



ANDRZEJ AJDUKIEWICZ, *andrzej.ajdukiewicz@polsl.pl*
Politechnika Śląska w Gliwicach

BETON A ŚRODOWISKO – ZASADY PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI BETONOWYCH Z UWAGI NA TRWAŁOŚĆ I WPŁYW NA ŚRODOWISKO

CONCRETE AND ENVIRONMENT – RULES FOR CONCRETE STRUCTURES DESIGN REGARDING DURABILITY AND IMPACT ON ENVIRONMENT

Streszczenie Obydwa rozważane w referacie aspekty projektowania konstrukcji betonowych – trwałość i wpływ na środowisko – są bardzo często związane z awariami, choć charakter tych awarii jest zwykle odmienny. Na podstawie aktualnych zaleceń i norm międzynarodowych projektowania konstrukcji betonowych z uwzględnieniem trwałości i wpływu na środowisko artykuł wskazuje nowe zadania dla projektantów. Szczególną okazją tych rozważań stał się nowo opublikowany dokument międzynarodowy – długo oczekiwany – *fib-Model Code 2010*. Zasady i komentarze zawarte w tym dokumencie porównano z wcześniejszymi normami międzynarodowymi: Eurokodami i normą wzorcową projektowanie na okres użytkowania (*fib-MC-SLD 2006*). Te stosunkowo nowe zasady łącznie z tradycyjnymi obszarami projektowania konstrukcji betonowych (nośność i użyteczność) stworzyły potrzebę koncepcji Zintegrowanego Projektowania na Okres Użytkowania wspomnianą w referacie, jako propozycję przyszłego podejścia do projektowania konstrukcji betonowych.

Abstract Both aspects of concrete structures design considered in the paper – durability and environmental impact – are very often connected with damages of structures, though the character of these damages is usually different. On the basis of present recommendations and international standards for design of concrete structures regarding durability and environmental impact the paper indicates new tasks for designers. The particular opportunity for these considerations became newly published important international document – long time expected – *fib-Model Code 2010*. The rules and comments included in this document have been compared with the recent international Codes: Eurocodes and Model Code for Service Life Design (*fib-MC-SLD 2006*). These relatively new rules together with traditional fields of concrete structures design (safety and serviceability) created the need of concept of Integrated Life Cycle Design mentioned in the paper, as a proposal for future approach to concrete structures design.

1. Wprowadzenie

W szerokiej problematyce konstrukcji z betonu badania trwałości i wpływu na środowisko w ostatnich dwóch dekadach oraz opublikowane na ten temat raporty, zalecenia i wreszcie międzynarodowe normy mają swoje uzasadnienie w dominującej roli betonu, stosowanego w olbrzymich ilościach w całym świecie.

Dwa podjęte tu problemy są obecnie najczęściej rozważane całkowicie odrębnie. W uproszczeniu można użyć syntetycznych określeń:

- problemy trwałości to przede wszystkim wpływ środowiska na konstrukcję, w powiązaniu z zabiegami utrzymania i warunków eksploatacji;
- problemy „środowiskowości” (*environmentality*) to szeroko rozumiany wpływ konstrukcji na środowisko.

Różne są okresy oddziaływania tych wpływów, choć obydwa liczone w latach, a częściej w dekadach. Środowisko wpływa na konstrukcję od chwili jej powstania do czasu rozbiórki. Natomiast umowny wpływ konstrukcji na środowisko – negatywny – zachodzi w znacznie dłuższym czasie: od pozyskiwania surowców do produkcji materiałów, przystosowania terenu do zabudowy, aż do ostatecznego zakończenia utylizacji materiałów po rozbiórce.

Choć obydwa wpływy są częstymi przyczynami lub współprzyczynami awarii budowlanych, to jednak zdecydowanie różny jest charakter tych zdarzeń. Warto te problemy popularyzować na konferencji Awarie Budowlane, zwłaszcza że w historii tych konferencji dominowała tematyka nośności i użyteczności.

W badaniach i analizach – od niedawna – trwałość konstrukcji jest rozważana jako jeden z trzech równorzędnych elementów niezawodności konstrukcji, obok bezpieczeństwa i użyteczności. Elementy te były w zdecydowanie różnym stopniu w przeszłości rozwijane pod kątem tworzenia zasad ujmowania ich w projektowaniu. Jak to szerzej podano w materiałach Konferencji Krynickiej 2010 i w pochodnym artykule [1], problematyka bezpieczeństwa ma już ponad stuletnią historię tworzenia zaleceń i zasad normowych (od końca XIX w.), elementy użyteczności w szerszym zakresie znalazły się w takich dokumentach znacznie później, około 50 lat temu, a próby ujęcia zasad projektowania konstrukcji z betonu na trwałość mają zaledwie ćwierć wieku historii. W dodatku, jak o tym świadczą liczne raporty, normalizacja w obszarze projektowania na trwałość jest zapewne najtrudniejsza i wymagająca największego wysiłku doświadczalnego [2], z uwagi na dużą liczbę czynników koniecznych do uwzględnienia.

Projektowanie konstrukcji betonowych z uwagi na trwałość, częściej obecnie ujmowane jako projektowanie na okres użytkowania (*Service Life Design*), bierze za podstawę wyniki obserwacji i badań fizyko-chemicznych, zawierających się w czterech grupach:

- karbonatyzacja,
- korozja chlorkowa,
- fizyczne działanie zamrażanie – odmrażanie,
- skutki innych rodzajów oddziaływań chemicznych.

Jak dotąd, najszerzej elementy projektowania z uwzględnieniem trwałości ujęto we wzorcowej normie międzynarodowej fib-MC-SLD 2006 [3], a podstawowe założenia tej normy włączono do najnowszego dokumentu fib-Model Code 2010 [4]. Co z tego może być wykorzystane w praktyce omówiono poniżej. Trzeba też mieć na uwadze, że nowa norma wzorcowa [4] jest przygotowana jako źródło dla nowelizacji Eurokodu 2, przewidywanej w perspektywie najbliższego pięciolecia.

Zasady ujmowania wpływów na środowisko w projektowaniu konstrukcji z betonu są najmłodszą dziedziną i nie doczekały się jeszcze międzynarodowych norm, ale przygotowano raporty zawierające zalecenia. Między innymi opublikowano dwa opracowania zespołów fib [5] i [6] poświęcone tej tematyce. W nawiązaniu do szeregu dokumentów ogólnych poświęconych zrównoważonemu budownictwu przyjęto, że w każdym projektowaniu obiektów budowlanych, obok uwzględnienia trzech aspektów niezawodności (bezpieczeństwo, użyteczność i trwałość), powinna się znaleźć część poświęcona wpływom na środowisko. W działaniu praktycznym konieczne jest w projektowaniu wskazanie:

- jakie są znaczące wpływy na środowisko,
- dlaczego i w jakim stopniu są one istotne (lub nie),
- jak te problemy zostały uwzględnione w projekcie.

W stosunku do tradycyjnego zakresu zadań projektowania są to elementy nowe i nie ujęte dotąd zunifikowanymi przepisami. Już jednak obecnie duże projekty europejskie operują logo EPD (*Environmental Product Declaration*), którym są opatrywane części dokumentacji

dotyczące Środowiskowej Deklaracji Wyrobu, czyli uwzględnieniu w projektowaniu i w specjalistycznych rozważaniach oddziaływania na środowisko.

2. Zarzys dotychczasowych przepisów projektowania konstrukcji betonowych na trwałość

Jako „przepisy dotychczasowe” rozumie się tutaj normy pozostające w dyspozycji polskiego projektanta po dniu 1 kwietnia 2010 r., czyli Eurokody. Przepisy te sprowadzają się do ogólnych sformułowań słownych (zasady i reguły) oraz uproszczonych wskazań praktycznych.

Podstawowy w projektowaniu konstrukcji betonowych Eurokod 2 [7] nie podejmuje problemu trwałości, ale w p. 2.3.1 Projektowy okres użytkowania, trwałość, zarządzanie jakością odsyła do rozdziału 2 w Eurokodzie 1990 [8]. Tam znajdujemy ogólne reguły, a w tym pogładową tablicę projektowych okresów użytkowania. Projektowy okres użytkowania został w Eurokodzie 1990 zdefiniowany jako przyjęty w projekcie przedział czasu, w którym konstrukcja lub jej część ma być użytkowana zgodnie z zamierzonym przeznaczeniem i przewidywanym utrzymaniem, bez potrzeby dużych napraw.

W dalszej części zawarto ogólne zasady (P) i reguły dotyczące projektowania na trwałość, które zacytowano tu w celu porównania z nowymi propozycjami międzynarodowymi:

- (1)P Konstrukcje należy w taki sposób projektować, aby zmiany następujące w projektowym okresie użytkowania, z uwzględnieniem oddziaływań środowiska i przewidywanego poziomu utrzymania, nie obniżały właściwości użytkowych konstrukcji poniżej zamierzonego poziomu,
- (2) W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości konstrukcji zaleca się uwzględnić
 - zamierzone lub przewidywane użytkowanie konstrukcji;
 - wymagane kryteria projektowe;
 - oczekiwane warunki środowiskowe;
 - skład, właściwości i zachowanie się materiałów i wyrobów;
 - właściwości gruntu;
 - rodzaj ustroju konstrukcyjnego;
 - kształt elementów i szczegóły konstrukcyjne;
 - jakość wykonania i poziom kontroli;
 - szczególne środki zabezpieczające;
 - zamierzone utrzymanie w projektowym okresie użytkowania.
- (3)P Warunki środowiskowe należy określić na etapie projektowania, tak aby można było ocenić ich znaczenie z uwagi na trwałość i podjąć odpowiednie środki w celu ochrony materiałów stosowanych w konstrukcji.
- (4) Stopień degradacji można ocenić na podstawie obliczeń, badań doświadczalnych, doświadczenia zebranego z wcześniejszych realizacji lub kombinacji tych podejść.

Wskazania trwałościowe zwracają uwagę na aspekty szczegółowe, ale są w istocie jedynie podstawą do wstępnych uzgodnień projektanta ze zleceniodawcą. Nie dają bowiem konkretnych wskazówek ilościowych, ani jakościowych do założeń projektowania – pozostaje to przedmiotem uzgodnień.

Rozwinięcie problemu projektowania na trwałość zawiera w Eurokodzie 2 [7] rozdział 4. Trwałość i otulenie zbrojenia. Znalazły się tutaj kolejne ogólne zalecenia, nawiązujące do Eurokodu 1990 oraz normy materiałowej PN-EN 206-1 [9]:

- (1)P Trwała konstrukcja powinna przez cały projektowy okres użytkowania spełniać wymagania ze względu na użyteczność, nośność i stateczność, bez istotnego obniżenia przydatności lub nadmiernych, nieprzewidzianych kosztów utrzymania.
- (2)P Wymaganą ochronę konstrukcji należy ustalać, biorąc pod uwagę planowane zastosowanie, projektowy okres użytkowania, program utrzymania oraz oddziaływania.

- (3)P Należy rozpatrzyć ewentualną rolę oddziaływań bezpośrednich i pośrednich, warunków w środowisku oraz skutków ich wspólnego, jednoczesnego działania.
- (4) Ochrona stali przed korozją zależy od zagęszczenia, jakości i grubości otuliny betonowej i od zarysowania. Zagęszczenie i jakość otulenia osiąga się, kontrolując maksymalny współczynnik wodno-cementowy i minimalną zawartość cementu (patrz PN-EN 206-1), które mogą być związane z minimalną klasą betonu.
- (5) Wystawione na działanie środowiska zamocowania metalowe, które mogą być poddane przeglądowi i wymianie, można zabezpieczać powłokami ochronnymi. W innych przypadkach należy je wykonywać z materiału odpornego na korozję.
- (6) W szczególnych przypadkach... należy wziąć pod uwagę wymagania dodatkowe (np. dla konstrukcji o charakterze tymczasowym lub monumentalnym, konstrukcji poddanych skrajnym lub niezwykłym oddziaływaniom itd.).

Przytoczono tablicę Klasy ekspozycji znaną już z normy PN-EN 206-1, a w punkcie 4.3 Wymagania dotyczące trwałości dodano jeszcze ogólne dwie zasady:

- (1)P W celu zapewnienia projektowego okresu użytkowania konstrukcji należy podjąć odpowiednie kroki, chroniące każdy element konstrukcji przed wpływającymi na trwałość oddziaływaniami środowiska.
- (2)P Rozpatrując: koncepcję konstrukcji, dobór materiałów, szczegóły konstrukcji, wykonanie, kontrolę jakości, przeglądy, sprawdzenia, środki specjalne (np. zastosowanie stali nierdzewnej, powłok, ochrony katodowej) – należy uwzględniać wymagania dotyczące trwałości.

Ten zbiór ważnych, ale ogólnych zaleceń uzupełniono w Eurokodzie 2 szczegółowymi wskazaniem dotyczącymi uwzględniania trwałości w projektowaniu, a mianowicie:

- w Załączniku E podano wskazane minimalne klasy wytrzymałości betonu ze względu na trwałość, odniesione do klas ekspozycji,
- w tablicach 4.4N i 4.5N podano minimalne otulenie wymagane ze względu na trwałość, odpowiednio dla stali zbrojeniowej i dla stali sprężającej,
- dodatkowo podano wymagane dodatki otuliny oraz możliwe redukcje otuliny związane z klasą konstrukcji oraz ewentualnym stosowaniem dodatkowych zabezpieczeń (np. powlekanie betonu, stal nierdzewna itp.).

To jest praktycznie cały zakres zaleceń dotyczących projektowania konstrukcji z betonu – żelbetowych i sprężonych – z uwagi na trwałość, zawarty w Eurokodach.

Projektant konstrukcji betonowej ma jeszcze do dyspozycji pomocniczą tablicę Zalecane wartości graniczne dla składu i właściwości betonu w normie PN-EN 206-1 [9] (załącznik F, tablica F1). W tablicy tej zawarto dla poszczególnych klas ekspozycji (w tym klas XF dotyczących zamrażania/odmrażania) zalecenia w odniesieniu do minimalnej klasy wytrzymałości, maksymalnego stosunku w/c , minimalnej zawartości cementu w mieszance oraz – dla klas XF – minimalną zawartość powietrza.

Przydatne w projektowaniu są szczegółowe tablice zatytułowane Jakość betonu i otulina zbrojenia dla założonego okresu użytkowania, zawarte w brytyjskim komentarzu do Eurokodu 2 [10] i w jego polskim odpowiedniku [11]. Tablice te zawierają, dla projektowego okresu użytkowania 50 lat (tablica 4.2) i dla okresu 100 lat (tablica 4.3) oraz dla różnych klas ekspozycji (XC, XD, XS), następujące wskazania:

- minimalną klasę wytrzymałości,
- maksymalny stosunek w/c ,
- minimalną ilość cementu w mieszance,
- nominalną otulinę zbrojenia dla różnych kombinacji trzech powyższych parametrów,
- ograniczenia w stosowaniu typów cementu.

Zarówno pomocnicze zalecenia PN-EN 206-1 [9], jak i rozszerzone zalecenia zawarte w [10], [11] odnoszą się do konstrukcji z betonów zwykłych. Rozszerzenie zaleceń na betony wysokowartościowe lub betony specjalne (np. na kruszywach lekkich, recyklowanych i in.) nie ma dotąd podbudowy doświadczalnej i musi być oparte na obserwacjach konstrukcji dotychczasowych w konkretnych warunkach.

3. Zalecenia międzynarodowe projektowania konstrukcji betonowych na trwałość

Historia zaawansowanych rozważań na temat projektowania konstrukcji betonowych z uwzględnieniem trwałości ma niespełna 30 lat. W zasadzie bez koordynacji, równoległe powstawały na ten temat dokumenty o zasięgu międzynarodowym, przygotowywane w ramach Europejskiego Komitetu Betonu (CEB), Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO) i Amerykańskiego Instytutu Betonu (ACI). Podstawę tych wszystkich dokumentów stanowiły coraz szersze prace badawcze.

Wydzielone podejście do projektowania konstrukcji betonowych ukierunkowane na projektowanie na trwałość/okres użytkowania datuje się od niespełna dekady. Prace nad tym problemem uznano za niezmiernie pilne, gdyż niekorzystne zmiany środowiskowe – w skali lokalnej, regionalnej i globalnej – przebiegają coraz szybciej. Międzynarodowa Federacja Betonu Konstrukcyjnego (fib) ustanowiła w roku 2002, w porozumieniu z Komitetem Technicznym ISO/TC71, grupę zadaniową w celu przygotowania „normy wzorcowej projektowania na okres użytkowania”. Zamierzeniem tego dokumentu było określenie modeli przydatnych w ocenie zjawisk związanych z trwałością i przygotowanie postaw do normalizacji projektowania konstrukcji betonowych z uwagi na okres użytkowania. Dokument ten jako *Model Code for Service Life Design – MC-SLD* [3] został opublikowany przez fib w roku 2006 i zaaprobowany także w Podkomitecie ISO/TC71/SC8 „*Environmental Management for Concrete and Concrete Structures*” w 2007r.

Założono w MC-SLD uniwersalny zakres zasad projektowania konstrukcji z betonu na okres użytkowania, czyli przyjęto, że powinny one obejmować zarówno konstrukcje żelbetowe, jak i sprężone. Przyjęto także założenie, aby zalecenia nie ograniczały się do okresu użytkowania nowoprojektowanych konstrukcji, lecz obejmowały także możliwość oszacowania pozostałego okresu dla istniejących konstrukcji lub dla konstrukcji poddanych rehabilitacji.

Celem przepisów projektowania konstrukcji betonowych na okres użytkowania – częściowo jedynie zrealizowanym w MC-SLD – jest wskazanie obliczeniowego podejścia, mającego zapewnić uniknięcie zniszczenia spowodowanego przez oddziaływania środowiska. Jednocześnie, dążeniem jest podejście porównywalne do tego, jakie przyjęto przy projektowaniu z uwagi na bezpieczeństwo w istniejących normach projektowania, np. w Eurokodzie 2. Oznacza to określone ilościowo modele po stronie oddziaływań, czyli wpływów środowiska, oraz po stronie odporności betonu na rozważane oddziaływania.

Na razie, skupiono się przede wszystkim na projektowaniu zapobiegającym korozji zbrojenia w betonie – zalecana procedura podzielona jest na cztery fazy:

Pierwsza faza to ocena ilościowa mechanizmów zniszczenia, z realistycznym modelowaniem opisującym procesy fizyko-chemiczne w sposób zadowalająco dokładny. Wzorcowym przykładem, zamieszczonym w normie MC-SLD, jest model procesu karbonatyzacji betonu, w zależności od środowiska i parametrów jakościowych betonu. Zadowalająca dokładność oznacza, że model powinien być sprawdzony za pomocą badań doświadczalnych w laboratorium lub w obserwacjach prowadzonych w praktyce tak, aby wartości średnie i rozrzut właściwości w zakresie odporności materiałów były znane i mogły być rozważone w modelu. W ten sam sposób modele dotyczące oddziaływań środowiska, ze statystycznie ustalony-

mi parametrami, takimi jak np. temperatura, wilgotność względna, rozbryzgiwanie wody deszczowej, stężenie gazów itp., powinny być dostępne.

Druga faza obejmuje określenie stanów granicznych, które powinno się wziąć pod uwagę przy projektowaniu. W zaleceniach MC-SLD rozważono kolejne etapy degradacji konstrukcji żelbetowej:

- depasywację zbrojenia spowodowaną przez karbonatyzację,
- zarysowanie wywołane korozją zbrojenia,
- odpryskiwanie otuliny betonowej wskutek korozji zbrojenia,
- zniszczenie wywołane ubytkiem przekroju poprzecznego zbrojenia.

Trzecia faza to obliczenie prawdopodobieństwa, że określony stan graniczny wystąpi. Tu zaleca się stosowanie modeli ustalonych w fazie pierwszej. Na razie, do czasu rozwoju badań w tym zakresie, akceptuje się zabezpieczenie przed wystąpieniem stanu granicznego wyrażone w uproszczonych parametrach niezawodności, np. najprościej za pomocą wskaźnika niezawodności β . W zależności od rodzaju stanu granicznego i klasy konsekwencji zniszczenia (związanej z klasą niezawodności) zalecane minimalne wartości β podano w EN 1990 [9].

Czwarta faza jest określenie typu stanu granicznego – nośności lub użyteczności – do jakiego należy zaliczyć stan graniczny określony w fazie drugiej. Na przykład, stan graniczny depasywacji będzie z reguły zaliczany do SGU, ponieważ nie ma on natychmiastowych konsekwencji dla bezpieczeństwa konstrukcji. Dla stanu granicznego zarysowania lub odpryskiwania otuliny – zależnie od rodzaju konstrukcji – projektant musi zdecydować, do której grupy stanów należy je zaliczyć. Wynika z tego wymagana wartość współczynnika niezawodności.

W projektowaniu na okres użytkowania przyjęto w normie MC-SLD możliwość stosowania – zależnie od dysponowania badawczym rozpoznaniem problemu – czterech poziomów podejścia i związanych z nimi procedur. Podejścia te można scharakteryzować, jako wskazania ogólne, obecnie w różnym stopniu realne w projektowaniu konstrukcji z betonu na okres użytkowania:

„Pełne probabilistyczne podejście” jest rzadko na razie możliwe wskutek braku modeli, a zwłaszcza braku danych statystycznych do kalibracji modeli i trudności w ilościowym oszacowaniu parametrów.

„Metoda częściowych współczynników”, znana z analizy bezpieczeństwa, opiera się na wartościach obliczeniowych oddziaływań, odporności i charakterystyk geometrycznych oraz na deterministycznych (decyzyjnych) wielkościach współczynników. Jednak dotychczas, w odniesieniu do problematyki trwałości brak jest dostatecznej podbudowy badawczej pozwalającej na szersze stosowanie tego podejścia.

„Uznane za wystarczające” (*deem-to-satisfy*) podejście polega na stosowaniu stabelaryzowanych zaleceń, dotyczących najważniejszych czynników, decydujących zwłaszcza o trwałości, jak np. stosunku w/c w mieszance, wielkości otuliny zbrojenia, ograniczenia rozwarłości rys itp. Jest to znana z norm projektowania konstrukcyjnego bardzo przybliżona droga do zapewnienia odpowiedniego okresu użytkowania.

„Unikanie zniszczenia” (*avoidance of deterioration*) to realizacja wskazań omijania zagrożeń, na przykład ograniczenie nasiąkliwości, stosowanie powłok ochronnych, stosowanie stali nierdzewnej, stosowanie kruszyw nie groźących reaktywnością itp. Również to podejście jest znane i stosowane, ale w wielu sytuacjach napotyka na ograniczenia ekonomiczne – tak jest np. ze stosowaniem na szerszą skalę zbrojenia ze stali nierdzewnej.

4. Projektowanie na trwałość w nowych przepisach fib-Model Code 2010 [4]

Co najmniej dwa powody skłaniają do popularyzowania tych nowych przepisów w zakresie projektowania na trwałość:

- zawierają one przedyskutowane i skorygowane ujęcie zaleceń podanych w roku 2006 w normie wzorcowej MC-SLD [3];
- stanowią – jak wspomniano powyżej – dokument wyjściowy do planowanej nowelizacji Eurokodu 2 w niedalekiej przyszłości (2016?).

Przede wszystkim, w rozszerzeniu zaleceń MC-SLD, wzięto pod uwagę dwa okresy, w których powinny być zachowane wymagane cechy przydatności konstrukcji:

- projektowy okres użytkowania – w odniesieniu do projektowania nowych konstrukcji,
- pozostały okres użytkowania – w odniesieniu do istniejących konstrukcji, ocenianych, naprawianych lub modyfikowanych.

Kryteria przydatności w powiązaniu z projektowym okresem użytkowania i wymaganym poziomem niezawodności podano w Tablicy 1 (wzorowanej na Tablicy 3.2-1 w MC2010). Tablica ta podaje przykład kryteriów uwzględnianych w projektowaniu zwykłych budynków (projektowy okres 50 lat).

Tablica 1. Przykład wymagań przydatności w powiązaniu z projektowym okresem użytkowania i wymaganym poziomem niezawodności wg MC2010

Kategoria wymagań	Kryteria przydatności	Wymagania
Użytkowość	– ograniczenia przemieszczeń, – ograniczenia rozwarcia rys, – ograniczenia drgań, itp.	projektowany okres użytkowania: 50 lat poziom niezawodności $\beta = 1,5$
Bezpieczeństwo konstrukcyjne	– ograniczenia naprężeń, – wymagana nośność, – ograniczenia katastrofy postępującej.	projektowany okres użytkowania: 50 lat poziom niezawodności $\beta = 3,8$
Zrównoważoność	– ograniczenia emisji zanieczyszczeń, – niekorzystny wpływ na społeczeństwo, – estetyka, itp.	

W rozdziale 4. Zasady projektowania (*Principles of structural design*) dokonano zunifikowania możliwego podejścia do bezpieczeństwa konstrukcji – zarówno w aspekcie nośności, jak i trwałości:

- (1) pełne podejście probabilistyczne,
- (2) podejście półprobabilistyczne – częściowe współczynniki,
- (3) podejście globalnej odporności (*global resistance*),
- (4) podejście „uznane za wystarczające” (*deem-to-satisfy*),
- (5) podejście „unikanie zniszczenia” (*avoidance of deterioration*).

Zwraca uwagę włączenie globalnej odporności, bliskie znanej z przeszłości metodzie globalnego współczynnika bezpieczeństwa; jest to szczególnie istotne w ocenie konstrukcji istniejących. Przyjęto i podano ogólne wskazania dla projektowania w odniesieniu do założeń modeli sprawdzania stanów granicznych – albo analitycznych, albo numerycznych, albo bazujących na badaniach. Biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy problematykę trwałości praktycznie ograniczono do podejścia (4) lub (5). Omówiono to w zarysie poniżej.

Podejście „uznane za wystarczające” w zakresie trwałości obejmuje wymagania w odniesieniu do jakości wykonania, składu mieszanki betonowej, napowietrzenia, otuliny zbrojenia, ograniczenia szerokości rozwarcia rys oraz pielęgnacji betonu. Zaznaczono możliwość zakładania jeszcze innych ograniczeń.

Przyjęto generalnie, że szczegółowe wymagania do projektowania, doboru materiałów i wykonawstwa powinny być określone jednym z dwóch sposobów:

- na podstawie statystycznej oceny wyników eksperymentalnych i obserwacji polowych,
- na podstawie kalibracji danych z długoterminowego doświadczenia tradycji budowlanej.

Odwołano się do MC-SLD [3], gdzie są podane przykłady kalibracji kryteriów dla podejścia „uznanego za wystarczające”. W sytuacji braku szczegółowych danych wskazano ogólne zalecenia (tablica 4.7-1 w MC2010) zaliczania konstrukcji do kategorii ekspozycji i w konsekwencji do konkretnych normowych klas ekspozycji (XC, XD, XS, XF, XA). Zalecenia te zacytowano tu w Tablicy 2.

Tablica 2. Zalecenia doboru rodzaju ekspozycji z uwagi na trwałość konstrukcji żelbetowej wg MC2010

Kategoria ekspozycji	Warunki środowiska
Nie ma zagrożenia korozyjnego	Ekspozycja na bardzo suche środowisko
Korozja w wyniku karbonatyzacji	Ekspozycja na powietrze i wilgoć
Korozja w wyniku chlorków pochodzenia innego niż woda morską	Ekspozycja na działanie chlorków pochodzenia innego niż woda morską (np. odladanie)
Korozja w wyniku chlorków pochodzących z wody morskiej	Ekspozycja na wodę morską
Działanie zamrażania/odmrażania	Ekspozycja na wilgoć i cykliczne zamrażanie/odmrażanie
Agresja chemiczna	Ekspozycja na środowisko agresywne chemicznie (gazowe, ciekłe lub stałe) oraz agresywną atmosferę przemysłową

Podejście „unikanie zagrożenia” w zakresie projektowania na trwałość wymaga wykania, że proces zniszczenia nie zajdzie w wyniku następujących przykładowych zabiegów:

- odseparowanie konstrukcji od oddziaływań środowiska (obudowy, osłony),
- stosowanie niereaktywnych materiałów, np. stali nierdzewnej i niereaktywnego alkalicznie kruszywa,
- oddzielenie od czynników reaktywnych, np. utrzymanie stopnia zawilgocenia poniżej poziomu krytycznego,
- przeciwdziałanie szkodliwym reakcjom, np. za pomocą metod elektrochemicznych.

Szczegółowe zalecenia sprawdzania trwałości przedstawiono w podrozdziale 7.8 Sprawdzenie stanów granicznych związanych z trwałością (*Verification of limit states associated with durability*). Założono cztery możliwe podejścia do sprawdzania trwałości, zgodnie ze wskazaniami MC-SLD [3]:

- (1) pełne podejście probabilistyczne,
- (2) podejście pół-probabilistyczne – częściowe współczynniki,
- (3) podejście „uznane za wystarczające” (*deem-to-satisfy*),
- (4) podejście „unikanie zniszczenia” (*avoidance of deterioration*).

Szczegółowe zlecenia podano w MC2010 w odniesieniu do trzech mechanizmów zniszczenia:

- korozji spowodowanej karbonatyzacją,
- korozji spowodowanej chlorkami,
- zamrażaniem/odmrażaniem.

Wskazano, że nie powstały zaakceptowane w skali międzynarodowej modele dla innych mechanizmów zniszczenia, np. reakcji kruszyw alkalicznych lub agresji siarczanowej. Na ten temat podano jedynie ogólne wskazówki.

Dla podejścia „uznanego za wystarczające” wskazano jedynie opisowo, że należy stosować zalecenia co do geometrii (otuliny), parametrów materiałowych (pośrednio związanych z dyfuzyjnością) i warunków wykonawstwa (zagęszczenie i pielęgnacja).

Otulina zbrojenia analizowana jest w MC2010 podobnie jak w Eurokodzie 2, czyli wartości minimalne zależą od:

- wymagań technologicznych,
- przyczepności i zakotwienia,
- wymagań przeciwpożarowych,
- wymagań trwałości.

W zakresie trwałości zalecana minimalna otulina zależy ogólnie od odporności betonu na wpływ substancji chemicznych w kombinacji z agresywnością środowiska oraz – co istotne – od projektowego okresu użytkowania konstrukcji.

Wskazania szczegółowe w odniesieniu do otuliny ograniczono do przykładowej tablicy dla betonów klasy co najmniej C20/25 i okresu użytkowania 50 lat (tablica 3). Zalecono ogólnie, aby dla okresu użytkowania 100 lat powiększyć otulinę odpowiednio o 30%.

Łatwo zauważyć, że są to zalecenia znacznie mniej precyzyjne niż zawarte w Eurokodzie 2, a tym bardziej w porównaniu do wskazań zawartych w poradnikach projektowania [10], [11].

Tablica 3. Przykładowe zalecenia minimalnej otuliny ze względu na trwałość wg MC2010 (w mm)

Klasy ekspozycji:	XC2 XC4				XD1 XD2 XD3		
	XO	XC1	XC3		XS1	XS2	XS3
Konstrukcja żelbetowa	10	15	25	30	35	40	45
Konstrukcja sprężona	10	25	35	40	45	50	55

Podkreślono, że dla konstrukcji żelbetowej wymaganie „unikanie zniszczenia” jest spełnione, gdy stan depasycacji nie może wystąpić albo w wyniku trwałej odporności na karbonatyzację, albo gdy oddziaływanie środowiska jest wyeliminowane, albo ma miejsce trwała odporność zbrojenia na korozję.

Z problematyką trwałości związany jest także p. 3.5 normy wzorcowej MC2010, gdzie wprowadzono wskazania „zarządzania cyklem istnienia konstrukcji” (*Life Cycle Management*), a w ramach tych zaleceń – wymaganie sukcesywnego sporządzania dokumentu typu Książka Obiektu (*Life Cycle File*). Określono dokładnie, że mają to być dwa dokumenty:

- (1) Dokumentacja okresu powstania obiektu („*As-Built Documentation*”), zakończona „certyfikatem narodzin” (*Birth Certificate Document* – BCD), zawierającym wyniki wstępnego przeglądu nowej konstrukcji;
- (2) Dokumentacja okresu użytkowania (*Service-Life File*), zawierająca rejestrację wszystkich działań podejmowanych w okresie użytkowania oraz warunków użytkowania, a w przypadku wykonania poważniejszych prac remontowych uzupełniona „certyfikatem ponownych narodzin” (*Re-Birth Certificate Document* – RCD).

Wydaje się, że zalecenia tworzenia takiej dokumentacji stanowią istotny czynnik zapobiegania awariom i katastrofom, nie mówiąc o znaczącym ułatwieniu działań rzeczoznawców.

5. Ogólne zalecenia międzynarodowe dotyczące wpływu konstrukcji betonowych na środowisko

Jak wspomniano na wstępie, przedmiotem rozważań i przygotowanych zaleceń projektowania jest szeroko rozumiany wpływ konstrukcji na środowisko, a więc pozyskanie surowców, produkcja materiałów i elementów, wykonawstwo, użytkowanie, utrzymanie i naprawy, a wreszcie rozbiórka, recykling, ewentualne ponowne użycie elementów. Dążeniem jest,

aby wpływ każdego etapu i całego cyklu tej działalności na środowisko był rozważony realnie i oceniony ilościowo.

Specyfikacja ograniczeń oddziaływania na środowisko powinna być zadeklarowana przez inwestora i projektanta na etapie planowania i projektowania obiektu. Podstawy prawne różnych poziomów ograniczeń, nawiązujące do dokumentów w różnych krajach, przedstawiono m.in. w załączniku A do Biuletynu 47 *fib* [6].

Cały cykl konstrukcji betonowych „od kolebki do grobu” jest związany z różnymi aspektami wpływów na środowisko, takimi jak globalne ocieplenie, zużycie energii i surowców, emisja odpadów, zanieczyszczanie powietrza, wody i gruntu, generowanie hałasu i drgań. Dotychczasowe normy, wytyczne i podręczniki dotyczące projektowania konstrukcji betonowych w niewielkim stopniu zwracają uwagę na aspekty wpływu na środowisko. Przedstawiono więc syntetyczne omówienie zaleceń międzynarodowych.

Globalne wpływy na środowisko to przede wszystkim rozważane w skali ogólnosiwiatowej skutki zużycia surowców i energii oraz emisji gazów cieplarnianych w całym projektowym okresie konstrukcji betonowych.

Zużycie surowców jest w obszarze konstrukcji z betonu wyjątkowo duże w porównaniu z innymi obszarami działalności człowieka i stąd wyjątkowe znaczenie wysiłków w celu zminimalizowania tego zużycia. Ponieważ znaczne ilości paliw są zużywane w procesie pozyskania i produkcji materiałów, zwłaszcza cementu, pożądane jest kontrolowanie ich zużycia – zarówno w procesie produkcji, jak przetwarzania i transportu.

Protokół z Kyoto (1997), wprowadzony w życie w 2005 r., jak też kolejne uzgodnienia w skali światowej (np. konferencja w Cancun, 2010), identyfikują główne gazy i aerozole powodujące efekt cieplarniany, m.in. dwutlenek węgla, związki chloru i fluoru, metan i tlenek azotu. Dwutlenek węgla jest najistotniejszym źródłem tego efektu, dlatego przelicza się i potocznie utożsamia przyczyny efektu cieplarnianego z emisją dwutlenku węgla.

Ogólnie można wskazać, że w strategii niskiej emisji gazów dla sektora betonu i konstrukcji z betonu jest niezbędne:

- rozpoznanie bieżącego stanu wpływów na środowisko przy istniejących technologiach,
- ustanowienie scenariuszy średnio- i długoterminowych (np. do 2020 r. i 2050 r.),
- podjęcie prac nad rozwojem innowacyjnych technologii, aby sprostać tym scenariuszom.

Niestety – choć jest to niewątpliwie problem globalny – nie ma zgodności co do takiego działania wśród wielu krajów, nie tylko w przemyśle betonowym, ale także w wielu innych dziedzinach.

Regionalne wpływy na środowisko w dziedzinie konstrukcji betonowych są rozumiane jako zachodzące w pełnym cyklu ich istnienia oddziaływania na powietrze, wody i grunty oraz emisję odpadów. Substancje chemiczne, których ocena ilościowa jest często trudna do ujęcia, ale które wpływają także na środowisko, to wszelkiego rodzaju dodatki i materiały pomocnicze. Ponieważ mogą pojawiać się lokalnie wpływy na środowisko powodowane konstrukcjami z betonu, związane z metalami ciężkimi, silnymi alkaliami i innymi szkodliwymi substancjami, wymagają one równoległych ocen.

Wpływ placu budowy na środowisko to najczęściej powodowanie zapylenia, hałasu i drgań, czyli uciążliwości oddziaływujących na pracowników i sąsiadów placu budowy, które są niestety nieuniknionym czynnikiem działalności budowlanej, w tym wznoszenia konstrukcji betonowych. Minimalizacja tych uciążliwości to cel rozważań już na etapie projektowania.

Cięcie lub piaskowanie betonu, to obok kurzu unoszonego przez wiatr, częste przyczyny zapylenia placu budowy i okolicy, uciążliwe dla załogi i otoczenia. Hałas i drgania z reguły towarzyszą budowie, ale też i procesom eksploatacji obiektów.

Zapylenie, hałas i drgania wywoływane w procesie wznoszenia są coraz częściej przedmiotem ograniczeń ujętych w przepisach prawnych, warunkujących pozwolenie na budowę nie tylko wielkich obiektów, ale także małych i średnich, których uciążliwość bywa równie duża.

Wpływ na lokalne środowisko to oddziaływania na warunki we wnętrzach, jak i w otoczeniu zewnętrznym obiektu, a wpływy są rozważane z punktu widzenia zdrowia użytkowników obiektu. W konstrukcjach betonowych, obok naturalnej emisji radonu, rozważa się gazy uwalniane z betonu w toku użytkowania obiektu. Najczęściej pojawia się emisja amoniaku i substancji radioaktywnych pochodzących ze składników (np. popiołów).

6. Zalecenia dotyczące wpływu na środowisko zawarte w Model Code 2010

Norma wzorcowa fib-Model Code 2010 [4] rozważa wpływ na środowisko, obok wpływów socjalno-kulturowych i aspektów estetycznych w dwóch fragmentach, ale w obydwu przypadkach łącznie w podrozdziałach traktujących o „zrównoważoności” (*sustainability*).

Wyartykułowano następującą definicję „zrównoważoności” konstrukcji:

Zdolność materiału, elementu konstrukcyjnego lub całej konstrukcji do pozytywnego przyczyniania się do wypełniania obecnych potrzeb ludzkości, z uwzględnieniem natury, społeczeństw i pojedynczych ludzi, bez naruszania możliwości przyszłych pokoleń w zaspakajaniu ich potrzeb w podobny sposób.

W p. 3. 4 Wymagania dla zrównoważoności (*Performance requirements for sustainability*) podano w zakresie wpływu konstrukcji betonowych na środowisko następujące zasady:

- (1) Konstrukcja powinna być projektowana w taki sposób, aby wpływ na środowisko był odpowiednio wzięty pod uwagę w całym cyklu jej istnienia.
- (2) Wymagania odniesione do wpływu na środowisko powinny obejmować, odpowiednio do obiektu podlegającego ochronie, następujące problemy:
 - wpływ na zdrowie ludzi,
 - wpływ na własność społeczeństwa,
 - wpływ na różnorodność biologiczną,
 - wpływ na podstawową produktywność (np. płodność gleby).

W komentarzu do tej części punktu 3.4.2 w Model Code 2010 wyszczególniono kategorie wpływów na środowisko, które w różnym stopniu dotyczą betonu i konstrukcji z betonu:

- zanieczyszczenia powietrza,
 - niebezpieczne substancje,
 - niszczenie warstwy ozonowej,
 - globalne ocieplenie,
 - zatrucie środowiska,
 - zakwaszenie,
 - skażenie nawozami sztucznymi,
 - zużycie terenu,
 - materiały odpadowe,
 - zużywanie surowców
- (3) Wymagania w odniesieniu do wpływu na środowisko mogą dotyczyć:
 - doboru materiałów,
 - projektowania konstrukcyjnego,
 - metod wykonawstwa,
 - warunków użytkowania,
 - procedur utrzymania,
 - rozbiórki i składowania odpadów,

- procesów recyklingu,
- zużycia energii i surowców,
- spełnienia ograniczeń emisji CO₂, zanieczyszczenia wody, skażenia gruntów, zapylenia, hałasu, drgań i uwalnianych substancji chemicznych.

W p. 7.10.1 Sprawdzenie zrównoważoności – wpływ na środowisko (*Verification of Sustainability – Impact on environment*) podano zasady:

- (1) Gdy podejmuje się projektowanie, wykonawstwo, użytkowanie, utrzymanie/zarządzanie, rozbiórkę i ponowne użycie konstrukcji betonowej oraz recykling betonu i składowanie odpadów, należy wykazać na etapie projektowania, że wymagania środowiskowe są dla konstrukcji spełnione.
- (2) Wpływ na środowisko powinien być oceniony za pomocą odpowiednich wskaźników dotyczących poszczególnych efektów obiektu w środowisku i zweryfikowany.
- (3) Wymagania należy wyspecyfikować za pomocą kryteriów takich jak:
 - wskaźniki celu (ograniczenia zużycia surowców, zużycia energii, szkodliwej emisji),
 - wskaźniki środków działania (redukcja, ponowne użycie, recykling).
- (4) Wymagania środowiskowe w odniesieniu do betonu i konstrukcji z betonu powinny być zweryfikowane przez potwierdzenie, że przedstawione wskaźniki (R), zdefiniowane przy użyciu odpowiednich inżynierskich wskaźników dotyczących środowiska, są wyższe (lub niższe) niż zbiór wartości (S) ustalony dla odpowiednich wymagań.
Komentarz: Potwierdzenie spełnienia wymagań to wykazanie, że $R > S$ lub $R < S$. Znak nierówności zależy od aspektu, jaki ma być potwierdzony (np. dla zużycia energii będzie to $R < S$, a dla recyklingu będzie to $R > S$).
- (5) Gdy rozważa się kwestie, których spełnienie jest zawarte w specyfikacji projektowej, odrębna weryfikacja może być pominięta.

Komentując zasady podane w p. 7.10.1 Model Code 2010 wyraźnie wskazano, że przede wszystkim muszą być wybrane pola weryfikacji i określone wartości wymagań (S). Zbiór tych wymagań może albo wynikać z przepisów, albo z uzgodnień z inwestorem. To stanowi oczywiście problem i będzie niewątpliwie rodziło kontrowersje przy staraniach o pozwolenia na budowę.

7. Podsumowanie

Jak wskazują przytoczone dokumenty międzynarodowe, projektowanie konstrukcji z betonu w niedalekiej przyszłości będzie obejmować trzy równoległe działania:

- (1) Projektowanie konstrukcyjne – analogiczne do praktyki dotychczasowej – bazujące w podstawowym zakresie na normach konstrukcyjnych (obecnie: Eurokodach). Jak dotychczas, projektowanie to będzie obejmować koncepcję konstrukcyjną, obliczenia, rysunki i inne związane dokumenty. Szerzej niż do niedawna projekt konstrukcyjny będzie zawierać specyfikację materiałów, zasady wykonawstwa i kontroli przy wznoszeniu obiektu. Projekt konstrukcyjny – obecnie i w przyszłości – koncentruje się na zdolności konstrukcji do przeniesienia fizycznych oddziaływań przekazywanych na konstrukcję.
- (2) Projektowanie na trwałość, koncentrujące się na odporności konstrukcji na wpływy środowiskowe przekazywane na konstrukcję. W szerszym zakresie problemy te ujęto w normie wzorcowej MC-SLD 2006 [3], a obecnie przygotowano normę wzorcową MC2010 [4], ujmującą te kwestie nieco bardziej ogólnie.
- (3) Projektowanie środowiskowe obejmuje ocenę i minimalizację wpływu konstrukcji na środowisko w całym okresie użytkowania, przy spełnieniu wymagań projektowania konstrukcyjnego i projektowania na trwałość.

Taki zakres projektowania stanowi oczywiście rozszerzenie praktyk dotychczasowych i jest przedmiotem zintegrowanego projektowania, omówionego wstępnie w Biuletynie 47 fib [6]. W końcowej fazie przygotowania są bardziej szczegółowe dokumenty [12], [13], których omówienie podano niedawno w [1].

Można przewidywać, że zintegrowane, a tym samym staranniejsze projektowanie konstrukcji betonowych, z zaangażowaniem większych zespołów, to droga do eliminacji wielu awarii.

8. Przykłady projektowania zintegrowanego

Aby stopniowo upowszechniać zintegrowane podejście do projektowania powstają w ostatnich latach organizacje, zwykle pozarządowe, popularyzujące osiągnięcia w tym zakresie. Największą taką organizacją w skali międzynarodowej jest LEEDS (*Leadership in Energy and Environmental Design*), wydająca zgłaszającym do oceny obiektom certyfikaty zgodności ze strategią zrównoważonego rozwoju.

Jednym z obiektów, które uzyskały taki certyfikat jest Muzeum Sztuki Grand Rapids (2007, Michigan, USA) – rys. 1. Był to pierwszy obiekt muzealny, który spełnił wymagania LEEDS, w tym określone kryteria bezpieczeństwa i trwałości, ale przede wszystkim wymagania eksploatacyjne, np. efektywny system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC), podwójny system zasilania w wodę z wykorzystaniem wody opadowej, wykorzystanie światła dziennego do oświetlenia i szereg innych.



Rys. 1. Muzeum Sztuki Grand Rapids (USA) – pierwszy obiekt muzealny z certyfikatem LEEDS

Zupełnie inne kryteria dominowały przy projekcie estakady i platformy widokowej Sohlbergplassen nad Jeziorem Atna w Norwegii (2006). Ten unikalny obiekt w wysokopięnym lesie został zaprojektowany i zrealizowany z maksymalną ochroną drzewostanu – kształt dostosowano do położenia drzew. Fundamenty lokalizowano ostatecznie z omijaniem korzeni drzew, a krzywoliniowy kształt konstrukcji zapewnia stateczność przy smukłych słupach. W szczelnych deskowaniach zastosowano samozagęszczalny beton, ułatwiający umie-

szczenie w nawierzchni płyt szklanych, mających na celu doświetlenie roślinności pod konstrukcją (rys. 2).



Rys. 2. Platforma widokowa i estakada zaprojektowane z ochroną drzewostanu (Norwegia)

Całą grupę dużych obiektów zrealizowanych przed Zimowymi Igrzyskami Olimpijskimi w roku 2010 w Vancouver organizacja LEEDS poddała również certyfikacji pod względem projektowania środowiskowego [14]. Jednym z nich, był nowy tor bobslejowo-saneczkowy (Whistler Sliding Centre). Obok aspektów materiałowo-konstrukcyjnych (np. minimalizacja ilości i trwałość materiałów konstrukcyjnych, z maksymalnym zastosowaniem popiołów lotnych), najważniejszym kryterium było ograniczenie ingerencji w środowisko leśne, z daleko idącym odtworzeniem gleby i flory wokół obiektu (rys. 3). Specyfikę obiektu stanowiła instalacja schładzająca wewnątrz ścian toru, której efektywność była szczególnym przedmiotem oceny.

Wiele obiektów użyteczności publicznej w całym świecie projektowano w ostatnim czasie z daleko idącym uwzględnieniem projektowania środowiskowego. Dla potrzeb Olimpiady w Vancouver, z perspektywą dalszego użytkowania przez 100 lat jako Centrum Konferencyjne, rozbudowano w roku 2009 duży obiekt – 30.000 m² – przy przystani morskiej (rys. 4). Uznano to za przykład zintegrowanego projektowania, z racjonalną kombinacją betonu, szkła i drewna. „Zielony dach” o powierzchni 24.000 m² tworzy zlewnię z odbiorem utylizacyjnym wody opadowej.

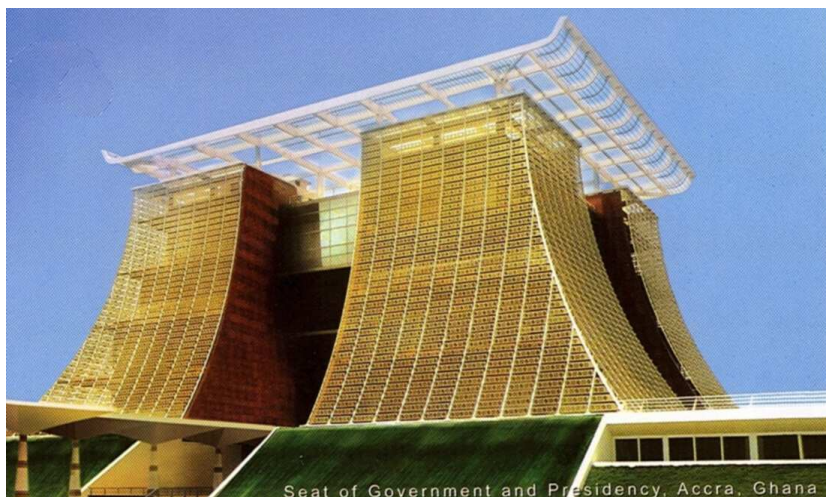


Rys. 3. Budowa toru bobslejowo-saneczkowego w Whistler (Kanada)



Rys. 4. Centrum Konferencyjne w Vancouver z projektowym okresem użytkowania 100 lat pod „zielonym dachem”

Nie tylko w krajach wysoko rozwiniętych, o długiej tradycji ochrony środowiska, idea zintegrowanego projektowania zyskuje rozpowszechnienie. Przykładem może być nowy budynek rządowy w Akrze (Ghana). Uznano, że obiekt ten łączy walory architektoniczne z racjonalnym wykorzystaniem materiałów, a przede wszystkim z zabezpieczeniem ograniczenia wpływu atmosfery zewnętrznej na klimat wnętrza. Podwójne ściany zewnętrzne z „efektem komina” stanowią zasadniczy czynnik redukcji zużycia energii na klimatyzację.



Rys. 5. Nowa siedziba rządu w Akrze (Ghana)

Literatura

1. Ajdukiewicz A.: Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych. *Przegląd Budowlany*, nr 2, 2011
2. Minimum requirements for durable concrete. (Editor: D.W.Hobbs) British Cement Association, Crowthorne 1998, 172s.
3. Model Code for Service Life Design – MC-SLD. Bulletin 34, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2006; 116s.
4. Model Code 2010 (First complete draft). International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2010; Vol. 1 – Bulletin 55, March 2010, 292s.; Vol. 2 – Bulletin 56, April 2010, 288s.
5. Environmental design. State-of-the-art report. Bulletin 28, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2004; 74 s.
6. Environmental design of concrete structures – general principles. Technical Report. Bulletin 47, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2008; 41s.
7. PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
8. PN-EN 1990:2004/A1:2008. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
9. PN-EN 206-1: 2003/A2:2006; Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
10. Concise Eurocode 2. (Editors: R.S. Narayanan, C.H. Goodchild). The European Concrete Platform ASBL, 2007; 109s.
11. Eurokod 2. Podręczny skrót dla projektantów konstrukcji żelbetowych. (Redaktor: A. Ajdukiewicz) Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2009; 188 s.
12. Application of Environmental Design to Concrete Structures. *fib*-Commission 3, TG 3.9. Draft zaaprobowany na Kongresie *fib* w Waszyngtonie w maju 2010.
13. Integrated Life Cycle Assessment of Concrete Structures.State-of-art-report. *fib*-Commission 3, TG 3.7. Draft zaaprobowany na Kongresie *fib* w Waszyngtonie w maju 2010.
14. Hooton D., Weir A.: Green Concrete Goes for the Gold at 2010 Winter Olympics. *Concrete International*, February 2010; p. 45÷48.