

Anna Sobotka, Robert Bucoń

Kierunki rozwoju metod przewidywania okresu użytkowania obiektów budowlanych

Problemy Rozwoju Miast 2/3, 58-67

2005

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

KIERUNKI ROZWOJU METOD PRZEWIDYWANIA OKRESU UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Abstrakt. Warunki stawiane dzisiejszym obiektom wymagają od projektanta właściwego doboru rozwiązań materiałowych oraz konstrukcyjnych. Kluczowym zagadnieniem stało się zatem właściwe oszacowanie okresu użytkowania, czemu służą odpowiednie metody obliczeniowe. W artykule przedstawiono przegląd metod szacowania okresu użytkowania i ich krótką charakterystykę oraz omówiono pojęcie okresu użytkowania obiektu budowlanego. Więcej uwagi poświęcono metodom symulacyjnym, które obecnie są rozwijane i stosowane w tej dziedzinie i stanowią dobre narzędzie badawcze i obliczeniowe. Zaprezentowano przykłady obliczeń zaczerpnięte z literatury i badań własnych, w których zastosowano metodę symulacyjną.

Słowa kluczowe: trwałość, okres użytkowania, metody przewidywania okresu użytkowania.

1. Wstęp

Nowoczesne podejście do planowania inwestycji i projektowania obiektów budowlanych powinno uwzględniać okresy ich użytkowania. Wpływ na okres użytkowania całego obiektu budowlanego mają poszczególne materiały i elementy budowlane, składające się na obiekt, a także jego warunki realizacji i eksploatacji. Fakt ten powinien być uwzględniony podczas opracowania projektu budowlanego, przy doborze materiałów i elementów. Długość okresu użytkowania, koszty i korzyści z eksploatacji obiektów są ważnymi elementami w podejmowaniu decyzji, które w przyszłości będą rzutowały na fazę eksploatacji, w tym remonty, modernizację i likwidację obiektów. W związku z tym potrzebna jest odpowiednia wiedza dotycząca okresu użytkowania poszczególnych materiałów i elementów budowlanych. Odnosi się to zarówno do nowych materiałów, jak również tych powszechnie stosowanych, których okres użytkowania zależy przede wszystkim od warunków, w jakich będą użytkowane. Istotne stało się zatem budowanie bazy danych o okresach użytkowania materiałów, elementów oraz obiektów budowlanych a także opracowanie odpowiednich metod, które w możliwie prosty sposób pozwolą precyzyjnie określić okresy ich użytkowania. Te informacje są niezbędne przy doborze właściwych materiałów do projektowanego obiektu, dostosowaniu ich do wymagań i oczekiwań inwestora lub przyszłego użytkownika, co do okresu użytkowania i ewentualnej likwidacji (rozbiórki) obiektu.

Dotychczas opracowano wiele metod, które ogólnie można podzielić na metody deterministyczne, probabilistyczne oraz symulacyjne. Metody te umożliwiają obliczenie przewidywanego okresu użytkowania elementu (PSLC). Wiarygodność tych szacunków zależy przede wszystkim od danych, na których są oparte.

W artykule podano definicję okresu użytkowania obiektu budowlanego, przedstawiono przegląd wybranych metod szacowania okresu użytkowania oraz przykłady szacowania okresu użytkowania metodami symulacyjnymi.

2. Zdefiniowanie okresu użytkowania

Okres użytkowania można określić jako czas rzeczywisty użytkowania materiałów i elementów budowlanych. W istocie operuje się jednak różnymi określeniami i definicjami okresu użytkowania w zależności od zastosowanej metody (modelu) oraz jego ilościowego oszacowania. Jednak do stosowania w praktyce projektowej interesuje nas i jest możliwy do określenia tzw. przewidywany okres użytkowania. Poprawne oszacowanie okresu użytkowania nie powinno bazować wyłącznie na trwałości lub ekonomice materiałów i elementów budynku. Trwałość jest oczywiście czynnikiem ograniczającym okres użytkowania, w tym sensie, że okres użytkowania nie może przekraczać ograniczeń ustalonych przez trwałość, jednak rzeczywisty okres użytkowania rzadko osiąga pełny potencjalny okres eksploatacji elementów, wyznaczany przez trwałość, gdyż na okres użytkowania wpływa, skracając go, wiele innych wymagań w zakresie takich właściwości jak np. bezpieczeństwo, wygląd, funkcja.

Wszystkie metody badawcze mają określić długość okresu użytkowania w celu wyznaczenia końca tego okresu. Nie jest to jednak wartość uniwersalna i łatwa do określenia. Ogólnie mówiąc, jest to punkt w czasie, kiedy wymagania stawiane elementom nie są już dłużej spełniane, tj. są na poziomie niższym niż możliwy do zaakceptowania. Metody, za pomocą których wyznaczane są wartości przewidywanego okresu użytkowania, można podzielić na trzy zasadnicze grupy: deterministyczne, probabilistyczne i symulacyjne [11].

3. Charakterystyka metod określania okresu użytkowania

3.1. Metody deterministyczne

Metody te stanowią najprostsze, ale najmniej dokładne narzędzie szacowania okresu użytkowania. Jedną z podstawowych jest tzw. metoda współczynników opracowana przez Japoński Instytut Architektury (AIJ) i zawarta w normach międzynarodowych ISO 15686-1, 2000 *Service life planning* [6]. Metoda ta stanowi przystępne narzędzie łatwej i szybkiej oceny okresu użytkowania, niestety nie daje gwarancji właściwego jego oszacowania, lecz tylko ocenę empiryczną, opartą na dostępnej informacji. Metoda jest używana do zmodyfikowania porównawczego okresu użytkowania *RSLC* i otrzymania oszacowanego okresu

użytkowania *ESLC* elementów projektowanego obiektu, na podstawie różnic między specyficznymi warunkami projektowymi a warunkami porównawczymi. W metodzie tej stosuje się siedem współczynników f modyfikujących podstawową wartość *RSLC*. Kombinacja tych czynników może zwiększać lub zmniejszać przewidywany okres użytkowania (wzór 1 według [6]):

$$ESLC = RSLC \cdot f_A \cdot f_B \cdot f_C \cdot f_D \cdot f_E \cdot f_F \cdot f_G \quad (1)$$

gdzie:

RSLC – porównawczy okres użytkowania komponentu (*reference service life component*),

ESLC – obliczeniowy okres użytkowania komponentu (*estimated service life component*),

$f_A, f_B, f_C, f_D, f_E, f_F, f_G$ – współczynniki odpowiednio dla jakości komponentu, poziomu projektu, poziomu wykonania pracy, środowiska wewnętrznego, środowiska zewnętrznego, warunków użytkowych, poziomu utrzymania.

Metody deterministyczne w proponowanej formie są łatwe do zastosowania i wymagają od projektanta jedynie oceny wpływu różnych czynników i wykonania prostych arytmetycznych obliczeń. Jednakże wyniki otrzymane za pomocą metod deterministycznych przedstawiają przybliżone wartości okresów użytkowania. W rzeczywistości czynniki i warunki, w jakich eksploatowany jest obiekt mają charakter losowy, a więc i okres użytkowania elementu lub obiektu powinien być opisany jako rozkład stochastyczny. W związku z tym poszukuje się metod dokładniejszych bądź przez udoskonalenie przedstawionej metody i proponowanie na jej podstawie tzw. metod symulacyjnych, bądź opracowanie innych, wykorzystujących rachunek probabilistyczny.

3.2. Metody probabilistyczne

W celu uwzględnienia w obliczeniach rzeczywistej złożoności procesu użytkowania elementu lub obiektu budowlanego oraz wpływu czynników losowych stosowane są metody probabilistyczne. Metody te wymagają danych wejściowych w postaci rozkładów prawdopodobieństw, których uzyskanie jest pracochłonne, a czasami trudno je oszacować z powodu małej liczby danych. Przykłady zastosowania stochastycznych metod w projektach badawczych i dużych projektach inżynierskich są przedstawione w literaturze. Większość z nich dotyczy pojedynczego materiału (zwykle betonu) i pojedynczego czynnika starzenia (wnikania chlorków). Pracochłonność i kosztowność stosowania tych metod jest tak duża, iż stosowane są przede wszystkim do ważnych strategicznie obiektów budowlanych.

Prezentowane w literaturze probabilistyczne metody szacowania okresów użytkowania można podzielić na dwie grupy:

- 1) metody stosujące łańcuchy Markowa do opisanego przebiegu procesu niszczenia [1, 2, 7, 10],
- 2) metody bazujące na wyznaczaniu zmiennych modelu użytkowania jako wielkości losowych o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa [3, 5, 8, 9, 12].

W pierwszej grupie metod można wyróżnić następujące projekty badawcze. Abraham i Wirahadikusumah [1] badali modele prognozowania niszczenia betonowych elementów kanalizacyjnych w okresie ich użytkowania, wyznaczając na podstawie rzeczywistych badań charakterystyki procesu Markowa. Przykładem zastosowania łańcuchów Markowa jest także praca Ansella [2], który posłużył się nimi do oceny zniszczenia elementów mostowych w Szwecji, gdzie badania wykonane były na 353 mostach. Bardzo ciekawe badania procesu niszczenia systemu kanalizacji w pewnym mieście w Niemczech opisywane są przez Kampferera i innych [7]. Badania te pozwoliły na znalezienie zależności między stanem zniszczenia a wiekiem konstrukcji, wydajnością, zastosowanym materiałem, geometrią oraz miejscem usytuowania w sieciach ulicznych. Inny badacz, Lounis [10] opisał proces niszczenia membrany dachowej, do której oceny posłużył się danymi zebranymi z miejsc inspekcji. Stopień uszkodzenia opisał za pomocą siedmiu dyskretnych wskaźników, które posłużyły do dalszej analizy okresu użytkowania.

Do drugiej grupy metod probabilistycznych zaliczyć należy m.in. prace Enrighta i Frangopola [5], którzy badali mosty autostrad w US Colorado. Na podstawie zebranych danych, takich jak zmienność obciążenia, czas rozpoczęcia niszczenia, korozja, działanie czynników atmosferycznych (deszcz, lód i inne), opracowali model, który posłużył do predykcji okresów użytkowania mostów i wykorzystania tych danych do budowy strategii zarządzania eksploatacją mostów. W Kanadzie Wiseman [12] zaprezentował metodykę przewidywania okresu użytkowania garaży parkingowych. Używał on rozkładów prawdopodobieństwa do określenia zmiennych dotyczących trwałości konstrukcji przy zastosowaniu różnych materiałów. Oceniał między innymi wpływ zbyt dużego zasolenia dróg na czas użytkowania konstrukcji betonowych. Rozważał także różne opcje odnawiania konstrukcji, od demontowania i naprawy zniszczonej przestrzeni do usunięcia chlorków z elementów budowlanych i ostatecznie do rozbiórki oraz odbudowy. Innym przykładem metody probabilistycznej jest metoda FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), zaproponowana przez Laira i Le Teno [9] i dalej stosowana przez Laira [8]. Autor przewiduje okres użytkowania, używając dwóch podejść. Z jednej strony, wykonuje analizę FMEA, która pozwala zidentyfikować wszystkie tryby awarii dla każdej funkcji, następnie szuka przyczyn i ostatecznie identyfikuje wyniki. Z drugiej strony zbiera informacje o okresie użytkowania ze wszystkich dostępnych źródeł (opinie ekspertów, badania statystyczne, sztuczne i naturalne dane o starzeniu itd.), ocenia

ich jakość i poprzez procedury połączenia danych podaje prawdopodobieństwo awarii razem z optymistyczną i pesymistyczną wartością tego prawdopodobieństwa.

Niektóre z projektów badawczych wykonane były dla konkretnych przypadków występujących w praktyce. Do takich zaliczyć można prace Breitenbuchner i innych [3], którzy badali i oszacowali okres użytkowania tunelu Western Scheldt. Założono, że głównym parametrem niszczenia pokrywy betonu była agresja chlorków. Dane wejściowe służące do obliczeń (koncentracja chlorków, wnikanie czynników itd.) były określone jako stochastyczne zmienne (rozkłady gęstości). Do określenia okresu użytkowania tunelu Western Scheldt zastosowano opracowany przez CEB Bulletin 238 i Brite/Euram projekt DuraCrete, który poza podstawowymi zagadnieniami zaczerpniętymi z projektu konstrukcyjnego (wyniki są związane ze stanami ograniczeń, okres porównawczy jest podobny do projektowanego okresu użytkowania, wskaźnik niezawodności jest użyty do zredukowania prawdopodobieństwa awarii) zakładał włączenie do projektu modelowania procesu niszczenia i oddziaływania środowiska. Więcej przykładów przewidywania okresu użytkowania wykorzystującego narzędzia probabilistyczne można znaleźć w licznych publikacjach. Główne zastosowania dotyczą okresu użytkowania wzmocnionego betonu, chodników (ulic lub lotnisk) i okresu użytkowania drewnianych elementów budynku, jak okna, okładzin ściennych i dachów.

3.3. Metody symulacyjne

Metody symulacyjne w zastosowaniu do określania czasu użytkowania zaczęto rozwijać jako metody kompromisowe między niezbyt dokładnymi metodami deterministycznymi a metodami probabilistycznymi, które wymagają wielu danych i badań, często bardzo trudnych do wykonania.

Kompromis ten osiągnięto poprzez uproszczenie stochastycznych modeli matematycznych bądź też rozwój metody współczynników w kierunku bardziej złożonych modeli. Metody symulacyjne w literaturze angielskiej nazywane są inżynierskimi metodami projektowymi (*engineering design method*). Przyjęto, że metody te będą miały ten sam stopień złożoności i trudności co inne zadania projektowe (np. analiza konstrukcyjna, analiza termiczna). W metodzie symulacyjnej konstruuje się model matematyczny stanowiący względnie prostą zależność matematyczną, używając rozkładów prawdopodobieństwa do określenia poszczególnych zmiennych modelu. Ta procedura dostarcza informacji, które są łatwe do zrozumienia i zinterpretowania przez każdego projektanta.

Ogólne zasady zaproponowane w symulacyjnych metodach projektowych są następujące.

- Ustalenie równań opisujących okres użytkowania budynków lub elementów budowlanych, uwzględniających wszystkie zidentyfikowane istotne zmienne i ich parametry. W stan-

W standardowych przypadkach można zastosować równanie metody współczynników nawiązujące do zawartej w ISO 15686-1.

- Uzyskiwanie zmiennych i parametrów do równań z doświadczeń, z opinii ekspertów itd. Ustanowienie rodzaju rozkładów prawdopodobieństwa (funkcji gęstości) dla zidentyfikowanych czynników.
- Wykonanie obliczeń okresu użytkowania.
- Ocena prawdopodobieństwa wyników przez eksperta i jeśli to konieczne, modyfikacja danych wejściowych, np. dokładniejsze określanie parametrów zmiennych decydujących o okresie użytkowania.

Metoda symulacyjna może być zastosowana zarówno do typowych konstrukcji, jak i innych, które mają wyznaczone zależności matematyczne dla okresu użytkowania.

4. Przykłady zastosowania metod symulacyjnych

Na szczególną uwagę zasługują modele symulacyjne szacowania okresu użytkowania. Poniżej przedstawiono przykłady ich praktycznego zastosowania, dwa z literatury oraz jeden z badań własnych autorów, zawierają one opis metody badań i ich wyniki.

1. Moser w [11] przedstawił wykorzystanie standardowego równania metody współczynników podane w ISO/CD 15686-1:2000, ale zamiast współczynników wyrażonych jako wielkości stałe, stosuje zmienne losowe. Charakterystyka zmiennych losowych oparta jest na danych dostarczonych przez producentów, na wynikach testów, doświadczeniach, opiniach ekspertów i innych danych. Wiarygodne dane pochodzące z opinii ekspertów mogą być uzyskiwane przez zastosowanie tzw. rekursywnej metody delfickiej. Eksperci są proszeni o oszacowanie minimum (5%), średniej (50%) i maksymalnej (95%) fraktali rozważanych zmiennych, których oszacowania są dopasowywane do znanych rozkładów prawdopodobieństwa, np. normalnego, logarytmiczno-normalnego, Gumbela i in. Oszacowania ekspertów są przez nich analizowane i wypracowywana jest wspólna opinia o charakterze badanego zjawiska (czynnika), która prowadzi do zbudowania jak najbardziej realistycznego modelu i skutecznego inżynierskiego narzędzia. Ta metoda jest proponowana do zastosowania w normie ISO 15686-4 „Wymagania danych przewidywania okresu użytkowania”. Metodę tę zastosowano do oceny stolarki okiennej skierowanej odpowiednio na południe, północ, wschód i zachód.

Wyniki oszacowań zawarte są w tab. 3.

Tabela 3. Wyniki rozkładu okresu użytkowania (PSLC) stolarki okiennej [11].

Współczynniki	Typ rozkładu	Strona świata			
		południe m/s	zachód m/s	północ m/s	wschód m/s
RSLC	Deterministyczny	25 lat	25 lat	25 lat	25 lat
f_A	Normalny	1.5 / 0.185	1.5 / 0.185	1.5 / 0.185	1.5 / 0.185
f_B	Deterministyczny	1.2	1.2	1.2	1.2
f_C	Gumbel	1.25 / 0.10	1.25 / 0.10	1.25 / 0.10	1.25 / 0.10
f_D	Log.-normalny	1.05 / 0.10	0.95 / 0.10	0.80 / 0.10	0.95 / 0.10
f_E	Log.-normalny	1.05 / 0.20	0.80 / 0.20	1.25 / 0.20	1.05 / 0.20
f_F	Normalny	1.0 / 0.12	0.80 / 0.12	0.90 / 0.12	1.0 / 0.12
f_G	Normalny	1.0 / 0.06	1.0 / 0.06	1.0 / 0.06	1.0 / 0.06
PSLC(lata)	Log.-normalny	62.0 / 20.4	34.2 / 11.8	50.6 / 14.8	56.1 / 18.6

Uwaga: Oznaczenia f jak we wzorze (1).

2. Inny przykład metody symulacyjnej opracowanej przez Mosera [11] powstał jako uproszczenie metody probabilistycznej Edvardsen i Mohra [4], a dotyczył tunelu Western Scheld. Okres użytkowania określano na 50 lat, obserwując zjawisko wnikania chlorków do betonu. Zawartość chlorków na poziomie 0,1% w masie betonu określa koniec okresu użytkowania.

Tabela 4. Wartości użyte do obliczenia przenikania chlorków do betonu [11]

Współczynniki		Rozkład	Średnia wartość	Odchylenie standardowe
Koncentracja chlorków na powierzchni	c_s	Log – normalny	1,0 [% w masie]	0,3 [% w masie]
Krytyczna zawartość chlorków	c_{crit}	Normalny	0,1 [% w masie]	0,025 [% w masie]
Początkowa zawartość chlorków	c_0	Normalny	0,01 [% w masie]	0,002 [% w masie]
Efekt. współ. przenikania chlorków 10 °C	D_1	Normalny	$1,0 \cdot 10^{-12}$ [m ² /s]	$0,1 \cdot 10^{-12}$ [m ² /s]
Efekt. współ. przenikania chlorków 30 °C	D_2	Normalny	$4,0 \cdot 10^{-12}$ [m ² /s]	$0,4 \cdot 10^{-12}$ [m ² /s]

$$x = 38 \cdot 10^3 (c_s - c_{crit} - c_0) \sqrt{D} \quad (2)$$

Równanie (2) [11], uzyskane w wyniku uproszczeń, określa głębokość wnikania chlorków do betonu dla dwóch różnych klimatów (10°C i 30°C), z użyciem takich samych rozkładów gęstości, jak zastosowane w szczegółowym rozwiązaniu probabilistycznym (tab. 4). Prawdopodobieństwo przekroczenia krytycznej zawartości c_{crit} zostało ustalone na 10% (Edvardsen i Mohr [4]). Wyniki uzyskane metodą symulacyjną (uproszczoną) przyrównane do dokładnych wartości metody probabilistycznej przedstawione są w tabeli 5. Wyniki dla dyfuzji D_1 są identyczne jak uzyskane w wyniku zastosowania metody probabilistycznej. Dla dyfuzji stałej D_2 wartość fraktala tego przewidywania przewyższa wymaganą wartość o około 5%.

Tabela. 5. Wyniki rozkładów gęstości dla głębokości wnikania chlorków [11]

Stała dyfuzji	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Fraktale 10% przewyższenia	
			metoda symulacyjna [24]	Edvardsen i Mohr [5]
D ₁	34 mm	12 mm	49 mm	49 mm
D ₂	68 mm	23 mm	97 mm	91 mm

3. Autorzy dokonali próby określenia okresu użytkowania dachów budynków jednorodzinnych, pokrytych blachą stalową ocynkowaną. Budynki te stanowią reprezentatywną grupę obiektów usytuowanych w jednakowych warunkach z punktu widzenia lokalizacji, o takim samym przeznaczeniu użytkowym. Istniała możliwość zebrania danych niezbędnych do wykonania obliczeń. Określanie okresu użytkowania oparto na standardowym równaniu metody współczynników, przy czym poszczególne współczynniki równania, odwzorowujące różne wpływy użytkowania, określono jako wielkości losowe o znanych rozkładach prawdopodobieństwa. Obliczenia *PSLC* przewidywanego okresu użytkowania (*predicted service life component*) wykonano za pomocą modelu symulacyjnego oprogramowanego w języku GPSS (tab. 6).

Tabela 6. Wyniki rozkładu okresu użytkowania (*PSLC*) pokrycia dachowego

Współczynniki	Typ rozkładu	Wartość średnia / odchylenie standardowe
<i>RSLC</i>	Deterministyczny	30 lat
<i>f_A</i>	Normalny	1,1 / 0,12
<i>f_B</i>	Normalny	1,23 / 0,14
<i>f_C</i>	Log-normalny	0,93 / 0,11
<i>f_D</i>	Normalny	1,01 / 0,12
<i>f_E</i>	Normalny	0,98 / 0,14
<i>f_F</i>	Log-normalny	1,18 / 0,12
<i>f_G</i>	Wykładniczy	1,26 / 0,37
<i>PSLC(lata)</i>	Normalny	55,508 / 23,275

Średni okres użytkowania obliczony wyniósł 55,5 lat, z odchyleniem standardowym 23,3. Badane budynki były zbudowane przed II wojną światową, w latach 1936-1939, a więc mają około 70 lat, a pokrycia dachowe nie były wymieniane. Różnica między wiekiem pokrycia dachowego uzyskanego jako wartość średnia z obliczeń a stanem rzeczywistym znajduje się w obliczonym przedziale zmienności (23,3) i jak wskazują badania, jest wynikiem starannej konserwacji dachów przez właścicieli domów. Fakt ten wskazuje także na duże znaczenie przestrzegania właściwych warunków eksploatacji obiektów.

5. Podsumowanie

Dotychczasowe wysiłki mające na celu opracowanie odpowiednich metod przewidywania okresu użytkowania zaowocowały stworzeniem licznych metod, które ogólnie można za-

klasyfikować do dwu podstawowych grup. Pierwszą grupę metod o charakterze naukowym stanowią metody probabilistyczne. Były one stosowane do dużych projektów infrastruktury (Great Belt, Western Scheldt Tunnel itp.). Drugą grupę stanowią metody deterministyczne, między innymi tzw. metoda współczynników, opisana w ISO 15686 – 1:2000. Zastosowanie metod deterministycznych i probabilistycznych jest jednak poważnie ograniczone. Metody probabilistyczne i większość innych dostosowanych do nich technik są zbyt skomplikowane w standardowych zastosowaniach, takich jak ocena okresu użytkowania typowych konstrukcji budowlanych (np. budynków mieszkalnych, mostów drogowych). Metoda współczynników jest całkiem prosta, ale nie uwzględnia wszystkich zmienności związanych z zachodzącymi procesami. Ważny krok w kierunku stworzenia prostych i zrozumiałych metod stanowią metody symulacyjne. Zamiarem ich twórców jest zaproponowanie takiego narzędzia, które może być stosowane przez każdego inżyniera i daje prawie tak dobre rezultaty jak świetnie odwzorowujące rzeczywistość skomplikowane modele probabilistyczne. Z przeprowadzonych badań wynika, że najbardziej obiecującą drogą prowadzącą do stworzenia metod symulacyjnych jest rozszerzenie metody współczynników. Przez wprowadzenie wielkości stochastycznych lub innych zależności określających okres użytkowania, przez określanie współczynników jako rozkładów prawdopodobieństwa (ich funkcji gęstości) można opracować metodę dostatecznie dobrze odwzorowującą rzeczywisty charakter współczynników, która może być dobrym narzędziem do określania okresu użytkowania w praktyce inżynierskiej.

Literatura

1. Abraham D. M., Wirahadikusumah R., 1999, *Development of prediction models for sewer deterioration*, 8DBMC.
2. Ansell A., Racutanu G., Sundquist H., 2002, *A Markov approach in estimating the service life of bridge elements in Sweden*, 9DBMC, paper 142.
3. Breitenbüchner R., Gehlen C., Schiessl P., Van den Hoonard J., Siemes T., 1999, *Service life design of the Western Scheldt tunnel*, 8DBMC.
4. Edvardsen C., Mohr L., *Designing and Rehabilitating Concrete Structures – Probabilistic Approach (DuraCrete)*, proc. CANMET/ACI 2000, Intl. Conference on Durability of Concrete.
5. Enright M. P., Frangopol D. M., 1998, *Service – life prediction of deteriorating concrete bridges*, Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 3, March 1998.
6. ISO 15686 – 1:2000, *Buildings and constructed assets – Service life planning, Part 1: General principles*, International Standard Organisation, Geneva.
7. Kaempfer H. W., Berndt M., Voigtlaender G., 2002, *Estimation of residual service life for existing sewerage systems*, 9DBMC, paper 164.
8. Lair J., 2000, *Evaluation de la durabilite des systemes constructifs du batiment*, These doctorale, Universite Blaise Pascal – Clermont II, Clermont-Ferrand, France.
9. Lair J., Le Teno J. F., 1999, *Durability assessment of building systems*, 8DBMC.
10. Lounis Z., Lacasse M. A., Vanier D. J., Kyle B. R., 1988, *Towards Standardization of service life prediction of roofing membranes*, Materials Department, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Grenoble.

11. Moser K., 2003, *Task Group 'Engineering Design': Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art – Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM*, EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research.
12. Wiseman A., Kyle B. R., 1999, *Service life prediction and economic assessment of parking garage options*, 8DBMC.

DEVELOPMENT TRENDS OF METHODS TO PREDICT DESIGN LIFE PERIODS IN RELATION TO CONSTRUCTION FACILITIES

Abstract. Conditions imposed on contemporary buildings require proper selection by the designer of material and structural solutions. The key issue is then proper assessment of the design life period, as supported by relevant calculation methods. The article reviews methods to assess design life periods and presents a brief characteristics of those methods, as well as discusses the concept of a design life period in relation to a construction facility. More attention is paid to simulation methods which are currently being developed and which provide a good research and calculation tool. Examples of calculations with the use of simulation methods, drawn from the literature and own research works are quoted.

Key words: durability, design life period, methods of design life period predicting.

Dr hab. inż. Anna Sobotka, prof. nadzw. AGH, Kraków
Mgr inż. Robert Bucom
Politechnika Lubelska