

Prognoza stanu technicznego ścian murowanych w budynkach mieszkalnych

Beata Nowogońska

*Institut Budownictwa, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski,
e-mail: b.nowogonska@ib.uz.zgora.pl*

Streszczenie: Podstawą diagnostyki obiektów technicznych są informacje procesowe zbierane przez system pomiarowy i generowane przez odpowiednie procedury obliczeniowe. W przypadku budynków mieszkalnych parametrem opisującym symptomy sprawności / niesprawności elementów składowych obiektu jest stopień zużycia, określany podczas kontroli okresowych. Stopnie zużycia elementów składowych budynków wykonanych w tej samej technologii, o podobnej konstrukcji, ze zbliżonych materiałów stanowią kluczowe dane w predykcji niezawodności budynku.

W artykule przedstawiona jest propozycja wyznaczania zmian niezawodności eksploatacyjnej ścian murowanych z cegły, a predykcje zużycia ścian, określone dystrybuantą rozkładu Rayleigha, zostały zweryfikowane wynikami oceny stanu technicznego budynków w Zielonej Górze (woj. lubuskie).

Słowa kluczowe: stopień zużycia, trwałość, niezawodność, ściany murowane

1. Wprowadzenie

Diagnostyka uszkodzeń doraźnych w budynkach jest przedmiotem częstych rozważań, jednak problematyka związana z matematycznym modelowaniem prognozy utrzymania obiektów w stanie zdatności dotyczy najczęściej urządzeń technicznych. Określenie predykcji niezawodności budynków wykonanych w technologii tradycyjnej, z uwagi na złożoność struktury tych obiektów, różnorodność podatności na zmienne wpływy czynników zewnętrznych, niejednorodność sposobów użytkowania oraz wielu innych problemów, jest procesem wymagającym zastosowania wielu uogólnień. Jednym z uproszczeń jest postrzeganie budynku jako obiektu technicznego. Opracowany cykl życia budynku oparty jest na adaptacji modeli matematycznych, opisujących zmiany niezawodności urządzeń mechanicznych i elektronicznych. Model prognozy stanu technicznego zweryfikowany został wynikami oceny stanu technicznego rzeczywistych, istniejących budynków.

Materiał badawczy obejmuje budynki mieszkalne wykonane w technologii tradycyjnej zlokalizowane na terenie miasta Zielona Góra w liczbie 592 obiektów. Budynki objęte analizą charakteryzują się podobnymi rozwiązaniami materiałowo-konstrukcyjnymi. Ściany badanych obiektów są murowane z cegły pełnej, stropy nad piwnicami - ceglane, pozostałe - drewniane belkowe, schody oraz konstrukcja dachu - drewniane, więźba płatwiowokleszczowa, niekiedy jętkowa, pokrycie dachu dachówką karpiówką.

Dla wszystkich budynków zostały przeprowadzone kontrole okresowe stanu technicznego. Kontrole okresowe, zgodnie z artykułem 62 ustawy Prawo budowlane, są podstawowym obowiązkiem zarządcy i właściciela, a zalecenia pokontrolne są podstawą do dalszej prawidłowej eksploatacji budynków [6], [7]. W wyniku kontroli okresowych, sporządzone zostały protokoły, zawierające procentowe stopnie zużycia 25-u elementów składowych

budynków. W Tabeli 1 ujęte są wyniki kontroli, zawierające stopnie zużycia jednego z elementów składowych budynku - ścian nośnych badanych obiektów.

Tabela 1. Wyniki oceny stanu technicznego budynków mieszkalnych – ściany nośne

Wiek budynku	Stopień zużycia ścian – wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
0	0,000	0,0000	0,00
5	0,000	0,0000	0,00
10	0,000	0,0000	0,00
15	0,000	0,0000	0,00
20	0,020	0,0002	1,00
25	0,040	0,0022	5,50
30	0,048	0,0024	5,00
35	0,052	0,0024	4,62
40	0,080	0,0042	5,25
45	0,088	0,0060	6,82
50	0,144	0,0088	6,11
55	0,182	0,0084	4,62
60	0,225	0,0092	4,09
65	brak danych	brak danych	brak danych
70	brak danych	brak danych	brak danych
75	0,328	0,0222	6,77
80	0,350	0,0224	6,40
85	0,420	0,0248	5,90
90	0,428	0,0284	6,64
95	0,504	0,0284	5,63
100	0,564	0,0392	6,95

2. Niezawodność obiektów technicznych

Niezawodność obiektu technicznego definiowana jest jako zdolność do wykonania zadania wynikającego z przeznaczenia obiektu w określonych warunkach podczas jego eksploatacji. Oznacza to żądanie od obiektu spełnienia przez określony czas t określonej funkcji w określonych warunkach pracy. Przyjmuje się, że miarą niezawodności obiektu względem danego zadania jest prawdopodobieństwo wykonania tego zadania. Określona w ten sposób miara niezawodności jest funkcją czasu poprawnej pracy obiektu i nazywana jest funkcją niezawodności.

Do modelowania sytuacji w analizie przeżycia, gdy prawdopodobieństwo awarii zmienia się w czasie, jako rozkład zmiennej losowej czasu zdatności obiektów stosuje się najczęściej rozkład Weibulla [1], [2], [3], [4], [10]. Gęstość prawdopodobieństwa dla rozkładu Weibulla określona jest zależnością:

$$f(t) = \alpha \beta^\alpha t^{\alpha-1} \exp[-(\beta t)^\alpha] \quad \text{dla } t \geq 0 \quad (1)$$

gdzie: t - okres użytkowania obiektu,
 α - parametr skali (liczba rzeczywista), $\alpha > 0$,
 β - parametr kształtu (liczba rzeczywista), $\beta > 0$.

Parametr α rozkładu określa zachowanie prawdopodobieństwa awarii w czasie:

- dla $\alpha < 1$ prawdopodobieństwo awarii maleje z czasem, w przypadku modelowania awarii obiektu sugeruje to, że poszczególne egzemplarze mogą posiadać wady fabryczne i powoli wypadają z populacji,
- dla $\alpha = 1$ (rozkład wykładniczy) prawdopodobieństwo jest stałe, wskazuje na fakt, że awarie mają charakter zewnętrznych zdarzeń losowych,

- dla $\alpha > 1$ prawdopodobieństwo rośnie z czasem, sugeruje to zużycie części z upływem czasu jako główną przyczynę awaryjności,
- dla $\alpha = 2$ (rozkład Rayleigha) prawdopodobieństwo rośnie liniowo z czasem.

Parametr β jest współczynnikiem charakteryzującym prędkość zanikania niezawodności.

Dystrybuanta, czyli funkcja zawodności obiektu dla rozkładu Weibulla uzyskana po scałkowaniu:

$$F(t) = 1 - \exp [-(\beta t)^\alpha] \quad (2)$$

Funkcja niezawodności - zmiana w czasie prawdopodobieństwa nieszkodzenia o gęstości rozkładu Weibulla:

$$R(t) = \exp [-(\beta t)^\alpha] \quad (3)$$

Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ jest wskaźnikiem charakteryzującym niezawodność, definiowana również jako intensywność prawdopodobieństwa uszkodzenia lub prędkość z jaką rośnie zawodność w stosunku do niezawodności:

$$\lambda(t) = \frac{d F(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} \quad (4)$$

Rozkład wykładniczy jest szczególnym przypadkiem rozkładu Weibulla, gdzie parametr kształtu $\alpha = 1$. Rozkład wykładniczy stosuje się bardzo często do badania rozkładu czasu poprawnej pracy [1], [2], [3], [5]. Cechą charakterystyczną dla rozkładu wykładniczego jest stała intensywność uszkodzeń przez cały okres użytkowania obiektu $\lambda(t) = \text{const}$. Zależność definiującą funkcję niezawodności (3) dla i-tego elementu składowego budynku według rozkładu wykładniczego:

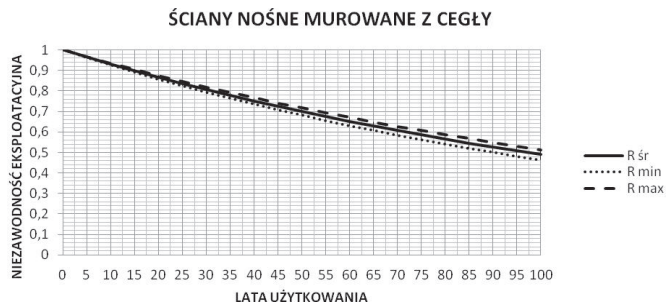
$$R(t) = \exp [-t/T_{Ri}] \quad (5)$$

Innym szczególnym przypadkiem rozkładu Weibulla, gdzie parametr kształtu jest $\alpha = 2$ jest rozkład Rayleigha. Rozkład ten jest rozkładem jednoparametrycznym, występuje wtedy, kiedy zużycie obiektu z upływem czasu jest główną przyczyną awaryjności [1], [2], [10]. Wybór zastosowania rozkładu Rayleigha dla obiektów budowlanych wydaje się najbardziej trafnym. Wszystkie budynki i ich elementy składowe podczas eksploatacji ulegają zużyciu, a rozkład Rayleigha stosuje się w przypadkach, gdy zużycie obiektu rośnie wraz z upływem czasu użytkowania. Funkcja niezawodności (3) w tym przypadku przyjmuje postać:

$$R(t) = \exp [-(t/T_{Ri})^2] \quad (6)$$

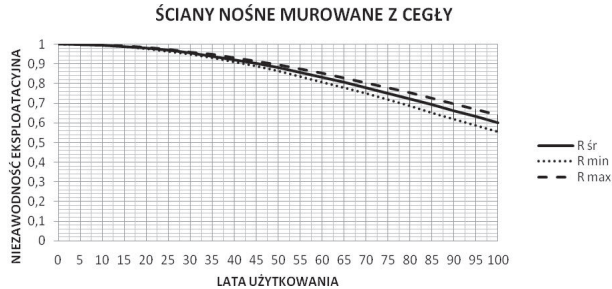
Intensywność uszkodzeń według rozkładu Rayleigha

$$\lambda(t) = 2t/T_{Ri}^2 \quad (7)$$



Rys. 1. Zmiany niezawodności eksploatacyjnej ścian murowanych z cegły według rozkładu wykładniczego

Na rysunkach 1 i 2 przedstawione są wyniki zmian niezawodności jednego z elementów składowych budynku - ścian murowanych z cegły podczas 100-letniego okresu użytkowania obiektu. Funkcje niezawodności (5) i (6) wyznaczone zostały dla trzech przypadków: minimalnych, średnich i maksymalnych okresów trwałości podawanych w literaturze (np. [9]).



Rys. 2. Zmiany niezawodności eksploatacyjnej ścian murowanych z cegły według rozkładu Rayleigha

3. Stopień zużycia ścian murowanych

W niezawodności urządzeń technicznych intensywność uszkodzeń uzależniana jest od zużycia [4], [8]:

$$S_z = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (8)$$

gdzie: S_z - stopień zużycia wyrobów.

Stopień zużycia według rozkładu wykładniczego, gdzie intensywność uszkodzeń jest stała (7) jest funkcją liniową:

$$S_z = t/T_R \quad (9)$$

gdzie: S_z - stopień zużycia technicznego obiektu wyrażony w procentach,
 t - wiek obiektu,
 T_R - przewidywany okres trwałości obiektu w latach.

Uzyskana zależność jest stosowaną w praktyce, jedną z metod czasowych służących do określania stopnia zużycia technicznego budynków niestarannie utrzymanych w dowolnym czasie użytkowania.

Dla rozkładu Rayleigha, gdzie $\alpha = 2$, $\beta = 1/T_R$ stopień zużycia jest równy:

$$S_z = t^2/T_R^2 \quad (10)$$

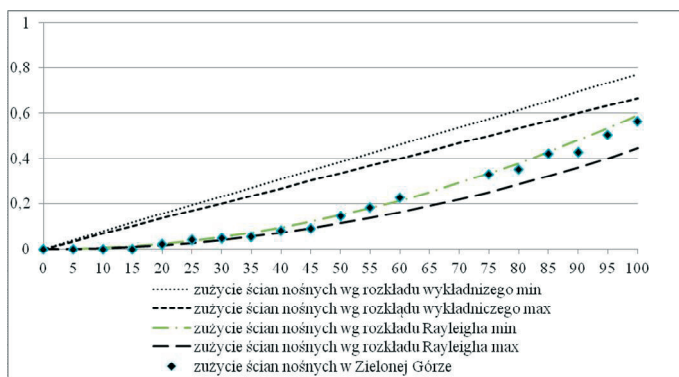
Dla każdego elementu w budynku, wykonanego z określonych materiałów budowlanych, można wyznaczyć predykcje stopnia zużycia podczas całego użytkowania. Okresy trwałości elementów budynku o określonych rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych podawane są w literaturze (np. [9]), a dzięki zastosowaniu ich w zależnościach (9) i (10) można uzyskać predykcje stopnia zużycia według rozkładu wykładniczego i Rayleigha.

W przypadku ścian murowanych z cegły okres trwałości określany jest w granicach od 130 do 150 lat. Dla wartości minimalnej (130 lat) oraz maksymalnej (150 lat) wyznaczone zostały stopnie zużycia według rozkładu wykładniczego (9) oraz według rozkładu Rayleigha (10). Uzyskane wyniki przedstawione są w Tabeli 2 i na Rys. 3. W celu weryfikacji zaproponowanych metod, na Rys. 3 zaznaczono również średnie wartości stopnia zużycia ścian nośnych budynków w Zielonej Górze.

Tabela 2. Średnie wartości zużycia technicznego ścian nośnych uzyskane podczas kontroli okresowych oraz prognozowane teoretyczne wartości stopnia zużycia

Lata użytkowania	Średni stopień zużycia ścian, uzyskany na podstawie kontroli okresowych	Predykcje stopnia zużycia wg rozkładów			
		wykładniczego (9)		Rayleigha (10)	
		min	max	min	max
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,038	0,033	0,001	0,001
10	0,000	0,077	0,067	0,006	0,004
15	0,000	0,115	0,100	0,013	0,010
20	0,020	0,154	0,133	0,024	0,018
25	0,040	0,192	0,167	0,037	0,028
30	0,048	0,231	0,200	0,053	0,040
35	0,052	0,269	0,233	0,072	0,054
40	0,080	0,308	0,267	0,095	0,071
45	0,088	0,346	0,300	0,120	0,090
50	0,144	0,385	0,333	0,148	0,111
55	0,182	0,423	0,367	0,179	0,134
60	0,225	0,462	0,400	0,213	0,160
65	brak danych	0,500	0,433	0,250	0,188
70	brak danych	0,538	0,467	0,290	0,218
75	0,328	0,577	0,500	0,333	0,250
80	0,350	0,615	0,533	0,379	0,284
85	0,420	0,654	0,567	0,428	0,321
90	0,428	0,692	0,600	0,479	0,360
95	0,504	0,731	0,633	0,534	0,401
100	0,564	0,769	0,667	0,592	0,444

Wartości stopnia zużycia ścian wg rozkładu Rayleigha zostały poddane weryfikacji testem t-Studenta. Przy założeniu 5% szans popełnienia błędu przy wnioskowaniu ($p=0,05$), a liczba stopni swobody wynosi 19, wartość krytyczna testu wynosi 2,0930. Wynik testu w badaniu wyniósł 3,05515, co oznacza, że wyniki są istotne statystycznie dla poziomu istotności $p=0,05$.



Rys. 3. Porównanie stopnia zużycia ścian murowanych określonych według różnych rozkładów ze średnimi wynikami kontroli okresowych budynków zlokalizowanych w Zielonej Górze

4. Podsumowanie

Wyniki oceny stanu technicznego budynków w Zielonej Górze potwierdzają skuteczność zaproponowanej metody wyznaczania stopnia zużycia przez zastosowanie rozkładu Rayleigha. Średnie wartości stopnia zużycia, określone podczas wizji lokalnych w trakcie

oceny stanu technicznego budynków w niewielkim stopniu odbiegają od zaproponowanej funkcji opartej na rozkładzie Rayleigha. Pomimo uproszczeń w procesie modelowania matematycznego uzyskane rezultaty są zbliżone do wyników doświadczalnych.

Prognoza stopnia zużycia ścian jest przykładem metodyki prognozowania stanu technicznego elementów budynku. Uzyskane wyniki mogą być pomocne dla zarządców budynków mieszkalnych. Diagnostyka należy do problemów podstawowych w procesie planowania właściwej eksploatacji budynków.

Literatura

- 1 Khelassi, A., Theilliol, D., Weber, P. Reconfigurability analysis for reliable fault-tolerant control design, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, (2011), s. 431–439.
- 2 Moubay J. RCM II - Reliability Centered Maintenance, Oxford, 2007.
- 3 Nowak A. S., Collins K. R. Reliability of Structures, Mc Graw-Hill Int. Edition, 2000.
- 4 Nowakowski T. Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1999.
- 5 Nowogońska B. Reliability of building determined by the durability of its components. *Civil Environmental Engineering Reports* (2011) nr 6, s. 173-180.
- 6 Runkiewicz L. Zasady kontroli i oceny jakości remontów i wzmocnień konstrukcji budowlanych. *Zeszyt Naukowy Politechniki Wrocławskiej Nr 71*, Wrocław, 1998.
- 7 Skarzyński A. Próba ogólnej systematyki sytuacji kryzysowych oraz wybranych towarzyszących im działań techniczno-organizacyjnych. *Materiały konf. XI Konferencji Inżynierii Wojskowej Inżynieria i Zarządzanie w Sytuacjach Kryzysowych*, Warszawa, 2000, s. 202 – 224.
- 8 Sugier J., Anders G. J. Modelling and evaluation of deterioration process with maintenance activities *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2013; (15) 4: 305 – 311.
- 9 Ściślewski Z. Trwałość budowli. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej 1995.
- 10 Walpde R. E., Myers R. H. Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Macmillan Publishing Company, London 1985.

Prognosis of the technical condition of masonry walls in residential buildings

Beata Nowogońska

Institute of Building Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Zielona Góra, e-mail: b.nowogonska@ib.uz.zgora.pl

Abstract: The basis for diagnosis of technical buildings includes information collected by the measurement system and generated by suitable computational procedures. In the case of residential buildings, the parameter describing the symptoms of efficiency / inefficiency of components of a building is defined as the degree of wear, determined during periodic inspections. The degrees of wear of components of a building performed in the same technology. i.e. similar structure-strength systems, and with similar materials are the key figures in the prediction of the reliability of a building. The article presents the methodology of predicting operational reliability of masonry walls. The predictions of the degree of wear for walls, described with the Rayleigh distribution function, have been verified with the assessment of the technical condition of buildings in Zielona Góra.

Keywords: degree of wear, durability, reliability, brick masonry walls