

Trwałość konstrukcji inżynierskich

Artykuł stanowi główną część referatu przedstawionego na Międzynarodowej Konferencji EKO-MOST 2006 w dniach 16 i 17 maja 2006 r. w Kielcach, zorganizowanej przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie.

Trwałość budowli jest obecnie tematem najczęściej podejmowanym – bezpośrednio lub pośrednio – w pracach badawczych, referatach i dyskusjach na konferencjach. Dzieje się tak w wielu krajach uważanych za zaawansowane technicznie. Wynika to z powszechnej oceny, że trwałość obiektów budowlanych jest niedostateczna i często nie odpowiada przewidywaniom. Prowadzi to do nadmiernych kosztów napraw i remontów, które są ponoszone w skali gminy, regionu czy państwa, a także do uciążliwych zakłóceń w normalnej eksploatacji budowli [1, 2].

Trwałość określana jest jako zdolność konstrukcji do spełniania minimum swojej funkcji przez okres planowanego użytkowania i w przewidzianych warunkach, bez konieczności ponoszenia nadmiernych kosztów napraw i konserwacji. Trwałość konstrukcji łączy się pośrednio z ważnym aspektem rozwoju naszej cywilizacji – ze zrównoważonym rozwojem.

Trwałość budowli można rozumieć jako dążenie zarówno do zapewnienia okresu pełnej eksploatacji w normalnych warunkach, jak też do uniknięcia katastrof i uszkodzeń, przy czym zagadnienie awarii budowlanych nie jest tu rozpatrywane.

Na rys. 1 pokazany jest schemat, na którym widać wiele grup zagadnień związanych z trwałością konstrukcji. W referacie, ze względu na powszechną wiedzę na temat wielu z nich i na ograniczenie objętości, tylko niektóre są rozpatrzone bardziej szczegółowo.

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI NA CAŁY OKRES UŻYTKOWANIA

Konstrukcje projektowane są tak, aby spełnić wymagania przed wystąpieniem jednego z dwóch podstawowych stanów granicznych: bezpieczeństwa konstrukcji i jej użyteczności. Oznacza to, że nie mogą wystąpić sytuacje, w których konstrukcja jest niedostatecznie wytrzymała lub stacyczna, a także w których występują objawy uniemożliwiające użytkowanie jej zgodnie z przeznaczeniem, np. nadmierne ugięcia, zbyt szerokie rysy czy nawet niedopuszczalne zmiany wyglądu powierzchni. Wymagania te dotyczą nie tylko całych konstrukcji, ale także elementów konstrukcyjnych i konstrukcji w trakcie wznoszenia.

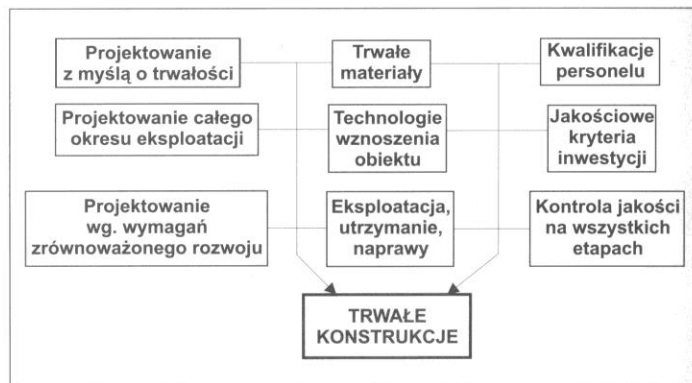
Na rys. 2 widać schemat kolejnych operacji zmierzających do zrealizowania budowli od powstania koncepcji do rozebrania. Widać z tego szkicu, że te czynności

układają się w rodzaj łańcucha – poszczególne operacje są zależne od poprzednich, a o wartości użytkowej obiektu może decydować ta z nich, która została najgorzej zrealizowana.

Planowanie inwestycji obejmuje wszelkie szczegóły przyszłego funkcjonowania budowli, z których wynikają potrzebne kształty i rozmiary, zapewniające wytrzymałość i stateczność. Wymagania z tym związane podane są w normach i przepisach różnego rodzaju i w różnym zakresie obowiązujących. Wszystkie te wymagania stanowią więc podstawę projektowania, określania kosztów, kontrolowania wykonywania i odbioru budowli, a także sposobów jej wykorzystywania. Brakuje natomiast określenia wymaganej trwałości; w większości przypadków odróżnia się tylko budowle przewidywane od trwałych, ale trwałość zwykle nie jest wyrażona liczbą lat, a przez to nie jest wymagana w procesie projektowania, dobierania materiałów ani wymiarowania i nie jest kontrolowana przy odbiorze budowli przez inwestora. Trwałość zwykłych konstrukcji określana jest na 50 lat, ale nawet takie założenie nie jest w sposób bezpośredni stawiane, uwzględniane ani wymagane [4].

Zupełnie odmiennie sytuacja wygląda np. w przemyśle lotniczym: tu silnik i samolot mają określoną liczbę godzin pracy, której nie można przekroczyć – po tym okresie eksploatacji muszą być przekazane na złom.

Trudno sobie wyobrazić obecnie zupełnie analogiczną sytuację w budownictwie, ale pojedyncze przypadki wskazują, że można stawiać podobne wymagania. Przykładowo budowane w latach 90. poprzedniego stulecia mosty i tunele przez cieśniny duńskie były projektowane na 150 lat, słynny wiadukt w Millau we Francji, oddany do użytkowania w grudniu 2004 r. – na 120 lat. Projektanci i wykonawcy musieli wówczas udowodnić wymaganą trwałość przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Podobne sytuacje wyjątkowe zachodzą w obiektach przeznaczonych do składowania odpadów radioaktywnych. Okazuje się, że projektowanie na określony okres użytkowania jest możliwe, a stosowane w rozsądnym zakresie byłoby niezbędnym warunkiem poprawienia trwałości wszystkich konstrukcji, nie tylko tych wyjątkowych. ▸



Rys. 1. Schemat grup zagadnień związanych z trwałością konstrukcji

► Jeżeli wymaganie trwałości nie jest ani formułowane, ani sprawdzane i kontrolowane, a tylko ogólnie uważa się za trwałe wszystkie konstrukcje, które nie są *explicite* określone jako tymczasowe, to nie można się dziwić, że w wyniku różnych procesów trwałość wielu budowli okazuje się niedostateczna. Dotyczy to w największym stopniu obiektów narażonych na bezpośrednie oddziaływania klimatyczne, a więc wszystkich mostów i konstrukcji hydrotechnicznych, nawierzchni dróg itd. Stan taki występuje we wszystkich krajach, a nie tylko w Polsce; jest na ten temat wiele doniesień medialnych i publikacji technicznych. Trwałość decyduje o długości okresu, który jest celem powstania budowli, a na rys. 2 oznaczony jako użytkowanie i utrzymanie.

Projektowanie trwałości konstrukcji jest ściśle związane z postulatem zrównoważonego rozwoju, który stał się powszechny po ogłoszeniu w ONZ w 1987 roku przez dr Gro Harlem Brundtland, pełniącą funkcję premiera Norwegii. W swobodnym tłumaczeniu ten postulat można wyrazić następująco: „Rozwój mający na celu zaspokojenie aspiracji rozwojowych obecnego pokolenia z zachowaniem możliwości zaspokojenia tych samych aspiracji przez przyszłe pokolenia”.

W odniesieniu do budownictwa zrównoważony rozwój obejmuje ograniczenia w wykorzystywaniu terenu, w zużyciu

energii i zanieczyszczaniu powietrza i wody, a przede wszystkim w zużywaniu surowców. Związek z trwałością konstrukcji inżynierskich jest oczywisty: zastąpienie obiektu, który okazał się nietrwały, wymaga zużycia dodatkowych ilości materiałów i energii, podobnie jak zbyt częste i poważne naprawy czy remonty. Obiekt, który spełnia swoje podstawowe funkcje przez 50 lat, przyniesie znaczne oszczędności energii i materiałów w stosunku do podobnego obiektu, który trzeba wymienić dwukrotnie w tym samym okresie.

Zasadnicza zmiana polega więc na projektowaniu budowli na cały okres przewidywanego użytkowania, wraz z kosztami utrzymania, koniecznych napraw, a nawet rozbiórki (ang. *live cycle design*). Przy takim systemie staje się oczywiste, że konstrukcje zaprojektowane i wykonane nieco drożej mogą okazać się znacznie tańsze po uwzględnieniu całej eksploatacji, uwzględniając także koszt rozbiórki i możliwość powtórnego zużycia odzyskanych materiałów. Proces przywracania wymaganej jakości konstrukcji można przedstawić w znany sposób, jak na rys. 3 (por. Sarja [5]). Po upływie czasu t_1 wartość R , określająca jakość konstrukcji, obniżyła się do takiego poziomu, że aby nie doprowadzić do wartości krytycznej R_{cr} , przeprowadzono naprawę, podwyższając jakość do wartości R_1 . W kolejnych naprawach po upływie czasów

t_2, t_3, \dots wykonywano naprawy, utrzymując jakość pomiędzy pierwotną wartością R_0 a wartością krytyczną R_{cr} . Zwykle po upływie pewnego czasu naprawy stają się coraz mniej skuteczne i bardziej kosztowne, co prowadzi do zakończenia użytkowania konstrukcji. W tym przykładzie jakość może być określana w sposób wymierny, np. przez nośność, która maleje wraz z postępem zużycia, albo przez szacunkową ocenę np. wyglądu zewnętrznego elewacji, która pokrywa się naciękami lub rysami.

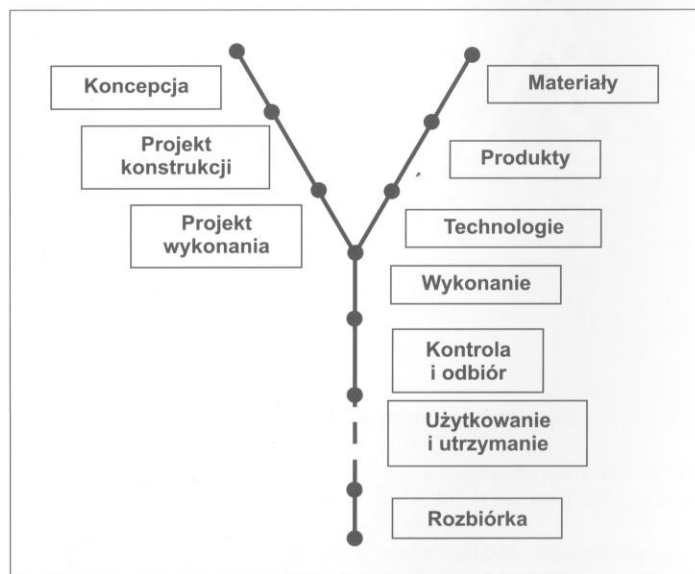
Przewidywany rozwój w czasie ogólnie oznaczonych obciążeń $S(t)$ i wytrzymałości $R(t)$ wraz z rozrzutami ich wartości oraz prawdopodobieństwo zniszczenia konstrukcji $P(t)$ przedstawiono schematycznie na rys. 4 (ISO [6]), na którym wzdłuż osi poziomej biegnie czas eksploatacji konstrukcji t . Górna część to wykresy średnich wartości obciążeń $S(t)$ i nośności $R(t)$ w czasie, wraz z funkcjami gęstości prawdopodobieństwa ich zmienności. Oczekiwane jest spełnienie warunku bezpieczeństwa w postaci nierówności:

$$R(t) > S(t) \quad (1)$$

w obu stanach granicznych zniszczenia i użytkowalności. Jednakże, ponieważ wszystkie obciążenia i ich skutki w konstrukcji oraz wytrzymałości i parametry geometryczne konstrukcji to wielkości losowe, charakteryzowane przez rozkłady swoich wartości, to sprowadza się to do nierówności:

$$P_f(t) = P\{R(t) - S(t) < 0\} < P_k \quad (2)$$

która oznacza, że prawdopodobieństwo $P_f(t)$ wystąpienia takiej sytuacji, że $S(t)$ jest większe od $R(t)$, jest mniejsze od akceptowanej wartości P_k . Na rys. 4 pole wspólne rozrzutu obu wielkości $R(t)$ i $S(t)$ odpowiada właśnie takiemu stanowi przekroczenia stanu granicznego w przewidzianym okresie użytkowania. Wartość P_k powinna być określona po uwzględnieniu rodzaju budowli, znaczenia wystąpienia rozważanego stanu granicznego, skutków społecznych i ekonomicznych itd. Można jako skrajne przykłady przytoczyć ważny budynek w centrum miasta i prowizoryczny barak, a także zawalenie się budynku i wystąpienie nieestetycznych płam na belkach mostowych.



Rys. 2. Kolejność operacji w okresie budowy i użytkowania budowli wg Marsha i Nixona (3)

W przewidywanym okresie trwałości t_k prawdopodobieństwo wystąpienia stanu granicznego konstrukcji wynosi P_k , zaś konstrukcja jest projektowana tak, aby w okresie t_d , na który konstrukcja jest projektowana, przy czym $t_k > t_d$, odpowiednie prawdopodobieństwo wynosiło tylko P_d , a $P_d < P_k$.

PROJEKTOWANIE Z MYŚLĄ O TRWAŁOŚCI W PÓŁPROBABILISTYCZNEJ METODZIE STANÓW GRANICZNYCH

Stosując powszechnie znany w projektowaniu konstrukcji format stanów granicznych, trzeba określić projektowany okres t_d eksploatacji budowli, wynikający np. z zamiarów inwestora, rodzaju budowli itd.

Charakterystycznego (przewidywanego) okresu trwałości t_k przez uwzględnienie danych statystycznych i analizy prawdopodobieństwa występowania w takim zadaniu wszystkich zmiennych losowych i ich intensywności, przy czym okres przewidywanej trwałości t_k jest większy niż okres projektowanego użytkowania t_d .

W przypadku projektowania wytrzymałości i nośności pod danymi obciążeniami stosuje się znaną metodę półprobabilistyczną, polegającą m.in. na wprowadzeniu nominalnych wartości obciążeń lub na uwzględnieniu nieznanymi rozkładów statystycznych wielkości występujących w takim zagadnieniu przez odpowiednie współczynniki częściowe. Współczynniki takie wobec braku dostatecznych informacji są wyznaczane na podstawie doświadczenia lub w inny szacunkowy sposób [7, 8]. Uwzględnienie trwałości w tym formacie proponowane jest różnymi metodami, z których jedna jest tu opisana.

Stosując w sposób analogiczny półprobabilistyczną metodę stanów granicznych, projektowany okres t_d można wyrazić zależnościami przedstawionymi we wzorach 3 i 4 [9, 10].

$$t_d = t_k / \gamma_t \quad (3)$$

gdzie:

t_k - charakterystyczny (przewidywany) okres trwałości budowli,
 γ_t - współczynnik, zwykle większy od jedności, będący iloczynem częściowych współczynników,

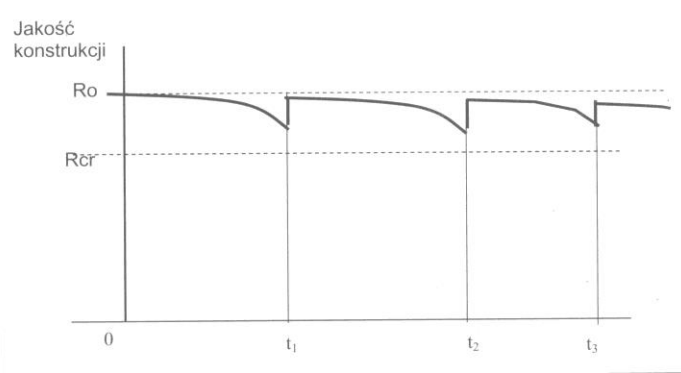
$$\gamma_t = \gamma_{t1} \cdot \gamma_{t2} \cdot \gamma_{t3} \cdot \gamma_{t4} \cdot \gamma_{t5} \cdot \gamma_{t6} \cdot \gamma_{t7} \dots \quad (4)$$

Częściowe współczynniki mają na celu szacunkowe uwzględnienie podstawowych czynników wpływających na odmienne od przewidywanego zachowanie się budowli w czasie. Przykładowo współczynniki takie mogą uwzględniać następujące okoliczności:

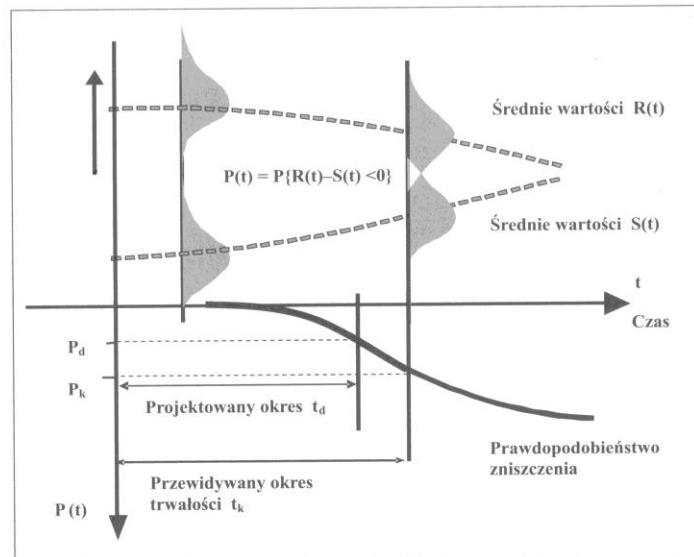
- γ_{t1} - znaczenie budowli i konsekwencje wystąpienia stanu granicznego,
- γ_{t2} - jakość projektowania i wymiarowania (niepewność przyjętych modeli),
- γ_{t3} - jakość wykonawstwa i kontroli na budowie,
- γ_{t4} - właściwości warunków wewnątrz budowli,
- γ_{t5} - właściwości warunków zewnętrznych,

γ_{t6} - sposób użytkowania, np. możliwość wystąpienia innych obciążeń,
 γ_{t7} - przewidywana jakość utrzymywania budowli.

Zależnie od okoliczności można powiększać liczbę częściowych współczynników, aby uwzględnić różne lokalne warunki i wymagania. Zwykle wartości współczynników powinny być większe lub równe jednoci, podobnie jak w przypadku projektowania wytrzymałości konstrukcji. Znane są inne metody określania współczynnika γ_t , np. według Sarji i Vesikariego [11], przy określaniu oczekiwanego poziomu niezawodności i statystycznego rozkładu degradacji. Zmienia to sposób postępowania przy projektowaniu, ale pozostaje koncepcja wymaganej



Rys. 3. Podtrzymywanie jakości konstrukcji w czasie



Rys. 4. Prawdopodobieństwo zniszczenia konstrukcji w czasie, wg 6

▷ trwałości przy określonym prawdopodobieństwie powstania stanu granicznego.

Podczas stosowania częściowych współczynników może okazać się na przykład, że w przypadku obiektu projektowanego i wykonywanego przez renomowane firmy, przy braku zagrożenia czynnikami korozyjnymi, projektowany okres trwałości niewiele różni od wymaganego przez inwestora okresu eksploatacji. Natomiast budowla narażona na niedokładnie rozpoznane czynniki agresywne powinna być projektowana na okres znacznie dłuższy od oczekiwanego przez inwestora. Na przykład konstrukcja projektowana na $t_d = 50$ lat powinna zachować trwałość przez okres $t = 70$ lub w drugim przypadku przez 90 lat.

Opisany sposób określania wymaganej i projektowanej trwałości budowli wprowadza zmiany sposobu formułowania założeń przez inwestora i odpowiedniego ich realizowania przez projektanta. Konieczne jest uwzględnienie okoliczności skutkujących tym, że rosnące wymagania trwałości powodują wzrost pierwotnego kosztu, natomiast koszt całkowity takich budowli, obejmujący także utrzymanie i naprawy, będzie w okresach rocznych nawet znacznie niższy.

Działanie czynników agresywnych może być wprowadzone do formatu stanów granicznych w sposób analogiczny do efektów obciążeń. Należy wówczas określić decydujące w danym przypadku działanie

agresywne i wyznaczyć charakterystyczny okres czasu T_k , w którym doprowadzi ono do powstania stanu granicznego. Aby wyznaczyć projektowany okres czasu T_d , należy T_k podzielić przez odpowiedni współczynnik [9, 10]:

$$T_d = T_k / \gamma_d \quad (5)$$

gdzie:

T_k - charakterystyczny okres czasu, po którym rozpatrywane działanie agresywne doprowadzi do stanu granicznego zniszczenia lub utraty użyteczności; wartość tę można określić na podstawie wyników badań doświadczalnych lub obserwacji obiektów;

γ_d - współczynnik, zwykle większy od jedności, który ma uwzględnić wpływ różnych czynników losowych, szacowanych na podstawie doświadczenia i obserwacji podobnych konstrukcji.

Współczynnik γ_d może być wyznaczony jako iloczyn częściowych współczynników, wyrażających wpływ różnych czynników, szacowanych oddzielnie:

$$\gamma_d = \gamma_{d1} \gamma_{d2} \gamma_{d3} \gamma_{d4} \dots \quad (6)$$

Przykładowo w przypadku przyjęcia karbonatyzacji betonu i korozji stali zbrojeniowej jako działania agresywnego, a dotarcia tego procesu aż do prętów zbrojenia jako stanu granicznego trwałości, częściowe współczynniki mogą wyrażać:

γ_{d1} - grubość otuliny stali zbrojeniowej względem wartości normowej,

γ_{d2} - prawdopodobieństwo zapewnienia jednakowej grubości otuliny,

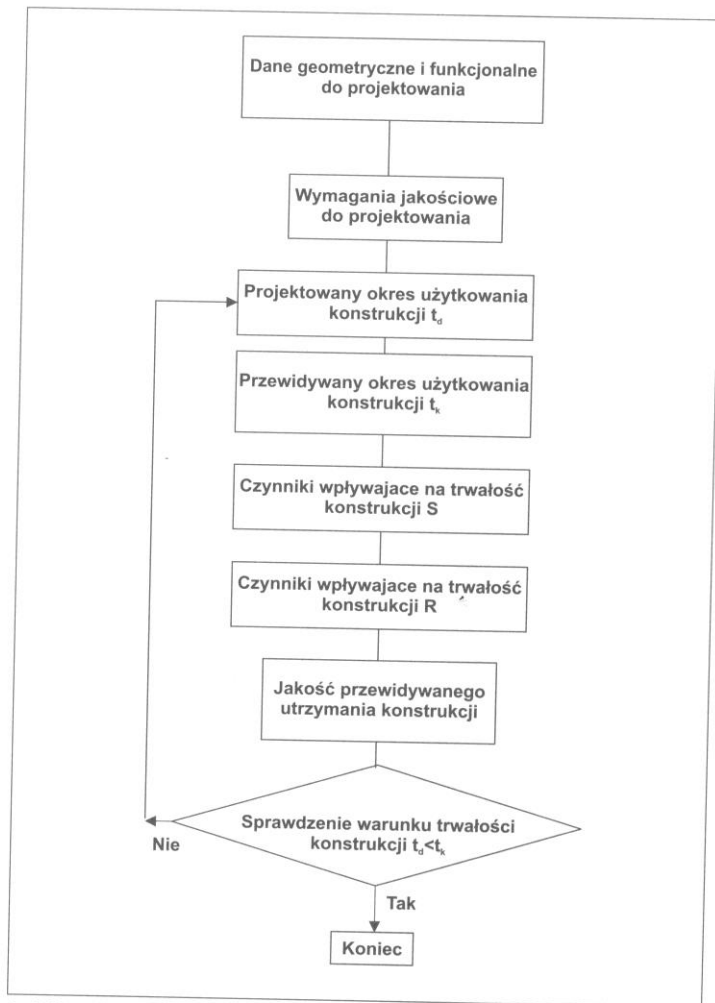
γ_{d3} - szczelność betonu otuliny,

γ_{d4} - możliwość wystąpienia rys i mikrorys, ułatwiających karbonatyzację.

Wszystkie te czynniki mają charakter losowy, ale wobec nieznaności rozkładów statystycznych tych wielkości trzeba zastosować wartości szacunkowe współczynników γ_{di} , wyznaczone na podstawie doświadczenia, obserwacji podobnych konstrukcji itp. Warunkiem trwałości budowli ze względu na rozpatrywane oddziaływanie agresywne jest spełnienie nierówności:

$$T_d > t_d \quad (7)$$

co oznacza, że okres przed spowodowaniem przez agresywne oddziaływanie ▷



Rys. 5. Schemat blokowy sprawdzania trwałości konstrukcji wg Nirakiego [12]

► określonego stanu granicznego jest dłuższy od projektowanego okresu eksploatacji budowli. Wówczas trwałość budowli jest zapewniona z prawdopodobieństwem wynikającym z przyjętych wartości współczynników lub z rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia i intensywności oddziaływań.

Jeżeli możliwe jest występowanie kilku oddziaływań agresywnych, to można albo rozpatrywać je kolejno, albo uwzględnić ich wzajemne relacje, np. w sensie przyspieszania agresywnych procesów (negatywna synergia). W pierwszym przypadku okaże się, które z rozpatrywanych oddziaływań prowadzi w najkrótszym czasie do wystąpienia stanu granicznego. W drugim przypadku potrzebne jest zbudowanie odpowiedniego modelu, uwzględniającego łączne występowanie dwóch lub więcej oddziaływań.

Przedstawiony powyżej półprobabilistyczny schemat uwzględnienia trwałości w projektowaniu może być rozmaicie rozwijany i rozbudowywany. Dyskutowana jest m.in. celowość wprowadzenia odrębnego stanu granicznego trwałości. Można bowiem uważać, że stan graniczny trwałości odpowiada inicjacji procesu prowadzącego do wystąpienia któregoś z dwóch stanów granicznych. Oznacza to, że w tym stanie inicjacji (*initiation durability state*) nie jest jeszcze zagrożona wytrzymałość ani użyteczność, ale konstrukcja przestała być trwała, ponieważ rozpoczął się proces prowadzący do jednego z tych stanów. Aby przywrócić trwałość, trzeba w tym okresie zastosować odpowiednie środki zaradcze i przerwać ten proces.

Schemat blokowy sprawdzania trwałości konstrukcji, niezależny od przyjętej metody, pokazany jest na rys. 5 (Niraki [12]).

TRWAŁE MATERIAŁY

Pojęcie trwałości jest używane potocznie, chociaż nie jest ściśle. Trwałość budowli, konstrukcji lub elementu może być określona w wymaganiach przy rozpoczynaniu procesu inwestycyjnego lub oceniana w odniesieniu do istniejących obiektów, natomiast materiały wykazują zmienność właściwości w czasie, w wyniku starzenia i oddziaływania różnych czynników. Znaczenie zmian tych właściwości zależy od przeznaczenia danego materiału, sposobu jego wykorzystania w konstrukcji, a przede wszystkim od rodzaju konstrukcji. Przyjęło się jednak mówić o trwałości materiałów budowlanych, rozumiejąc właśnie tę zmienność.

Trwałość podstawowych materiałów konstrukcyjnych w zależności od ich rodzaju, jakości i warunków jest tematem wielu książek, publikacji i badań. Opisanie nawet tylko elementarnych wiadomości na temat czynników agresywnych wobec różnych konstrukcji przekroczyłoby zakres tego referatu. Wystarczy tu zaznaczyć, że zastosowanie materiałów o trwałości odpowiadającej co najmniej przewidywanemu okresowi użytkowania budowli, w której mają być użyte, jest podstawowym wymaganiem, podobnie jak systematyczna kontrola zmian zachodzących pod wpływem czasu i użytkowania.

KWALIFIKACJE PERSONELU

Wymaganie wysokiej kwalifikacji personelu na wszystkich etapach projektowania i wznoszenia budowli jest coraz bardziej aktualne wobec rozwoju nowych materiałów i technologii. Jeżeli przykładowo rozpatrzeć wykonywanie betonów wysokowartościowych (BWW), samozagęszczalnych czy nawet zwykłych napowietrzonych oraz stosowanie stali antykorozyjnych lub konstrukcji zespolonych, to okazuje się, że przygotowanie personelu projektującego i wykonującego w wielu przypadkach może okazać się niewystarczające. Postulat doskonalenia zawodowego i świadectw przygotowania do poszczególnych prac jest podnoszony w wielu opracowaniach w krajach najbardziej rozwiniętych [13, 14]. Okazuje się, że świadectwa wymagane od dawna tylko od spawaczy i operatorów sprzętu są także potrzebne na innych stanowiskach robotniczych, a tym bardziej kierowniczych i kontrolnych. Co więcej, w przypadku użycia niekonwencjonalnych materiałów lub technologii, jak na przykład właśnie wspomnianego betonu samozagęszczalnego, konieczne jest ustalenie systemu łączności ze specjalistycznym laboratorium i zespołem odpowiednio przygotowanych osób w celu konsultacji w razie nagłych i nietypowych trudności.

System zapewnienia i kontroli jakości (*Quality Assurance/Quality Control*) jest niezbędny w budownictwie i coraz częściej taka konieczność jest uznawana. Znaczenie tego systemu występuje szczególnie wyraźnie przy stosowaniu zaawansowanych technologii i materiałów, ponieważ użycie odpowiednich metod, a następnie sposobów eksploatacji decyduje o jakości i trwałości.

KRYTERIA JAKOŚCI W INWESTOWANIU

Już podczas planowania inwestycji występują przyczyny niedostatecznej trwałości, które można określić jako nietechniczne. Są to decyzje przy wyborze rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i organizacyjnych, które określają końcową jakość budowli. Najczęściej niewłaściwe decyzje są podyktowane względami oszczędności i przyspieszenia prac, a przez to ograniczenia kosztu inwestycji, ale czasami wynikają także z niekompetencji.

Na tym etapie występują istotne przyczyny zmniejszonej trwałości konstrukcji, determinujące jakość przyjętych rozwiązań, a wynikające z ograniczania kosztu – dotyczy tych pozycji, które wydatkowane są od początku aż do oddania budowli do użytkowania (ang. *first cost*), natomiast nie są uwzględniane koszty utrzymania, napraw, okresowego wyłączenia z użytkowania podczas napraw, a także zwiększonego ryzyka wystąpienia stanów granicznych nośności, użyteczności lub trwałości. Ten ostatni aspekt niemal nigdy nie jest brany pod uwagę, a analiza ryzyka (*risk analysis*) w dziedzinie budownictwa pozostaje w opracowaniach naukowych, chociaż jest niezbędnym narzędziem przy wyborze rozwiązań w innych dziedzinach, np. transportie, telekomunikacji, informatyce i in.

Przykłady zbyt oszczędnego (w sensie „pierwszego kosztu” – *first cost*) planowania inwestycji i projektowania budowli stają się widoczne podczas analizowania przyczyn wielu awarii budowlanych. Można tu wymienić jako najczęstsze:

- wybór najtańszych oferentów podczas przetargów na poszczególne etapy inwestycji, bez dostatecznego uwzględnienia innych argumentów, np. wielkości i renoimy przedsiębiorstwa, jego sytuacji finansowej i doświadczenia;
- rozbudowane systemy podwykonawców poszczególnych rodzajów robót, które utrudniają kontrolę jakości i określenie odpowiedzialności;
- nadmierne oszczędności planowanej budowy, począwszy od projektowania przyspieszonego w stosunku do realizacji, przez zbyt szybkie wykonywanie poszczególnych etapów, np. przenoszenie rusztowań przed uzyskaniem dostatecznej wytrzymałości betonu, aż do rezygnowania z nadzoru autorskiego na budowie; ►

- ▷ stosowanie nowoczesnych rozwiązań głównie w celach reklamowych, bez uwzględnienia koniecznych wymagań technologicznych i technicznych, np. użycie betonów wysokowartościowych bez odpowiedniej pielęgnacji, stosowanie uzbrojenia włóknami przy zbyt małej ich ilości; w ogólności – niedostateczne przygotowanie personelu do realizowania nowoczesnych, ale trudniejszych technologii.

Oczekiwanie wysokiej jakości budowlanej i trwałości przy daleko idących oszczędnościach nie jest uzasadnione i najczęściej nie jest spełnione. Szczęólnego znaczenia nabierają w takich sytuacjach ludzkie błędy i pomyłki [15].

NORMY I ZALECENIA W BUDOWNICTWIE

Wszystkie etapy projektowania i wykonywania obiektów budowlanych są objęte normami. Normy te, niezależnie od ich formalnego statusu – obowiązujące czy nieobowiązujące – wywierają ogromny wpływ na przebieg i wyniki całego procesu budowlanego. W znakomitej większości normy są utrzymane w konwencji recepturowej (*prescriptive standards*), to znaczy, że zawierają wymagania w postaci zaleceń ilościowych, odnoszących się do poszczególnych składników betonu i ich proporcji, do jakości stali konstrukcyjnej, do niektórych etapów procesów technologicznych itd. Są one łatwiejsze do stosowania niż normy jakościowe: takie, które zawierają wymagania uzyskania określonych właściwości (*performance standards*). Normy recepturowe istnieją od lat i stanowią trwałe elementy procesu budowlanego, a ich znajomość – niezbędną część wykształcenia i w ogóle przygotowania zawodowego. Jednakże utrudniają wprowadzanie nowych składników i metod i stanowią swego rodzaju hamulec rozwoju i innowacji. Stąd pochodzi powszechny postulat stopniowego przechodzenia od norm recepturowych do norm określających jakość (*prescriptive to performance, P2P*).

Wiele dotychczasowych norm recepturowych zawiera w swojej treści zezwolenie na odejście od wymagań pod warunkiem naukowego uzasadnienia. Nie jest to jednak stosowane w większości przypadków, m.in. ze względu na dodatkowe komplikacje z przygotowaniem takiego uzasadnienia. Wymagania normowe stanowią więc bezpośrednie i skuteczne ograniczenie

innowacyjnych działań w budownictwie. Pokonywanie takich wymagań przedłuża wydatnie uzyskanie możliwości stosowania nowych materiałów i metod.

Żaden nowy element w tworzeniu konstrukcji nie jest uwzględniany przez istniejące w tej dziedzinie normy recepturowe, a często takie nowości są nawet bezpośrednio poza dozwolonymi granicami. Można argumentować, że pewien konserwatyzm jest potrzebny ze względu na bezpieczeństwo obiektów budowlanych, ale efekt opóźnienia innowacji jest niewątpliwy. W obecnym okresie szybkiego rozwoju w budownictwie przejście w jak największym stopniu od norm recepturowych do norm jakościowych jest konieczne. Niestety, nawet najnowsze normy wprowadzane wraz z wejściem Polski do systemu normalizacji w Unii Europejskiej to normy recepturowe, np. PN-EN 206. Bez zasadniczej zmiany w normalizacji będzie trudno uzyskać podstawy do budowy trwałych konstrukcji spełniających jednocześnie konieczne wymagania ekonomiczne.

Projektowanie na cały okres użytkowania (*live cycle design*) pojawiło się być może po raz pierwszy w dokumencie normalizacyjnym w Japonii w 1988 r. [16] jako zbiór zaleceń, opublikowany po angielsku w 1993 r., a w Wielkiej Brytanii w 1992 r. [17]. Dopiero później takie projektowanie pojawiło się w normach przygotowanych w ISO. W 2004 r. podjęto opracowanie normy ISO, w której bezpośrednio sformułowany jest stan graniczny trwałości konstrukcji jako jeden ze stanów granicznych. Przygotowywana jest norma ISO, która ma tytuł [6]; można oczekiwać jej publikacji w 2007 roku.

Trwałość konstrukcji nie jest dotychczas ujmowana wprost w normach budowlanych. Trafnie opisał ten stan Thomas w pracy 18. Ze względu na powszechne kłopoty z trwałością konstrukcji betonowych poświęcono im szczególnie wiele prac (m.in. 19 i 20). Szereg norm dotyczących betonu w USA, Kanadzie, a także norma europejska EN 206-1:2000 zawierają przepisy ograniczające przede wszystkim współczynnik w/cm (stosunek ilości wody w mieszance do masy składników wiążących), co wprawdzie zwiększa szczelność betonu, ale także powoduje wzrost podatności na zarysowanie. Istnieją w normie również inne ograniczenia, np. minimalne ilości cementu

portlandzkiego i powietrza w formie przepisów recepturowych. Tymczasem badania od kilkunastu lat wskazują na konieczność zasadniczych zmian w składzie betonów, w przypadku których najważniejsza jest trwałość, a nie tylko wytrzymałość na ściskanie. Chodzi tu głównie o dopuszczenie do użycia różnych drugorzędnych składników, jak pyły dymnicowe i silikonowe, nowe odmiany pyłów dymnicowych z kotłów fluidalnych, mielone żużle itd [21]. Okazuje się, że obecność tych składników zamiast części cementu portlandzkiego powiększa odporność na różne rodzaje czynników agresywnych, których oddziaływanie musi być uwzględniane w projektowaniu trwałych konstrukcji.

Brak norm krajowych utrudnia stosowanie włókien rozproszonych jako zbrojenia betonu, które w wielu rodzajach konstrukcji są niezbędne do poprawienia trwałości.

ZAKOŃCZENIE

Prace badawcze zmierzające do lepszego poznania chemicznych i fizycznych zjawisk prowadzących do nietrwałości konstrukcji betonowych są potrzebne i powinny być dalej rozwijane. Jednak obecna wiedza w dziedzinie materiałów i technologii budownictwa jest wystarczająca, aby w istotnym zakresie poprawić trwałość konstrukcji budowlanych. Podstawowe wiadomości znajdują się w powszechnie dostępnych podręcznikach i normach, ale nie są w pełni stosowane. Na przykład w podręczniku Europejskiego Komitetu Betonu z 1989 roku [22] stwierdzono, że umiemy wykonywać trwały beton, ale tego nie robimy; odnosi się to równie dobrze do konstrukcji z innych materiałów. Na obecną niezadowalającą sytuację wpływają rozmaite czynniki nietechniczne, stwarzające przyczyny uszkodzeń. Są to przede wszystkim często występujące:

- nadmierne oszczędności na kolejnych etapach procesu budowlanego,
- brak systematycznej i kompleksowej kontroli projektowania i wykonawstwa,
- niedostateczne kompetencje personelu na budowach, a także służb utrzymania obiektów.

Konieczne jest wprowadzenie do norm wymagań zmierzających do zapewnienia trwałości i stopniowe doskonalenie tych wymagań w miarę uzyskiwania doświadczenia

w ich stosowaniu. Dotyczy to całego budownictwa, a w szczególności konstrukcji inżynierskich. □

Literatura

1. *The Status of Cement and Concrete R&D in the United States*. Publ. National Materials Advisory Board 361, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1980.
2. *Concrete Durability: A Multibillion-dollar Opportunity*. Publ. National Materials Advisory Board 437, National Academy Press, Washington, D.C. 1987.
3. Marsh B.K., Nixon P.J.: *Assuring performance of concrete structures through a durability audit*. [W:] *Int. Conf. Concrete in the Service of Mankind. Appropriate Concrete Technology*. Dundee 1996, 49-59.
4. Somerville G.: *Whole life design for durability and sustainability. Where are we going, and how do we get there?* Proc. Int. Conf. „Concrete Durability and Repair Technology”, Thomas Telford, Dundee 1999, 1-19.
5. Sarja A.: *Integrated Life Cycle Design of Structures*. Spon Press, 2002, s.142.
6. *General Principles on the Design of Structures for Durability*. ISO13823, Draft 8a, 2006.
7. Brandt A.M., Kucharska L.: *Współczesne kierunki projektowania trwałości betonu*. XVII Konf. „Beton i Prefabrykacja”, t. 1, Popowo 2000, 109-121.
8. Brandt A.M., Kucharska L.: *New trends in designing the durability of concrete*. 3rd Int. Conf. „Concrete under Severe Conditions”, Banthia N. (ed.), Vancouver 2001, 797-810.
9. Brandt A.M.: *Uwagi o trwałości konstrukcji betonowych*. „Drogi i Mosty”, 3, 2004, 5-14.
10. Brandt A.M.: *On the durability of concrete structures*. [w:] Proc. Int. Symp. CanMet'05 and Mindess Symp., Vancouver, sierpień 2005, 441.
11. Sarja A., Vesikari E. (eds): *Durability design of concrete structures*. RILEM Report Series 14, E&FN Spon, vol. VI, 1997, 165.
12. Niraki T.: *Service life design*. „Construction and Building Materials”, vol. 10, no 5, 1996, 403-406.
13. *Roadmap 2030. The U.S. Concrete Industry Technology Roadmap*. Strategic Development Council, December 2002, 44.
14. *Concrete Technology. Materials Science for Concrete*. Proc. of the Anna Maria Workshops 2002, 2003, 2004. Skalny J., Mindess S., Boyd A. (eds), The American Ceramic Society, 2005, 191.
15. Kucharska L.: *Katastrofy, awarie i uszkodzenia a beton i jego rozwój*. XX Konf. „Awarie Budowlane”, Międzyzdroje 2001, 89-118.
16. *Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*. Architectural Institute of Japan, Tokyo 1988 (ang. 1993).
17. *Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components*. BS 7543, British Standard Institution, London 1992.
18. Thomas M.D.A.: *Code requirements for durability: are they good enough?* RILEM Report Series 14, E&FN Spon, vol. VI, 1997, 457.
19. Mindess S.: *Materials selection, proportioning and quality control*. [W:] Shah S.P., Ahmed S.H. (eds): *High Performance Concrete and Applications*. Edward Arnold, 1994, 1-25.
20. Sakai K., Boulfiza M.: *Durability design of concrete structures*. [W:] George C. Hoff Symposium on High-Performance Concrete for Marine Environment, T.C. Liu (ed.), CANMET/ACI Int. Conf., Las Vegas, May 2004.
21. Brandt A.M., Glinicki M.A.: *Effects of pozzolanic additives on long-term flexural toughness of HPGFRC*. 4th Int. Conf. „High Performance Fiber Reinforced Cement Composites”, A.E. Naaman, H.W. Reinhardt (eds), Ann Arbor 2003, 399-408.
22. *Durable Concrete Structures*. CEB Bulletin d'Information no 182, 1989.

Magazyn

Targi Infrastruktura • Polski Kongres Drogowy
ZAPRASZAMY!

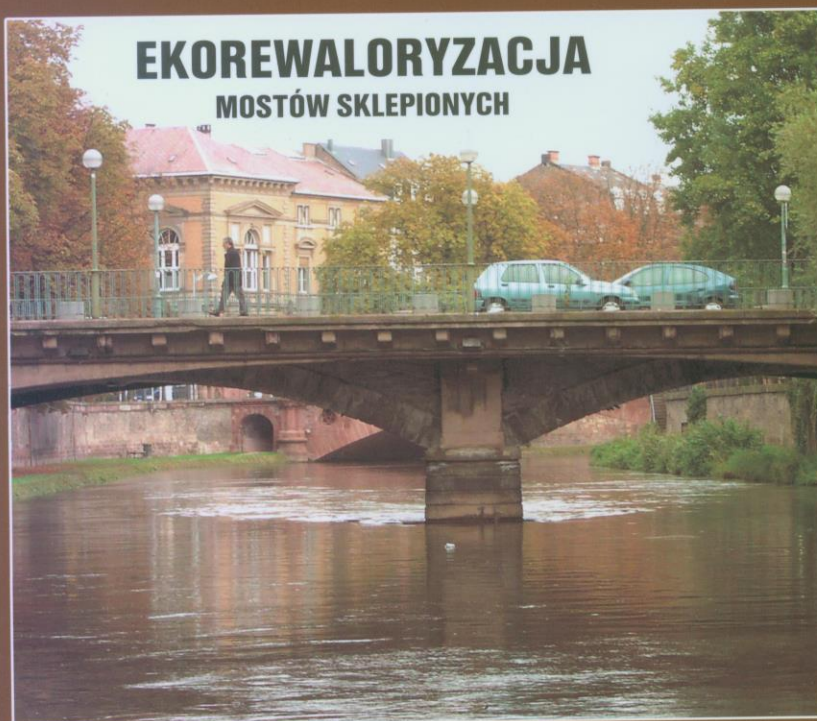
ELAMED
WYDAWNICTWO

AUTOSTRADY

ISSN 1730-0703

Budownictwo drogowo-mostowe

10/2006
październik



POLECAMY



„Mosty”
– wydanie specjalne
„Magazynu Autostrady”



Przejścia
dla zwierząt



Stalowe bariery
ochronne



www.autostrady.elamed.pl