

NOWOCZESNA PREFABRYKACJA

Cykl artykułów, poświęconych współczesnej, nowoczesnej prefabrykacji, tworzony jest we współpracy ze Stowarzyszeniem Producentów Betonów. Cykliczna rubryka ma na celu promocję korzyści ze stosowania prefabrykacji betonowej, możliwości pod kątem budownictwa przemysłowego, mieszkaniowego i drogowo-mostowego oraz innych zastosowań, promocję innowacji w prefabrykacji, przybliżenie zasad projektowania konstrukcji prefabrykowanych i ich elementów, a także prezentację wybranych obiektów.



STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW BETONÓW
Rok założenia 1994
www.s-p-b.pl

PARTNERZY TEMATU



PREFABRYKACJA BETONOWA

Część 8. Kształtowanie trwałości

dr inż. Grzegorz Adamczewski, Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, prof. PW, Politechnika Warszawska

Kształtowanie trwałości elementów z betonu powinno obejmować działania projektanta na wszystkich etapach ich powstawania, to znaczy nie tylko na etapie wymiarowania konstrukcji, ale także w szczególności doboru materiałów, a także technologii wznoszenia obiektu.

Trwałość, w tym również w odniesieniu do obiektu budowlanego, to okres, w którym obiekt zachowuje swoje właściwości użytkowe, które zostały zdefiniowane na etapie projektowania w odniesieniu do warunków eksploatacji obiektu (rys. 1.).

Kształtowanie trwałości elementów z betonu powinno obejmować działania projektanta na wszystkich etapach ich powstawania, to znaczy nie tylko na etapie wymiarowania konstrukcji, ale także w szczególności doboru materiałów, a także technologii wznoszenia obiektu.

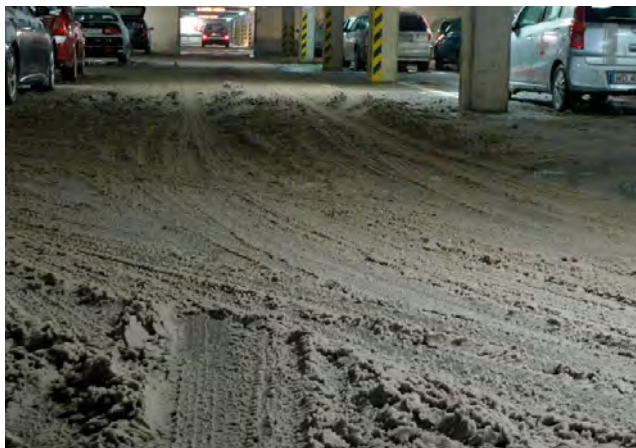
Zapewnienie wymaganej trwałości, a zatem i użyteczności konstrukcji betonowych, przekłada się na całkowite koszty utrzymania obiektu związane z nakładami na naprawy bieżące. Osobny problem w tym kontekście stanowi kwestia nakładów początkowych, na którą składa się dobór rozwiązań projektowych oraz materiałowych. W przypadku początkowego zwiększenia nakładów na wdrożenie rozwiązania optymalnego dla danych warunków eksploatacji można spodziewać się obniżonych późniejszych kosztów utrzymania bieżącego w założonym okresie eksploatacji (rys. 2.). Niestety w obecnych czasach, kiedy o wyborze oferty decyduje głównie kryterium ceny, mało który inwestor jest skłonny ponieść takie wyższe koszty na początku – problem dotyczy w szczególności realizacji opartych o przetargi publiczne.

Wymagana trwałość w świetle norm

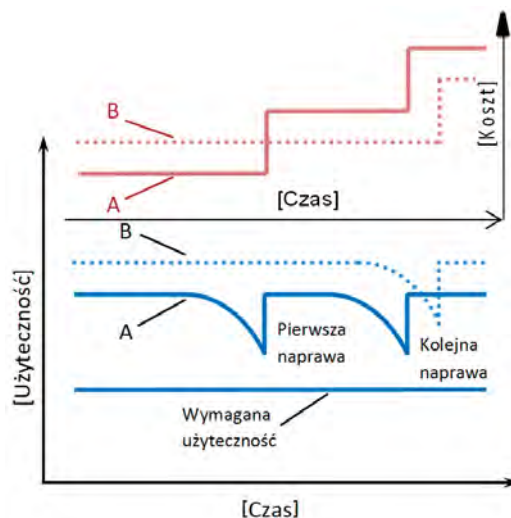
Według wymagań Eurokodu 0, obok nośności i użyteczności, trwałość konstrukcji stanowi jedno z trzech podstawowych kryteriów

w procesie jej projektowania. Wpływa to w istotny sposób na przyjęte rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe. Zgodnie z Eurokodem 2 trwałość obiektu jest zachowana, jeżeli w założonym czasie eksploatacji konstrukcja spełnia swoje funkcje w zakresie użyteczności (stany graniczne związane z ograniczeniem naprężeń, rys i ugięć), nośności i stateczności (stany graniczne nośności). Prawidłowe zaprojektowanie konstrukcji zapewnia spełnienie wymagań użytkowych co najmniej przez okres oczekiwanej trwałości. W rzeczywistości trwałość wzniesionej konstrukcji jest jednak obciążona istotnym poziomem niepewności, wynikającym z jednej strony z wad projektowych, wykonawczych i materiałowych, a z drugiej z ograniczonej przewidywalności oddziaływań związanych z warunkami użytkowania, w tym w szczególności prawidłowością prowadzenia czynności bieżącego utrzymania.

Wymagana trwałość obiektu w wielu przypadkach znacznie przekracza okres 50 lat, który jest według PN-EN 206 traktowany jako podstawowy okres trwałości betonu, zapewniony w przypadku spełnienia wymagań co do składu i składników, podanych w tej normie w odniesieniu do poszczególnych klas ekspozycji betonu. Warto zauważyć, że w przypadku prefabrykatów sprężonych lub poddawanych obróbce cieplnej, w tym zwłaszcza prętowych (dostęp środowiska agresywnego do powierzchni elementów prętowych jest relatywnie duży w stosunku do ich przekroju nośnego), zastrzeżone wymagania i kontrola jakości odnoszą się do zawartości jonów chlorowych oraz ograniczeń związanych z zagrożeniem reakcją ASR/ACR.



Rys. 1. Prefabrykowane żelbetowe słupy garażu wielokondygnacyjnego – narażone na oddziaływania agresywne soli odladzających naniesionych wraz z błotem pośniegowym przez pojazdy



Rys. 2. Użyteczność oraz koszt eksploatacji konstrukcji w czasie w odniesieniu do konstrukcji o normalnej (A) i zwiększonej (B) trwałości

Kształtowanie trwałości elementów prefabrykowanych

Kształtowanie trwałości elementów z betonu obejmuje projektowanie ochrony konstrukcyjnej, materiałowo-strukturalnej i powierzchniowej (tab. 1).

Kluczowym etapem projektowania elementu z betonu z uwagi na trwałość jest dobór grubości otuliny oraz ograniczenie szerokości maksymalnej rysy obliczeniowej. Ten etap projektowania powinien uwzględniać warunki środowiskowe eksploatacji interpretowane jako klasa ekspozycji elementu, a także warunki przyczepności betonu do zbrojenia i warunki odporności ogniowej elementu.

Klasa ekspozycji zależna jest bezpośrednio od środowiska eksploatacji elementu. Praktycznie każdy element z betonu, niezabezpieczony powierzchniowo innym materiałem ochronnym, narażony jest na oddziaływanie dwutlenku węgla z otoczenia i w konsekwencji na karbonatyzację (klasy ekspozycji XC). Elementy ekspozowane na zewnątrz narażone są także na destrukcję mrozową (klasy ekspozycji XF). Tok postępowania przy doborze minimalnej otuliny oraz maksymalnej szerokości rysy z uwagi na trwałość przedstawiono, analizując przypadek elementu przeznaczonego do eksploatacji w kla-

sach XC. Wartość minimalnej grubości otuliny z uwagi na trwałość $c_{min,dur}$ w przyjętej klasie ekspozycji (tab. 2.) określana jest na podstawie klasy (kategorii) konstrukcji (rys. 3.) i rodzaju zbrojenia (żelbet, element sprężony). Dalszy, uniwersalny zarówno dla elementów wykonywanych w technologii monolitycznej, jak i prefabrykowanej, schemat postępowania przy doborze otuliny zarówno z uwagi na klasę ekspozycji, jak i przyczepność, przedstawia rys. 4.

Szerokość dopuszczalną rysy ustala się natomiast w zależności od rodzaju elementu i sposobu jego obciążenia (tab. 3.).

Tab. 3. Maksymalna dopuszczalna szerokość rysy z uwagi na trwałość (w_{max} , mm) w konstrukcjach z betonu narażonych na korozję spowodowaną karbonatyzacją

Rodzaj zbrojenia i warunki występowania oddziaływań	w _{max} , w klasach ekspozycji, mm	
	XC1	XC2, XC3, XC4
Elementy sprężone ciągniami z przyczepnością Częsta kombinacja oddziaływań	0,2	0,2
Elementy żelbetowe, elementy sprężone ciągniami bez przyczepności Quasi-stała kombinacja oddziaływań	0,4	0,3

Tab. 1. Działania kształtujące trwałość konstrukcji z betonu

Grupa działań	Rodzaj działań	Przykładowe rozwiązania	Uwagi
Ochrona konstrukcyjna	Zindywidualizowanie kształtu elementu oraz otuliny zbrojenia	Kształt eliminujący gromadzenie wody i powstawanie zastoin, optymalizacja kształtu pod względem koncentracji naprężeń, zwiększanie grubości otuliny	Kwestia spadków i drenażu, wzmacnianie nieeliminowanych miejsc koncentracji naprężeń, problem skurczu otuliny, otulina złączy
Ochrona materiałowo-strukturalna	Niekonwencjonalne modyfikacje betonu	Betony wysokowytrzymałe, betony samozagęszczalne, inne betony nowej generacji	Zaostrzona kontrola czynności technologicznych, w szczególności pielęgnacji
Ochrona powierzchniowa	Zastosowanie powłok, impregnatów, wypraw, wykładzin	Hydrofobizacja, wypełnianie porów powierzchniowych, powłoki cementowo-polimerowe i cementowe	Kwestia przygotowania podłoża, kompatybilność

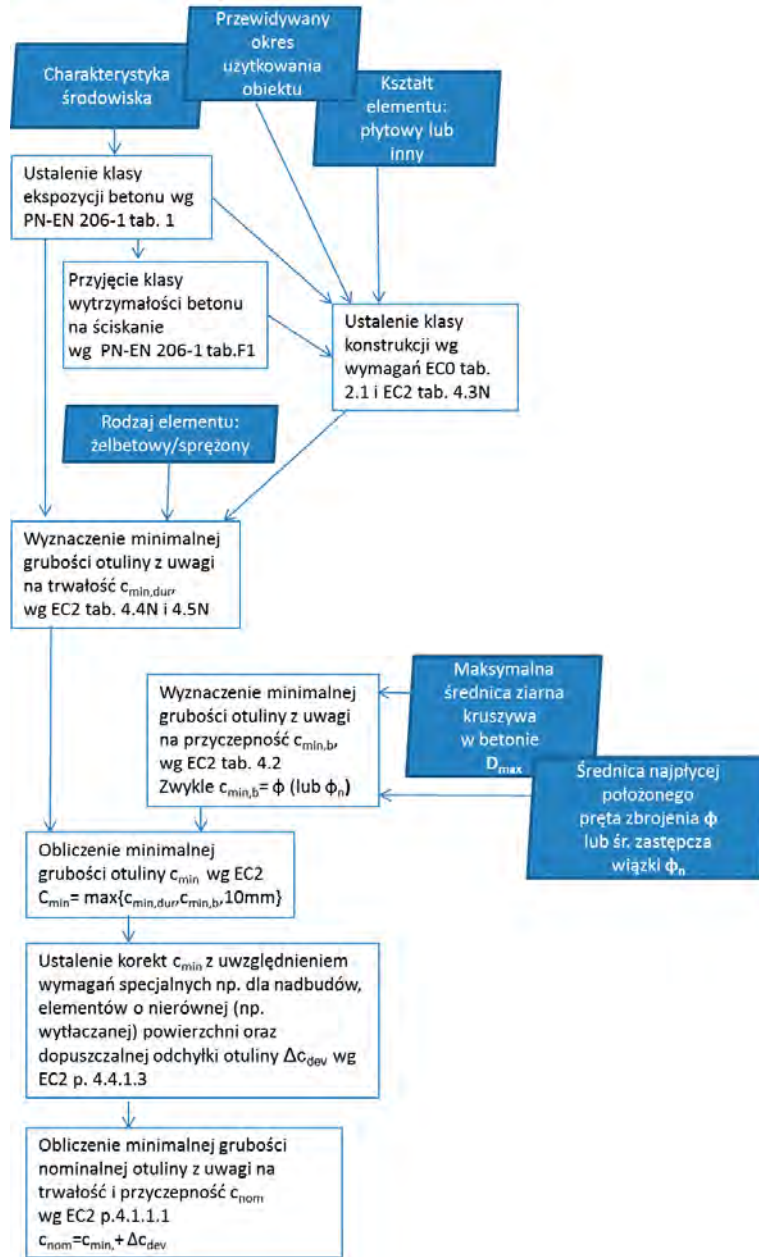
Tab. 2 Minimalna wymagana grubość otuliny z uwagi na trwałość ($c_{min,dur}$, mm) w konstrukcjach z betonu narażonych na korozję spowodowaną karbonatyzacją

Klasa konstrukcji	Minimalna grubość otuliny c _{min,dur} w klasie ekspozycji, mm					
	XC1		XC2 i XC3		XC4	
	Rodzaj konstrukcji:					
	żelbetowa	sprężona	żelbetowa	sprężona	żelbetowa	sprężona
S1	10	15	10	20	15	25
S2	10	15	15	25	20	30
S3	10	20	20	30	25	35
S4	15	25	25	35	30	40
S5	20	30	30	40	35	45
S6	25	35	35	45	40	50

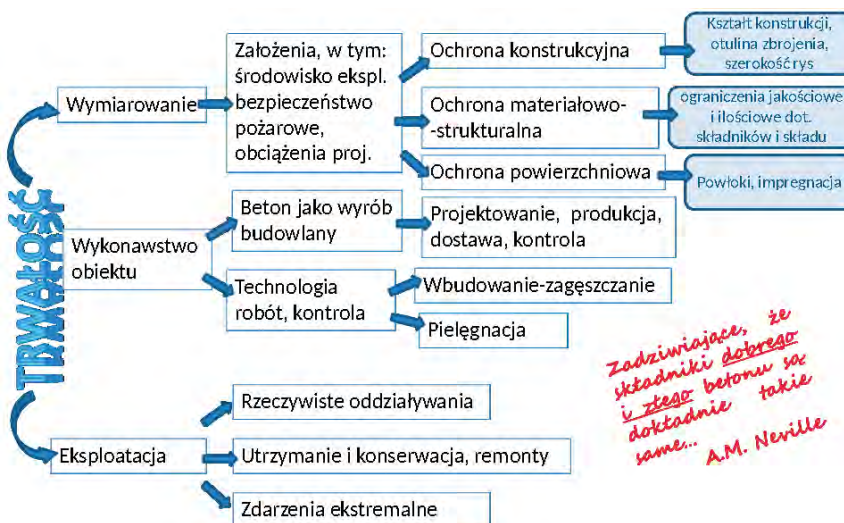
Przewidywany okres użytkowania	Przykład	Klasa (kategoria) konstrukcji stanowiąca podstawę ustalenia minimalnej otuliny wg tabeli 1.9.
do 10 lat	Konstrukcje tymczasowe	S1
10-25 lat	Części wymienne konstrukcji	S2
15-30 lat	Konstrukcje rolnicze i podobne	S3
50 lat	Budynki i inne zwykłe konstrukcje	S4
100 lat	Budynki monumentalne, mosty i inne konstr. inżynierskie	S5
Ponad 100 lat	Konstrukcje specjalne	S6

Korekta klasy konstrukcji S4 z uwagi na:					
Klasa ekspozycji betonu	Wysoką klasę Wytrzymałości betonu	Płytowy kształt elementu	Specjalną kontrolę wytrzymałości	Okres użytkowania ponad 100 lat	
XC1	Jeśli $\geq$ C30/37 to S4 - 1	S4 - 1	S4 - 1	+ 2	S4 + 2 = S6
XC2 i XC3	Jeśli $\geq$ C35/45 to S4 - 1				
XC4	Jeśli $\geq$ C40/50 to S4 - 1				

Rys. 3. Ustalanie klasy konstrukcji wg EC0 i EC2 z uwzględnieniem specyficznych wymagań dla klas XC ekspozycji betonu



Rys. 4. Schemat doboru otuliny elementu z betonu



Rys. 5. Kształtowanie trwałości obiektu z betonu



Rys. 6. Zabezpieczenie prefabrykowanego elementu rurowego za pomocą wewnętrznej wkładki PE-HD

Kształtowanie trwałości elementów z betonu obejmuje projektowanie ochrony konstrukcyjnej, materiałowo-strukturalnej i powierzchniowej.

Rzeczywista trwałość zależy bezpośrednio również od innych czynników, takich jak rzeczywisty przebieg eksploatacji, w tym w szczególności poziom wyężenia przekroju, faktyczna charakterystyka środowiska oddziałującego na obiekt/element, poprawność przeprowadzania zabiegów utrzymania, a także bieżących napraw i remontów oraz ewentualnego wystąpienia oddziaływań ekstremalnych.

Kształtowanie trwałości na etapie projektowym sprowadza się do wymiarowania konstrukcji, które w kontekście trwałości obejmuje ochronę konstrukcyjną, materiałowo-strukturalną i powierzchniową. Zgodnie z dobrą praktyką tzw. ochrony wielostopniowej działania te powinny być podejmowane łącznie (rys. 5.).

Ochrona materiałowo-strukturalna jako element kształtowania trwałości konstrukcji z betonu w zakresie podstawowym warunkowana jest postanowieniami normy PN-EN 206. Norma ta podaje ograniczenia dotyczące doboru jakościowego i ilościowego składu betonu w odniesieniu do klas ekspozycji elementu. Wytyczne tam zawarte dotyczą rodzajów i odmian cementów, minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, maksymalnego wskaźnika woda – cement oraz minimalnej zawartości cementu w betonie. W przypadku środowisk związanych z cyklicznym oddziaływaniem mrozowym (z grupy XF) dodatkowy warunek dotyczy właściwego napowietrzenia mieszanki betonowej. Spełnienie wymagań normy PN-EN 206 wynikających z klas ekspozycji zapewnia w ro-

Ochrona materiałowo-strukturalna wg PN-EN 206

Spełnienie wymagań normy PN-EN 206 wynikających z klas ekspozycji zapewnia w rozumieniu tej normy trwałość betonu nie mniejszą niż 50 lat w przypadku prawidłowego wykonania elementu.

zumieniu tej normy trwałość betonu nie mniejszą niż 50 lat w przypadku prawidłowego wykonania elementu.

Ochrona powierzchniowa odnosi się do zabiegów, w efekcie których zwiększeniu ulega szczelność betonu wskutek zabezpieczenia jego powierzchni dodatkową warstwą powłoki ochronnej, zastosowania impregnatu penetrującego w głąb struktury betonu lub użycia dodatkowego materiału ochronnego (rys. 6.). Impregnaty to materiały wnikaące w pory i poprawiające jakość strefy powierzchniowej betonu, takie jak np. emulsje wodne żywic epoksydowych i poliestrowych lub materiały hydrofobizujące, które nie zmieniają struktury porowatości, a jedynie zmniejszają jego powierzchniową nasiąkliwość (np. silikony). Prawidłowy dobór materiału przeznaczonego do ochrony powierzchniowej powinien uwzględniać nie tylko jej podwyższoną odporność na dane środowisko eksploatacji, ale również kompatybilność z podłożem betonowym – w tym celu stosuje się powierzchniowe uszorstnienie betonu lub gruntowanie. Z reguły ten sposób zwiększania trwałości zaleca się w naprawach i remontach istniejących konstrukcji, natomiast w konstrukcjach nowo wznoszonych stosowany jest rzadziej. Materiały do ochrony powierzchniowej betonu elementu powinny charakteryzować się dużym oporem dyfuzyjnym względem CO₂, wodoszczelnością, ale jednocześnie przepuszczalnością dla pary wodnej, odpornością na powstawanie rys i elastycznością zapewniającą mostkowanie istniejących aktywnych (o zmieniającej się w pewnych granicach szerokości) rys, dobrą przyczepnością do betonowego podłoża oraz odpornością na czynniki środowiskowe i starzenie chemiczne.

Prawidłowy dobór materiału przeznaczonego do ochrony powierzchniowej powinien uwzględniać nie tylko jej podwyższoną odporność na dane środowisko eksploatacji, ale również kompatybilność z podłożem betonowym.

W konstrukcji prefabrykowanej, oprócz wskazanych powyżej aspektów, kluczowa dla trwałości obiektu jest także trwałość złączy i ich odporność na oddziaływania zewnętrzne. Powinna być ona taka sama jak trwałość łączonych elementów, przy czym dotyczy to również oddziaływań ogniowych.

Podsumowanie

Przedstawione uwarunkowania i wymagania dotyczą kształtowania trwałości betonowych elementów prefabrykowanych. Zagadnienie trwałości obiektu wznoszonego z tych elementów jest zdecydowanie bardziej złożone i zależy przede wszystkim od odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego złączy pomiędzy elementami, a także jakości wykonania tych złączy. W tej dziedzinie nastąpił relatywnie największy postęp techniczny w historii współczesnej prefabrykacji, stanowiący o łatwości montażu i trwałości systemu. Temat ten był rozwinięty w poprzednim artykule z cyklu „Builder” nr 3/2018). Synergiczny efekt prawidłowego doboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych elementów prefabrykowanych i systemu złączy prowadzi do powstawania trwałych i funkcjonalnych obiektów z prefabrykatów.

REKLAMA

PROJEKTUJEMY
PRODUKUJEMY
BUDUJEMY



Pekabex

**ZAPYTAJ NASZYCH EKSPERTÓW O ROZWIĄZANIA
W NOWOCZESNEJ TECHNOLOGII PREFABRYKACJI**

**CZY DWA MIESIĄCE
BUDOWY KRÓCEJ
TO DUŻO?
Skrócenie czasu
realizacji konstrukcji
nawet o 25–30%.**

**Szybki montaż przez
profesjonalne ekipy
oznacza większe
bezpieczeństwo
na placu budowy.**

www.pekabex.pl

ul. Szarych Szeregów 27
60-462 Poznań, Poland

tel. +48 (61) 821 04 00
fax. +48 (61) 822 11 42

info@pekabex.pl
www.pekabex.pl