

Trwałość elementów w predykcji niezawodności eksploatacyjnej budynku

Dr inż Beata Nowogońska, Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Budynki, podobnie jak i wszystkie obiekty techniczne, wraz z upływem czasu ulegają uszkodzeniom i awariom. Podczas użytkowania każdego obiektu istotnym problemem jest zapewnienie mu odpowiedniej niezawodności eksploatacyjnej.

Przeprowadzona została analiza niezawodnościowa budynku z wykorzystaniem zasad stosowanych dla obiektów mechanicznych i elektrycznych. Budynek mieszkalny, wykonany w technologii tradycyjnej, potraktowany został jako obiekt techniczny. W przeprowadzonych analizach dokonano podziału budynku na elementy składowe, które najpierw odrębnie, a potem łącznie poddane zostały ocenie. W oparciu o zasady teoretyczne opracowana została predykcja niezawodności eksploatacyjnej budynku.

2. Niezawodność eksploatacyjna

Niezawodność eksploatacyjna definiowana jest jako prawdopodobieństwo niewystąpienia w założonym czasie eksploatacji żadnego z niedopuszczalnych stanów granicznych całej konstrukcji oraz jej elementów. W odróżnieniu od jakości, niezawodność zależy od czasu, jakość ocenia się przy odbiorze konstrukcji, natomiast niezawodność podczas jej użytkowania. Funkcja niezawodności $R(t)$, nazywana również prawdopodobieństwem poprawnej pracy lub funkcją przetrwania, jest zmianą w czasie prawdopodobieństwa nieusz-

kodzenia o gęstości rozkładu Weibulla.

$$R(t) = \exp [-(\beta t)^\alpha] \quad (1)$$

gdzie: $R(t)$ – funkcja niezawodności,
 t – czas użytkowania,
 α, β – parametry skali oraz kształtu, $\alpha > 0, \beta > 0$.

Z niezawodnością ściśle łączą się również inne pojęcia. Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ jest wskaźnikiem charakteryzującym niezawodność, definiowana jako intensywność prawdopodobieństwa uszkodzenia lub prędkość, z jaką rośnie zawodność w stosunku do niezawodności.

$$\lambda(t) = \frac{dF(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} \quad (2)$$

gdzie: $\lambda(t)$ – intensywność prawdopodobieństwa uszkodzenia,
 $F(t)$ – prawdopodobieństwo zawodności,
 $R(t)$ – prawdopodobieństwo niezawodności.

W niezawodności urządzeń elektronicznych intensywność uszkodzeń uzależniana jest od zużycia. W celu wyznaczenia intensywności uszkodzeń elementów budynku, wykorzystana została metoda czasowa, służąca do wyznaczania teoretycznego zużycia S_z elementów w budynku w dowolnym czasie użytkowania t dla budynków niestarannie utrzymanych. Z uwagi na zaniedbania w prowadzonej gospodarce remontowo-naprawczej, w budynkach zastosowany został

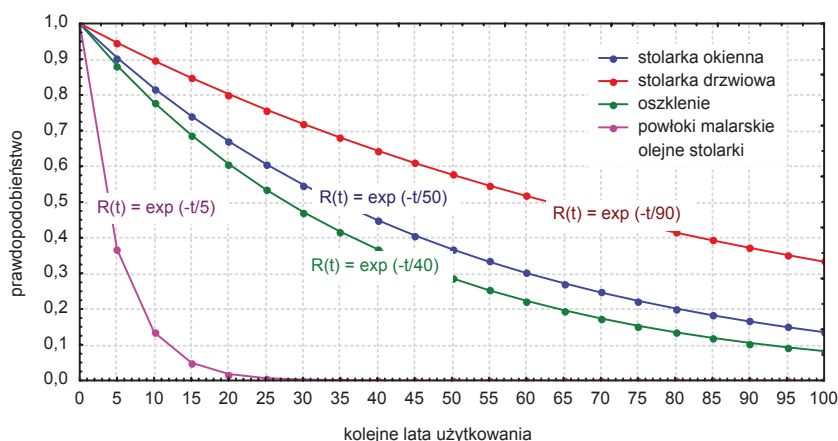
najbardziej niekorzystny wariant określania stopnia ich zużycia. Zależność definiująca funkcję niezawodności dla i -tego elementu składowego budynku po odpowiednich przekształceniach przyjmuje postać:

$$R_i(t) = \exp [-(t/T_{Ri})] \quad (3)$$

gdzie: $R_i(t)$ – niezawodność eksploatacyjna dla i -tego elementu budynku,
 t – czas użytkowania,
 T_{Ri} – okres trwałości i -tego elementu budynku.

3. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej elementów budynku

Budynek został podzielony na 25 elementów składowych. Dla każdego elementu przyjęto określone rozwiązanie materiałowo-konstrukcyjne, charakteryzujące się teoretycznymi średnimi okresami trwałości T_R . Wyznaczona została predykcja niezawodności eksploatacyjnej wszystkich elementów składowych budynku w czasie przyjętego 100-letniego okresu użytkowania. Sposób kształtowania niezawodności elementów budynku podczas całego okresu użytkowania określony został dzięki zastosowaniu zależności zawartych w punkcie 2. Na rysunku 1 przedstawiona jest przykładowa predykcja niezawodności eksploatacyjnej wybranych elementów budynku. W analizie niezawodności eksploatacyjnej powinno się rozpatrywać problem z uwzględnieniem zjawisk towarzyszących długotrwałej eks-



Rys. 1. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej wybranych elementów budynku (oprac. własne)

ploatacji obiektu. Do oceny niezawodności służą następujące kryteria: zużycie, częstotliwość wykonywania remontów, sposób użytkowania, wpływy czynników zewnętrznych, prawidłowość procesu projektowania, jakość zastosowanych materiałów, dokładność wykonania. W przeprowadzonych badaniach przyjęto, że procesy projektowania i wykonania były prawidłowe oraz zastosowano odpowiedniej jakości materiały budowlane. Przyjęto także założenie, że wpływy czynników zewnętrznych dla wszystkich elementów budynku są na równym, średnim poziomie.

4. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej całego budynku

Analiza niezawodnościowa dla całego budynku oparta jest na predykcji niezawodności poszczególnych jego elementów. Jednak biorąc pod uwagę wszystkie elementy składowe budynku jednocześnie, nie można wyznaczać niezawodności eksploatacyjnej całego budynku jako zbioru tych elementów licząc ich średnią arytmetyczną. Analizując niezawodność budynku należy zróżnicować poszczególne elementy pod względem ich ważności. Nie wolno jednakowo traktować na przykład uszkodze-

nia tynków wewnętrznych z zawaleniem stropów, zniszczenia podłogi z awarią instalacji kanalizacyjnej itp.

Predykcja niezawodności całego budynku została wyznaczona kilkoma sposobami:

- 1) stosując skalę ważności elementów, podawaną przez J. Arendarskiego [1], do oceny jakości budynku – wariant I;
- 2) wykorzystując współczynniki służące do ustalania średnioważonego zużycia elementów – wariant II;
- 3) traktując budynek jako system składający się z podsystemów – wariant III.

J. Arendarski [1] podaje skalę ważności poszczególnych elementów budynku służącą do oceny jakości obiektu. Opierając się na tych wartościach, opracowany został wariant I wyznaczania predykcji niezawodności eksploatacyjnej całego budynku.

Wykorzystując predykcje niezawodności eksploatacyjnych poszczególnych elementów składowych oraz współczynniki wag elementów, została określona predykcja niezawodności dla całego budynku.

$$R_A(t) = \sum_{i=1}^n [A_i * R_i(t)] \quad (4)$$

gdzie: $R_A(t)$ – niezawodność eksploatacyjna budynku wg wariantu I,

A_i – współczynnik wagi i-tego elementu,

$R_i(t)$ – niezawodność i-tego elementu,

i – liczba porządkowa elementu budynku,

n – liczba wszystkich elementów.

W drugim wariantie analizy niezawodnościowej obiektu zastosowane zostały współczynniki służące do ustalania średnioważonego zużycia budynków, czyli procentowej wartości poszczególnych elementów budynku w stosunku do wartości całego nowo wzniesionego budynku. Współczynniki te oraz typy budynków mieszkalnych B1 – B13 podane są w Rozporządzeniu Ministra GTiOŚ w sprawie wprowadzenia w życie instrukcji o naprawach i modernizacji budynków. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej budynku wg wariantu II dla budynków typu B1-B13 została wyznaczona wg wzoru (5).

$$R_U(t) = \sum_{i=1}^n [U_i * R_i(t)] \quad (5)$$

gdzie: $R_U(t)$ – niezawodność eksploatacyjna budynku wg wariantu II,

U_i – współczynnik wagi i-tego elementu,

$R_i(t)$ – niezawodność i-tego elementu,

i – liczba porządkowa elementu składowego budynku,

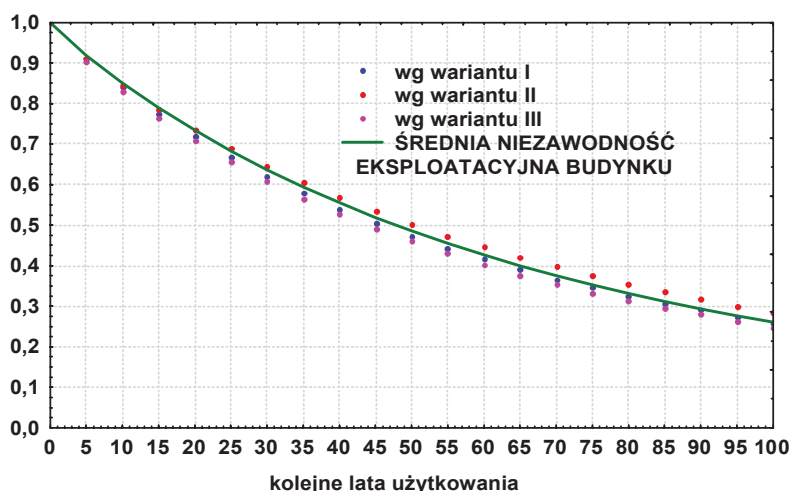
n – liczba wszystkich elementów składowych budynku.

W wariantie III predykcja niezawodności eksploatacyjnej budynku ściśle oparta jest na zasadach stosowanych w eksploatacji maszyn. Budynek traktowany jest jako system składający się z elementów składowych. Zaproponowany wariant III należy jednak traktować jako przykład opierający się na wielu uproszczeniach.

Problem określania niezawodności budynku jest bowiem bardziej skomplikowany niż w przypadku maszyn. W budynku występuje duża różnorodność materiałów o różnej trwałości, np. cegła, drewno, szkło, stal. W maszynach większość elementów charakteryzuje się podobnymi rozwiązaniami materiałowymi. Zaproponowany system budynku przyjęto jako system niejednorodny, jednak przypuszcza się, że wykorzystane zasady stosowane w eksploatacji maszyn nie zakładają tak znacznej różnorodności materiałów pod względem trwałości, i w przypadku określania niezawodności eksploatacyjnej budynku stanowią znaczne uproszczenie.

Zbiór wszystkich elementów określa dziedzina systemu, czyli liczby porządkowe od 1 do 25 przypisane poszczególnym elementom budynku. Zbiór powiązań elementów tworzy strukturę systemu. Zakłada się, że warunkiem poprawnej pracy budynku jest pozostawanie w zdatności wszystkich jego elementów. Z tego powodu proponuje się przyjęcie zależnego układu szeregowego (w układzie równoległym wystarczy, aby zdalny był tylko jeden element) oraz zależnych podsystemów szeregowych.

Uzyskane wyniki z analizy niezawodności budynków mieszkalnych przeprowadzonej w trzech wariantach niewiele różniących się między sobą. Pozwalają one ocenić niezawodność eksploatacyjną budynków mieszkalnych, w których nie przeprowadzono remontów. Niezawodność eksploatacyjna wyznaczona wg wariantu III wydaje się najbardziej prawdopodobna z powodu największych, spośród wszystkich wariantów, otrzymanych wartości niezawodności w początkowych latach użytkowania. Jednak wielkości niezawodności wg wariantu I w całym okresie użytkowania są mniejsze (czyli prawdopodobieństwo uszkodzenia jest większe) niż wg wariantu III. Z tego wzglę-



Rys. 2. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej budynku (oprac. własne)

du wariant I powinien być wykorzystywany w dalszych rozważaniach jako najbardziej niekorzystny obraz budynku.

Na rysunku 2 przedstawiona jest średnia predykcja niezawodności eksploatacyjnej budynku wraz z predykcją niezawodności budynku wg trzech wariantów. Największe odchylenie standardowe występuje w 30. roku użytkowania. Maksymalna różnica między wynikami występująca podczas kolejnych lat użytkowania wynosi 3,6%.

5. Podsumowanie

Przedstawiona metodyka wyznaczania predykcji niezawodności eksploatacyjnej budynku i jego elementów opracowana została w oparciu o zasady zaczerpnięte z teorii eksploatacji maszyn oraz urządzeń elektrycznych. Przeprowadzone badania pozwalają wzbogacić dotychczasową wiedzę z zakresu niezawodności eksploatacyjnej budynków mieszkalnych wykonanych w technologii tradycyjnej, o kompleksowe ujęcie problemu, w którym budynek traktowany jest jako obiekt składający się z elementów składowych. Uzyskane wyniki badań są pomocne w programowaniu remontów budynków, a w szczególności w dzia-

łaniach profilaktycznych, polegających na zabezpieczeniu budynku przed powstaniem uszkodzeń. Predykcja niezawodności eksploatacyjnej może być wykorzystywana w prognostycznym określaniu zakresu rodzajowego i ilościowego robót naprawczych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Arendarski J., Trwałość i niezawodność budynków mieszkalnych, Arkady, Warszawa 1978
- [2] Bucior J., Podstawy niezawodności, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 1989
- [3] Corner P., 11th Advances in Reliability Technology Symposium, Elsevier Applied Science, Barking 1990
- [4] Masters L. W., Brandt E., Systematic Methodology for Service Life Prediction of Building Materials and Components, Materials and Structures nr 22/1989
- [5] Niziński S., Pelc H., Diagnostyka urządzeń mechanicznych, WNT, Warszawa 1990
- [6] Sotskow B. S., Niezawodność elementów i urządzeń automatyki, WNT, Warszawa 1973
- [7] Walpde R. E., Myers R. H., Probability and Statistics for Engineers and Scientists. Macmillan Publishing Company, London 1985
- [8] Zarządzenie nr 48 Ministra Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z 19 VIII 1974 r. (Dz. U. MGTiOŚ nr 4 z 31 XII 1974 r.) w sprawie wprowadzenia w życie instrukcji o naprawach i modernizacji budynków