

# Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych

Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz, Politechnika Śląska, Gliwice

## 1. Wprowadzenie

W budownictwie problemy trwałości i wpływu na środowisko są ściśle powiązane, albo wręcz przenikają się. Wyraźnie zaznacza się to w konstrukcjach z betonu. Obniżona trwałość konstrukcji betonowej prowadzi do pewnego bezpośredniego zanieczyszczenia środowiska, ale przede wszystkim konieczność naprawy lub wymiany elementów wiąże się ze zużyciem materiałów i energii oraz emisją zanieczyszczeń z tym związanych.

W zakresie konstrukcji z betonu badania problematyki trwałości i wpływu na środowisko w ostatnich dekadach, a w konsekwencji opublikowane raporty, zalecenia i wreszcie normy, mają swoje uzasadnienie w dominującej roli betonu, stosowanego w olbrzymich ilościach w całym świecie. Rysunek 1 obrazuje symbolicznie pożądane aspekty zintegrowanego projektowania. Dotychczas w projektowaniu dominują aspekty grupy (1). Opisywane w tym artykule aspekty (2) i (3) są dotychczas rozważane całkowicie odrębnie.

Tradycyjne podejście do projektowania konstrukcji ma na celu osiągnięcie wymaganych cech użytko-

wych, przy zachowaniu możliwie niskich nakładów finansowych na realizację. Przedział czasowy stosowany do oceny jakości obiektu jest albo ograniczony do okresu budowy, albo – obecnie częściej – do następnych kilku lat okresu gwarancyjnego po zrealizowaniu konstrukcji.

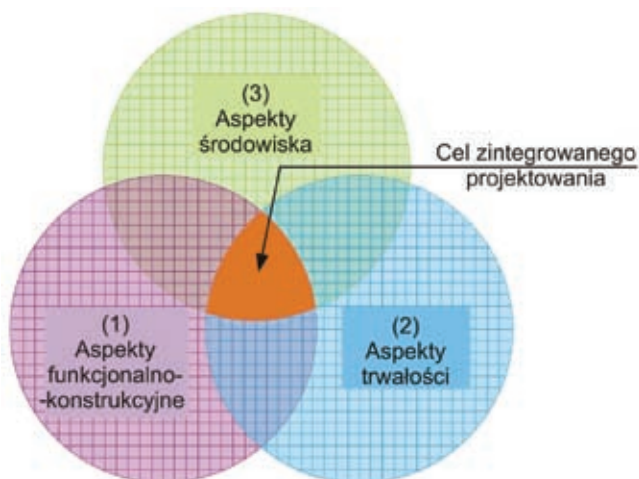
Nowe podejście jest określane jako **zintegrowane projektowanie na okres użytkowania** (*integrated life-cycle design*) i wyraża się w praktyce wieloaspektowym projektowaniem (rys. 1), uwzględniającym:

- różne aspekty projektowania (funkcjonalno-konstrukcyjne, trwałościowe, środowiskowe, ekonomiczne, socjo-kulturowe),
- kolejne fazy użytkowania przez cały projektowy okres użytkowania, czyli od pozyskania i produkcji materiałów lub elementów, przez wznoszenie, użytkowanie i konserwację, do rozbiórki, recyklingu i utylizacji odpadów,
- różne poziomy optymalizacji (materiały, składniki, elementy, całe konstrukcje).

Innymi słowy, projektowanie zintegrowane wprowadza optymalizację przy ocenie wszystkich ważniejszych faz całego cyklu realizacji konstrukcji – „od kotłyski do grobu”.

Wobec specyfiki różnych typów konstrukcji betonowych (budynki, mosty, drogi itp.) niezbędne jest sformułowanie zbiorów kryteriów do wprowadzenia jako narzędzia oceny dla tych różnych typów konstrukcji.

**Trwałość konstrukcji**, obok bezpieczeństwa i użyteczności, jest analizowana jako jeden z trzech filarów niezawodności konstrukcji. Elementy te – dziś stawiane praktycznie na równi pod względem znaczenia – były w zdecydowanie różnym stopniu w przeszłości rozważane pod kątem tworzenia zasad ujmowania ich w projektowaniu. Jak to szerzej przedstawiono na Konferencji Krynickiej 2007 [1], problematyka bezpieczeństwa ma już ponad stuletnią historię tworzenia zaleceń i zasad normowych, 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 historię niespełna 30-let-



**Rys. 1.** Uproszczony schemat projektowania zintegrowanego

nią. Tymczasem, jak o tym świadczą liczne raporty, normalizacja w obszarze projektowania na trwałość jest zapewne najtrudniejsza i wymagająca największego zakresu prac doświadczalnych [2].

Aspekt trwałości w projektowaniu konstrukcji betonowych, ostatnio częściej określany mianem projektowania na okres użytkowania (choć nie zawsze utożsamiany [3]), bazuje na badaniach fizyko-chemicznych, z przewagą tematyki chemicznej. Dotychczas, badania i próby uogólnień skupiają się na czterech grupach zagadnień, określanych skrótowo jako:

- skutki karbonatyzacji,
- korozja chlorkowa,
- fizyczne działanie zamrażanie/odmrażanie (mrozoodporność),
- skutki innych rodzajów oddziaływań chemicznych.

Tak rozumiana problematyka trwałości weszła dotychczas do norm w stopniu stosunkowo niewielkim, w postaci niezmiernie uproszczonych zaleceń. W dodatku, jak to mamy w Eurokodzie 2 [4] i normach związanych, np. [5], słabiej rozpoznane lub trudniejsze do uzgodnień międzynarodowych tematy zostały prawie całkowicie pominięte, jak np. wpływ zamrażania/odmrażania.

Szerzej, w sposób umożliwiający różny stopień uszczegółowienia podejścia do trwałości, ujęto problem projektowania konstrukcji z betonu we wzorcowej normie międzynarodowej [6]. Główne założenia tej normy włączono do najnowszego dokumentu *fib-Model Code 2010* [7]. Ta długo uzgadniana norma wzorcowa jest przygotowywana jako „dokument – matka” dla przewidywanej nowej generacji Eurokodu 2, dla której lata 2015–2016 wskazywane są dziś jako realne.

Problematyka **wpływu na środowisko** w projektowaniu doczekała się nowego terminu międzynarodowego *environmentality*. Przyjęto, że w każdym projektowaniu, obok trzech filarów niezawodności (bezpieczeństwo, użyteczność i trwałość) powinna się znaleźć część poświęcona środowisku. W syntetycznym ujęciu – 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.

Tematyce tej poświęcono m.in. dwa opracowania zespołów *fib* [8] i [9]. Szereg prac ostatniego okresu dotyczy problemów środowiskowych w kontekście wymagań jakie będą w niedługim czasie obowiązywać w Europie. Znalazły się one w europejskich programach badawczych z lat 1996–2004 [10], a raporty przedstawiono obszernie w roku 2006 [11]. Powinniśmy się przyzwyczajać do europejskiego logo EPD (*Environmental Product Declaration*), którym będą opatrywane części dokumentacji dotyczące Środowiskowej Deklaracji Wyrobu:



## 2. Projektowanie na trwałość/okres użytkowania w przepisach normowych i zaleceniach międzynarodowych

### 2.1. Zakres zasad projektowania na trwałość ujęty w Eurokodach

W zakresie trwałości Eurokod 1992–1-1 [4] w p. 2.3.1 *Projektowy okres użytkowania, trwałość, zarządzanie jakością* nie podejmuje tematyki, lecz odsyła do Rozdziału 2 Eurokodu 1990 [12]. Tam znajdujemy ogólne reguły, a w tym poglądową Tablicę:

**Tablica 1.** Orientacyjne projektowe okresy użytkowania według [12]

Kategoria projektowego okresu użytkowania	Orientacyjny projektowy okres użytkowania (lata)	Przykłady
1	10	Konstrukcje tymczasowe
2	od 10 do 25	Wymienne części konstrukcji, np. belki podsuwnicowe, łożyska
3	od 15 do 30	Konstrukcje rolnicze i podobne
4	50	Konstrukcje budynków i inne konstrukcje zwykłe
5	100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inżynierskie

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:

(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.

Powyższe wskazania zwracają uwagę na aspekty szczegółowe, ale stanowią w istocie jedynie podstawę do wstępnych uzgodnień projektanta ze zleceniodawcą. Nie dają bowiem konkretnych wskazówek ilościowych, ani jakościowych do założeń projektowania.

Znaczące rozwinięcie problemu projektowania na trwałość zawiera Rozdział 4 Eurokodu 2 cz. 1–1 *Trwałość i otulenie zbrojenia*. Tutaj na wstępie znalazły się kolejne ogólne zasady, nawiązujące do Eurokodu 1990 oraz normy materiałowej PN-EN 206–1 [5]:

(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 także poprzedniej polskiej normy PN-B/03264–2002), 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 uwzględnić wymagania dotyczące trwałości.*

W nawiązaniu do tak licznych zaleceń ogólnych, wskazano w Eurokodzie 2 cz. 1–1 szczegółowe wskazania związane z uwzględnieniem 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  $c_{\min, \text{dur}}$  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).

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

Projektant ma do dyspozycji jeszcze pomocniczą tablicę *Zalecane wartości graniczne dla składu i właściwości betonu* w normie PN-EN 206–1 [5] (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.

Bardziej przydatne w projektowaniu są szczegółowe tablice zatytułowane *Jakość betonu i otulina zbrojenia dla założonego okresu użytkowania*, zawarte w brytyjskim komentarzu do Eurokodu 2 [13] i w jego polskim odpowiedniku [14]. 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 [5], jak i rozszerzone zalecenia zawarte w [13], [14] odnoszą się do konstrukcji z betonów zwykłych.

## 2.2. Raporty i zalecenia międzynarodowe dotyczące projektowania na trwałość

Międzynarodowe dokumenty zawierające zalecenia projektowania na trwałość/okres użytkowania powstawały od połowy lat 1980., a zatem historia zaawansowanych rozważań w obszarze trwałości ma niespełna 30 lat. Wprawdzie Europejski Komitet Betonu (CEB) już w 1978 roku powołał grupę zadaniową *Trwałość (TG Durability)*, m.in. do opracowania podstaw sprawdzania konstrukcji betonowych z uwagi na trwałość, jednak pierwsze wyniki i ich rozpowszechnienie, a tym bardziej próby ich wprowadzenia do zaleceń, nastąpiły znacznie później. Skromnymi w treści dokumentami w Europie były trzy kolejno opublikowane Biuletyny CEB, nr 148 z roku 1984 [15], nr 182 z roku 1989 [16] i nr 238 z roku 1997 [17]. Dopiero w tym ostatnim dokumencie wyartykułowano podstawy probabilistycznego podejścia do problemów trwałości.

W zasadzie bez koordynacji, równoległe powstawały na ten temat inne dokumenty o zasięgu międzynarodowym – przygotowane w ramach Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO [18] i Amerykańskiego Instytutu Betonu [19]. Podstawę tych wszystkich dokumentów stanowiły coraz szersze prace badawcze.

W Europie wyróżniał się skalą badań wieloetapowy program finansowany przez Unię Europejską BRITE/EURAM [10], realizowany w kilku krajach Unii i ze znaczącym udziałem Norwegii. Wiele wyników badań wykorzystano przy redakcji normy wzorcowej MC-SLD [6] wspomnianej poniżej.

Wyodrębnione podejście do projektowania konstrukcji żelbetonowych ukierunkowane na projektowanie na okres użytkowania, datuje się od niespełna dekad. Uznano jednak prace nad tym problemem za niezmiernie pilne. Dzieje się tak dlatego, że 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” (*Model Code for Service Life Design*). 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 powstał w roku 2005 i został ostatecznie zaakceptowany na Kongresie *fib* w Neapolu, w czerwcu 2006r. [6]. Jednocześnie *Model Code for Service Life Design – MC-SLD* zaaprobowano w Podkomitecie ISO/TC71/SC8 „*Environmental Management for Concrete and Concrete Structures*” w maju 2007 r.

W normie wzorcowej MC-SLD ograniczono się do problematyki Technicznego Okresu Użytkowania, nie wchodząc w zagadnienia funkcjonalnej przydatności (Funkcjonalny Okres Użytkowania).

## 2.3. Stan przepisów projektowania na okres użytkowania

Celem przepisów projektowania konstrukcji betonowych na okres użytkowania jest wskazanie obliczeniowego podejścia, mającego zapewnić uniknięcie zniszczenia spowodowanego przez oddziaływania środowiska. 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. Skupiono się przede wszystkim na projektowaniu zapobiegającym korozji zbrojenia wywoływanej przez proces karbonatyzacji. Zalecana procedura podzielona jest na cztery fazy:

Faza pierwsza to ocena ilościowa mechanizmów zniszczenia, z realistycznym modelowaniem opisującym procesy fizykochemiczne 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 ustalonymi 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 żelbetonowej:

- 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  $\beta$ . W zależności od rodzaju stanu granicznego i klasy konsekwencji zniszczenia (związanej z klasą niezawodności), zalecane minimalne wartości  $\beta$  podano w EN 1990 [12]. Kwestie te omówiono wcześniej m.in. w pracy [1].

Czwartą fazą jest określenie typu stanu granicznego – nośności lub użyteczności – do jakiego należy zaliczyć stan graniczny określony w fazie drugiej. Na przykład, stan graniczny depasacji 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 dążeniu do podobnego charakteru przepisów normowych dotyczących bezpieczeństwa i użyteczności, 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 nowo projektowanych konstrukcji, lecz obejmowały także możliwość oszacowania pozostałego okresu dla istniejących konstrukcji lub dla konstrukcji poddanych rehabilitacji.

U podstaw zaleceń projektowania na okres użytkowania zawartych w MC-SLD leżą uzasadnione, ale dosyć optymistyczne założenia:

- projekty konstrukcji są wykonywane przez odpowiednio wykwalifikowanych i doświadczonych projektantów,
- odpowiedni nadzór i kontrola jakości są zapewnione w wytwórniach i na budowach,
- obiekty są wznoszone przez wykwalifikowany i doświadczony personel,
- materiały i wyroby są stosowane zgodnie z odpowiednimi specyfikacjami,
- konstrukcje będą odpowiednio utrzymywane, stosownie do zaleceń normowych,
- są spełnione minimalne wymagania wykonawstwa podane w EN 13670:2009 [20].

W normie MC-SLD przyjęto możliwość stosowania w projektowaniu na okres użytkowania – zależnie od dysponowania badawczym rozpoznaniem problemów – 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 rozwartości rys itp. Jest to znana z norm projektowania konstrukcyjnego bardzo przybliżona droga do zapewnienia odpowiedniego okresu użytkowania.
- (4) „Unikanie zniszczenia” (*avoidance of deterioration*) to realizacja wskazań ograniczających zagrożenia, na przykład ograniczenie nasiąkliwości, stosowanie powłok ochronnych, stosowanie stali nierdzewnej, stosowanie kruszyw nie grożących reaktywnością itp. Również to podejście jest znane i stosowane, ale w wielu sytuacjach napotyka na ograniczenia ekonomiczne, jak np. zbrojenie ze stali nierdzewnej.

#### 2.4. Problematyka trwałości w nowej normie wzorcowej *fib-Model Code 2010* [7]

W rozwinięciu zaleceń MC-SLD [6] brane są pod uwagę uwarunkowania związane z okresem użytkowania w dwojaki sposób:

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

W obydwu przypadkach chodzi o okresy, w których powinny być zachowane wymagane cechy przydatności konstrukcji. Kryteria przydatności w powiązaniu z projektowym okresem użytkowania i wymaganym poziomem niezawodności podano w Tablicy 2 (wzorowanej na Tablicy 3.2–1 w MC2010). Tablica ta podaje przykład kryteriów uwzględnianych w projektowaniu zwykłych budynków (projektowy okres 50 lat).

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*).

Przyjęto i podano ogólne wskazania dla projektowania w odniesieniu do założeń modeli sprawdzania stanów granicznych – albo analitycznych, albo numerycznych, albo bazujących na badaniach.

Problematykę trwałości praktycznie ograniczono do podejścia (4) lub (5).

**Podejście „uznane za wystarczające”** w zakresie trwałości obejmuje wymagania w odniesieniu do jako-

**Tablica 2.** Przykład wymagań przydatności w powiązaniu z projektowym okresem użytkowania i wymaganym poziomem niezawodności wg MC2010

Kategoria przydatności	Kryteria przydatności	Wymagania
Użytkowalność	<ul style="list-style-type: none"> <li>ograniczenia przemieszczeń,</li> <li>ograniczenia rozwarcia rys,</li> <li>ograniczenia drgań itp.</li> </ul>	projektowany okres użytkowania: <b>50 lat</b> poziom niezawodności $\beta = 1,5$
Bezpieczeństwo konstrukcyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>ograniczenia naprężeń,</li> <li>wymagana nośność,</li> <li>ograniczenia katastrofy postępującej.</li> </ul>	projektowany okres użytkowania: <b>50 lat</b> poziom niezawodności $\beta = 3,8$
Zrównoważoność	<ul style="list-style-type: none"> <li>ograniczenia emisji zanieczyszczeń,</li> <li>niekorzystny wpływ na społeczeństwo,</li> <li>estetyka itp.</li> </ul>	

ści 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 [6], gdzie podano przykłady kalibracji kryteriów dla podejścia „uznanego za wystarczające”.

**Tablica 3.** Zalecenia doboru rodzaju ekspozycji z uwagi na trwałość konstrukcji żelbetowej

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

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).

**Podejście „unikanie zagrożenia”** w zakresie projektowania na trwałość wymaga wykazania, 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 *Verification of limit states associated with durability*. Założono cztery możliwe podejścia do sprawdzania trwałości:

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

Podejścia te, na podstawie MC-SLD [6], scharakteryzowano powyżej w p. 2.3.

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.

W odniesieniu do „podejścia probabilistycznego i „częściowych współczynników” podano ogólne zasady modeli analitycznych.

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 2:1–1, czyli wartości minimalne zależą od:

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

W zakresie trwałości, minimalna otulina zależy ogólnie od odporności betonu na wpływ substancji chemicz-

nych 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. Zalecono ogólnie, aby dla okresu użytkowania 100 lat powiększyć otulinę odpowiednio o 30%.

Są to zalecenia znacznie mniej precyzyjne niż zawarte w Eurokodzie 2, a tym bardziej w porównaniu do wskazań zawartych w poradnikach projektowania [13], [14].

**Tablica 4.** Przykładowe zalecenia minimalnej otuliny ze względu na trwałość, wg MC2010 (w mm)

Klasy ekspozycji:	XC2		XC4		XD1	XD2	XD3
	X0	XC1	XC3		XS1	XS2	XS3
Konstrukcja żelbetowa	10	15	25	30	35	40	45
Konstrukcja sprężona	10	25	35	40	45	50	55

Podejście „unikanie zniszczenia” jest spełnione, gdy stan depastywacji nie może wystąpić w wyniku trwałej odporności na karbonatyzację, albo gdy oddziaływanie środowiska jest wyeliminowane, albo ma miejsce trwała odporność zbrojenia na korozję.

Warto także wspomnieć, że w p. 3.5 normy wzorcowej MC2010 wprowadzono problematykę „zarządzania cyklem istnienia konstrukcji” (*Life Cycle Management*), a w ramach zaleceń w tej dziedzinie – sporządzanie sukcesywne dokumentu typu Książka Obiektu (*Life Cycle File*). Sprecyzowano jednak 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*).

### 3. Zasady projektowania z uwzględnieniem wpływu na środowisko zawarte w zaleceniach międzynarodowych

Działalność budowlana w dziedzinie konstrukcji betonowych obejmuje pozyskanie surowców, produkcję materiałów i elementów składowych, wykonawstwo, użytkowanie, utrzymanie i naprawy, a wreszcie zbiórkę, recykling, ewentualne ponowne użycie elementów. Wpływ każdego etapu i całego cyklu tej działalności na środowisko powinien być rozważony i oceniony ilościowo.

Wymagania ograniczające oddziaływania na środowisko powinny być zadeklarowane przez inwesto-

ra na etapie planowania i projektowania obiektu. Podstawy prawne różnych poziomów ograniczeń, nawiązujące do licznych dokumentów w różnych krajach, przedstawiono w załączniku A do Biuletynu 47 *fib* [9].

Cały cykl konstrukcji betonowych 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. Jednakże, obecne wytyczne i podręczniki dotyczące projektowania konstrukcji betonowych, w niewielkim stopniu zwracają uwagę na aspekty środowiskowe.

#### 3.1. Globalne wpływy na środowisko

Wpływy na środowisko, od zużycia surowców i energii przez emisję gazów cieplarnianych w całym okresie użytkowania konstrukcji betonowych, powinny być rozważane w skali globalnej.

Zużycie surowców jest w obszarze konstrukcji z betonu wyjątkowo duże w porównaniu z innymi obszarami działalności człowieka i stąd 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 roku, identyfikuje 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 potocznie utożsamia się 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 (2020 r. i 2050 r.),
- podjęcie prac nad rozwojem innowacyjnych technologii, aby sprostać tym scenariuszom.

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

#### 3.2. Regionalne wpływy na środowisko

Przez wpływy regionalne związane z konstrukcjami betonowymi rozumie się 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 lokalne wpływy na środowisko powodowane konstrukcjami z betonu, związane z metalami ciężkimi, silnymi alkaliami i innymi szkodliwymi substancjami, dlatego nie mogą być także pomijane w ocenach.

### 3.3. Wpływ placu budowy na środowisko

Powodowanie zapylenia, hałasu i drgań, czyli uciążliwości oddziaływujących na pracowników i sąsiadów placu budowy jest 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.

### 3.4. Wpływ na lokalne środowisko

Przez środowisko lokalne rozumie się zarówno wnętrza, jak i otoczenie zewnętrzne 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).

### 3.5. Zalecenia w zakresie wpływu na środowisko zawarte w Model Code 2010 [7]

*fib-Model Code 2010* 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 zaspokajaniu ich potrzeb w podobny sposób.*

W p. 3. 4 *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 ochrony, 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,
- zanieczyszczenie 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,
- eksploatacji,
- procedur utrzymania,
- rozbiórki i składowania odpadów,
- procesów recyklingu,
- zużycia energii i surowców,
- spełnienia ograniczeń emisji CO<sub>2</sub>, zanieczyszczenia wody, skażenia gruntów, zapylenia, hałasu, drgań i uwalnianych substancji chemicznych.

W p. 7.10.1 *Verification of Sustainability – Impact on environment* podano zasady:

(1) *Gdy rozważa 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 (surowce, energia, szkodliwa emisja),
- 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) Rozważając kwestie, których spełnienie jest zawarte w specyfikacji projektowej, odrębną weryfikację można pominąć.

Komentarz do zasad podanych w p. 7.10.1 Model Code 2010 wyraźnie wskazuje, że przede wszystkim muszą być wybrane pola weryfikacji i określone wartości wymagań. Zbiór tych wymagań może albo wynikać z przepisów, albo z uzgodnień z inwestorem. To stanowi oczywiście problem i będzie niewątpliwie rodzito kontrowersje przy staraniach o pozwolenia na budowę.

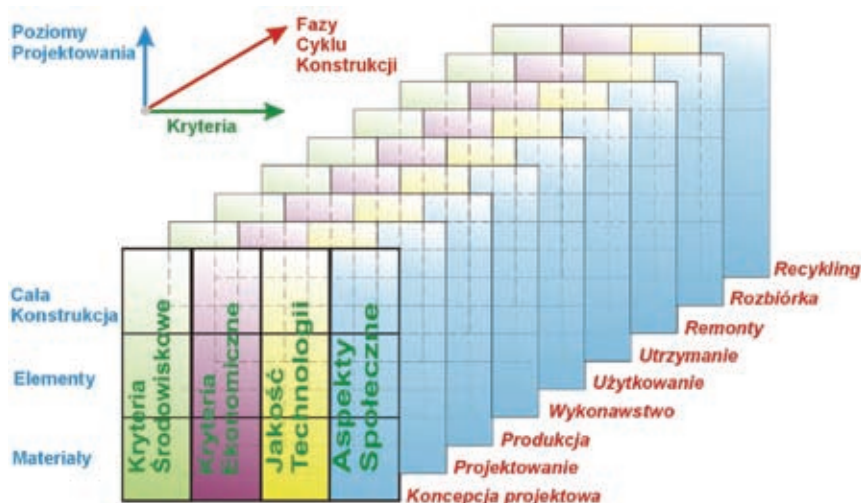
#### 4. Zasady zintegrowanego projektowania

Jak wspomniano we wstępie, zintegrowane projektowanie na okres użytkowania to nowe podejście, wprowadzające wszystkie związane i ważne wymagania do jednego wspólnego procesu projektowania. Łączy się tu projektowanie na poziomie materiału, elementu konstrukcyjnego i całej konstrukcji, a dalej rozważa na każdym z tych poziomów wybrane kryteria z szerokiego zakresu obejmującego cztery grupy: środowiskowe, ekonomiczne, techniczne i społeczno-kulturowe. Ilustruje to rysunek 2. Wagi poszczególnych kryteriów są zróżnicowane dla różnych typów obiektów lub ich części.

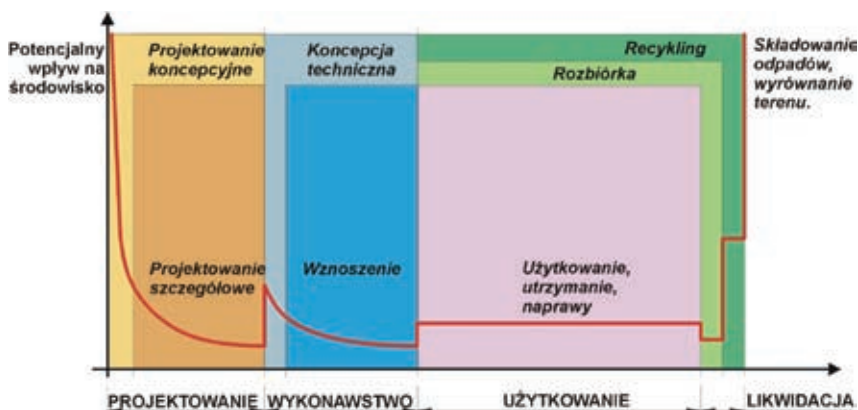
W istocie rysunek 2 pokazuje cztery równoległe ścieżki w zintegrowanym projektowaniu, z uwagi na:

- kryteria wpływu na środowisko,
- kryteria ekonomiczne łącznie z kosztami utrzymania i napraw,
- kryteria techniczno-technologiczne, które dotychczas dominowały w projektowaniu,
- kryteria społeczno-kulturowe dotyczące wpływu nowego obiektu na warunki społeczne.

Nową i ważną częścią proponowanego podejścia jest zintegrowana ocena konstrukcji betonowych w okresie użytkowania, obejmująca zależną od czasu wielokryterialną ocenę całej konstrukcji. To podejście powinno również brać pod uwagę różne kryteria



Rys. 2. Rozbudowany schemat projektowania zintegrowanego



Rys. 3. Potencjalny wpływ konstrukcji betonowej na środowisko w całym okresie realizacji i użytkowania – od projektowania do rozbiórki

użytkowe, kolejne fazy okresu użytkowania i różne poziomy rozpoznania – materiały, elementy i całą konstrukcję. Szczególnie istotne w tej ocenie są wpływy na środowisko w kolejnych fazach okresu użytkowania konstrukcji betonowych, które są związane z różnymi procesami technologicznymi.

Fazy analizowane dla okresu użytkowania konstrukcji betonowej – od koncepcji projektowej do likwidacji konstrukcji – mogą w bardzo różnym stopniu wpływać na środowisko. Przykładowy wynik analizy ilustruje rysunek 3.

Opracowano zaawansowane metody ujęcia ilościowego oddziaływania na środowisko całych obiektów. Ich podstawą jest najczęściej jedna z dwóch zasad postępowania:

- profil środowiskowy – złożony ze zbiorów wartości odniesionych do różnych kryteriów,
- oddziaływanie na środowisko – wyrażone przez jedną charakterystyczną wartość, jako sumę ważoną wartości odniesionych do różnych kryteriów.

Szereg informacji z tego zakresu zawarto w Biuletynie [8]. Szczególnie przydatne mogą być zebrane z różnych krajów doświadczenia i zalecenia w zakresie praktycznego stosowania wskaźników oceny w projektowaniu, a także liczne cytowane materiały źródłowe. Oczekiwana jest w tej sprawie ostateczna wersja dokumentu [23].

## 5. Podsumowanie

Projektowanie konstrukcji z betonu w niedalekiej przyszłości będzie obejmować trzy obszary, wymagające w praktyce rozważania równoległego:

- **Projektowanie konstrukcyjne** bazujące w podstawowym zakresie na normach konstrukcyjnych (obecnie: Eurokodach). Podobnie jak dotychczas, projektowanie to powinno obejmować koncepcję konstrukcyjną, obliczenia, rysunki i inne związane dokumenty. Szerzej niż do niedawna projekt konstrukcyjny ujmuje specyfikację materiałów, zasady wykonawstwa i kontroli przy wznoszeniu obiektu. Projekt konstrukcyjny koncentruje się na zdolności konstrukcji do przeniesienia fizycznych oddziaływań przekazywanych na konstrukcję.

- **Projektowanie na trwałość** koncentruje się na odporności konstrukcji na wpływy środowiskowe przekazywane **na konstrukcję**. Tutaj pojawił się pewien dualizm – wcześniej (2006 r.) powstała norma wzorcowa MC-SLD, a obecnie zakończono redakcję MC2010, ujmującej te kwestie nieco bardziej wąsko. Nie ma jednak sprzeczności między tymi dokumentami.

- **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 jest przedmiotem **zintegrowanego projektowania**, omówionego wstępnie w Biuletynie 47 *fib* [9], a bardziej szczegółowo w opracowaniu prezentowanym w kraju w 2006 r. [22] i w przygotowanym raporcie *fib* poświęconym tej tematyce [23].

### BIBLIOGRAFIA

[1] Ajdukiewicz A., Konstrukcje betonowe projektowane na okres użytkowania – badania a nowe ujęcia normatywne. Monografia: Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Wydawnictwo Politechniki

Białostockiej, Białystok 2007; Tom II – Konstrukcje budowlane i inżynierskie, s. 15–38

[2] Minimum requirements for durable concrete. (Editor: D.W.Hobbs) British Cement Association, Crowthorne 1998, 172 s.

[3] Gjorv O. E., Durability and Service Life Design of Concrete Structures. Proceedings of the 11th International fib Symposium “Concrete: 21st Century Superhero – Building a sustainable future”, 22–24 June, 2009, London; EMAP Networks; Keynote Paper, 16 p

[4] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków

[5] PN-EN 206-1:2003/A2:2006 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność

[6] Model Code for Service Life Design – MC-SLD. Bulletin 34, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2006; 116 p

[7] Model Code 2010 (First complete draft). International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2010; Vol. 1 – Bulletin 55, March 2010; Vol. 2 – Bulletin 56, April 2010; 292 + 288 p

[8] Environmental design. State-of-the-art report. Bulletin 28, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2004; 74 p

[9] Environmental design of concrete structures – general principles. Technical Report. Bulletin 47, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2008; 41 p

[10] BRITE/EURAM Program; DuraCrete 1996–99, DuraNet 1998–01, Darts 1997–2004

[11] European Symposium on Service Life and Serviceability of Concrete Structures. Proceedings ESCS’2006, (Editor: A. Sarja) Espoo, Finlandia, 2006, s. 413

[12] PN-EN 1990:2004/A1:2008. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji

[13] Concise Eurocode 2. (Editors: R. S. Narayanan, C. H. Goodchild) The European Concrete Platform ASBL, 2007; 109 p

[14] Eurokod 2. Podręczny skrót dla projektantów konstrukcji żelbetowych. (Redaktor: A. Ajdukiewicz) Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2009; s. 188

[15] CEB Bulletin d’Information No. 148 Durability of Concrete Structures. State-of-the-Art Report. Lausanne, 1984

[16] CEB Bulletin d’Information No. 182 Design Guide for Durable Concrete Structures. Second Edition, Lausanne, 1989

[17] CEB Bulletin d’Information No. 238 New Approach to Durability Design. Lausanne, 1997

[18] Guide for Service Life Design of Buildings. Part 1-General Principles. ISO Draft No 2, International Standard Organization, 1995

[19] Service Life Design ACI 365 (1R-00). State-of-the-Art-Report. ACI, 2000

[20] EN 13670: 2009: Execution of concrete structures, CEN,

2009 (polska wersja normy w opracowaniu) [21] Application of Environmental Design to Concrete Structures. fib-Commission 3, Task Group 3.9. Draft Manuscript approved in Washington, May 31, 2010

[22] Ajdukiewicz A., Zintegrowana ocena konstrukcji betonowych w projektowaniu na okres użytkowania. Materiały Konferencji „Dni Betonu 2006”, Wisła 9–11 października 2006; Polski Cement – Kraków, s. 1063–1072

[23] Integrated Life Cycle Assessment of Concrete Structures. State-of-art-report. fib-Commission 3, Task Group 3.7. Draft approved in Washington, May 31, 2010

[www.przegladbudowlany.pl/archiwum](http://www.przegladbudowlany.pl/archiwum)



**Archiwum od ręki**  
archiwalne spisy treści na stronach www