceny wyników pojedynczych w EN 206-1 (nieco zmienione dla betonów niskich klas), nie nazywając ich kryteriami zgodności.

Ważnym elementem nowej wersji EN 206-1 jest wprowadzenie w rozdz. 5.4 klasyfikacji betonu związanej z emisjami CO₂. W tab. 3 przedstawiono proponowane klasy redukcji GW (Global Warming), które wyrażają stosunek GWP_{total} (Global Warming Potential – całkowity) betonu rozważanego do GWP_{total} betonu referencyjnego, zdefiniowanego dla poszczególnych klas wytrzymałości, w którym użyto cementu CEM I, uznanego jako „średni” krajowy cement CEM I. Zgodnie z treścią Załącznika H „Wytyczne dotyczące betonu referencyjnego” do projektu normy EN 206-1 poziom emisji CO₂ betonu referencyjnego należy określić dla każdej klasy wytrzymałości, którą uzyskano przy użyciu cementu portlandzkiego CEM I. W ocenie emisyjności betonu referencyjnego, poza klasą wytrzymałości na ściskanie, można także uwzględnić klasy ekspozycji lub klasy odporności na ekspozycję ERC, przewidywany okres użytkowania konstrukcji i inne zagrożenia dla trwałości betonu. Zaproponowana zatem w załączniku H tablica ustalająca referencyjne wartości GWP_{total} pozostaje w projekcie normy jako pusta – do wypełnienia w krajowych wersjach EN 206-1.

W chwili obecnej najbardziej dyskusyjny jest trzeci projekt normy, a mianowicie prEN 206-100 *Beton – Część 100: Klasy odporności betonu na ekspozycję. Wymagania, kryteria zgodności i wytyczne.* Z uwagi na zbyt małą liczbę danych z dotychczasowych doświadczeń z całego obszaru europejskiego oraz praktyki badawczej związanej z metodami

Tabela 3. Klasy redukcji emisji

Klasa redukcji emisji	Wartość X = $\frac{GWP_{total, beton\ rozważany}}{GWP_{total, beton\ referencyjny}}$
GWR0	$0,9 \leq X$
GWR1	$0,8 \leq X < 0,9$
GWR2	$0,7 \leq X < 0,8$
GWR3	$0,6 \leq X < 0,7$
GWR4	$0,5 \leq X < 0,6$
GWR5	$0,4 \leq X < 0,5$
GWR6	$0,3 \leq X < 0,4$
GWR7	$0,2 \leq X < 0,3$
GWR8	$0,1 \leq X < 0,2$
GWR9	$X < 0,1$

ustalania odporności betonu na karbonatyzację lub migrację chlorków, proponowana wersja jest tak daleka od uzyskania konsensusu, że ostatnie głosowania w grupach roboczych CEN raczej wskazują na odrzucenie tego dokumentu jako normy, a nawet jako Raportu Technicznego – z rekomendacją opracowania nowego dokumentu o nieustalonym jeszcze statusie. Potrzeba opracowania takiego dokumentu jednak istnieje, bo wszystkie trzy skomentowane wcześniej projekty norm (EC2, EN 206-1 i EN 206-2) odwołują się do klasyfikacji odporności betonu na ekspozycję ERC.

Zakładając, że pozostawione zostanie sugerowane w projekcie EN 206-100 podejście do klasyfikacji ERC, analogiczne do klasyfikacji podanej w EC2 (tab. 1 i 2), to odnosi się ono do konieczności zakwalifikowania rozważanego betonu do danej klasy odporności na podstawie badań wykorzystujących europejską referencyjną metodę badawczą. W tym wypadku, dla klas XRC – jest to metoda wg EN 12390-10 *Badania betonu – Część 10: Oznaczenie odporności betonu na karbonatyzację w warunkach stężeń dwutlenku węgla na poziomie atmosferycznym*, natomiast dla klas XRDS – jest to metoda wg EN 12390-11: *Badania betonu – Część 11: Oznaczenie odporności betonu na wnikanie chlorków w warunkach jednokierunkowej dyfuzji*. Można też zastosować europejskie metody niereferencyjne, odpowiednio według norm EN 12390-12: *Badania betonu – Część 12: Oznaczenie odporności betonu na karbonatyzację. Przyspieszona metoda karbonatyzacji* (ewentualnie wspomaganą badaniami wg normy EN 12390-19: *Badania betonu – Część 19: Oznaczenie rezystywności elektrycznej*), oraz EN 12390-18: *Badania betonu – Część 18: Badania betonu. Oznaczenie współczynnika migracji chlorków*. Można w końcu zastosować też metody dozwolone w miejscu stosowania (krajowe), ale i tak na podstawie ustalonych korelacji wszystkie badania muszą się odnieść do klasyfikacji odporności według referencyjnych europejskich metod badawczych. Konieczne jest przy tym ustalenie własnych (krajowych) kryteriów zgodności, analogicznie jak przykładowo pokazano w tab. 4 w przypadku europejskiej metody referencyjnej dla odporności na karbonatyzację. Mając świadomość bardzo ograniczonych dotychczasowych doświadczeń krajowych (w Polsce metody te wykorzystuje sporadycznie kilka laboratoriów), przy braku badań porównawczych innymi metodami, ustalenie wiarygodnych kryteriów zgodności należy uznać za niemożliwe bez zrealizowania obszernego programu naukowo-badawczego. Trudno się przy tym dziwić brakowi konsensusu przy ustalaniu i akceptacji wspólnej treści dokumentu EN 206-100.

Podsumowanie

Fakt dokonania pewnych ustaleń (w Eurokodzie) zmierzających do precyzyjniejszego doboru i oceny betonu w projektowanych konstrukcjach, pomimo wielu wątpliwości, należy uznać za pierwszy znaczący krok w kierunku optymalizacji przedsięwzięć związanych z zapewnieniem oczekiwanej trwałości budowli, przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na redukcję śladu węglowego betonu i konstrukcji betonowych. To te działania

Klasa XRC	Kryteria zgodności [mm/√rok]
XRC 0,5	0,4
XRC 1	0,9
XRC 2	1,7
XRC 3	2,6
XRC 4	3,5
XRC 5	4,3
XRC 6	5,2
XRC 7	6,1
XRC 9	7,8
XRC 12	10,4

Tabela 4. Kryteria zgodności dla klas odporności na karbonatyzację XRC w odniesieniu do wyników badania wg EN 12390-10

prowadzą do konieczności zdobycia wystarczającej wiedzy o odporności betonu (żelbetu) na szkodliwe czynniki środowiska, przy zastosowaniu wciąż pojawiających się nowych rozwiązań materiałowych, zwłaszcza cementów (spoiw), gdzie wysokoemisyjny klinkier portlandzki zastępuje się coraz szerszą gamą składników: popiołem lotnym, granulowanym żużlem wielkopieczowym, wapieniem, kalcyonowaną gliną i pyłami z recyklingu betonu itp.

Nie ma innej drogi do zdobycia tej wiedzy, jak szeroko zakrojony program badawczy nowych zestawów materiałowych oraz optymalizacja i dobór właściwych metod badawczych. Przedsięwzięcie na pewno będzie długotrwałe i kosztowne, zarówno z punktu widzenia oczekiwanej liczby wyników badań, jak i z punktu widzenia konieczności wyposażenia laboratoriów badawczych w odpowiednią aparaturę, a w końcu na ich akredytację, bo takiej rangi jednostek badawczych oczekuje się na etapie prowadzenia obowiązkowych normowych badań wstępnych betonów (ITT – Initial Type Testing). W efekcie producent betonu będzie przecież musiał deklarować zgodność swojego wyrobu również w zakresie klasy odporności na ekspozycję ERC. Wdrożenie koncepcji ERC do praktyki wymagać będzie większych kompetencji od personelu odpowiedzialnego za produkcję i badania betonu oraz generować wyższe koszty związane z badaniami betonu.

Dopiero po uwzględnieniu tych wszystkich aspektów będzie można mówić o właściwych rozwiązaniach z punktu widzenia zarówno technicznego, jak i ekologicznego, i o rozwiązaniach „szytych na miarę” z punktu widzenia składu i właściwości betonu.

Odpowiadając na koniec na postawione w tytule pytanie, trzeba stwierdzić, że w przypadku bieżącej, systematycznej realizacji opisanych koniecznych działań czeka nas szeroko zakrojona ewolucja. Jeśli natomiast zostaną zaniechane, to w niedalekiej już przyszłości możemy spodziewać się rewolucji, ale o trudnych do przewidzenia negatywnych skutkach.

dr inż. Grzegorz Bajorek, prof. PRZ
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska
i Architektury, Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
Instytut Badań i Certyfikacji
prof. dr hab. inż. Zbigniew Giergiczyński
Wydział Budownictwa Politechnika Śląska