

Wybrane zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej murów

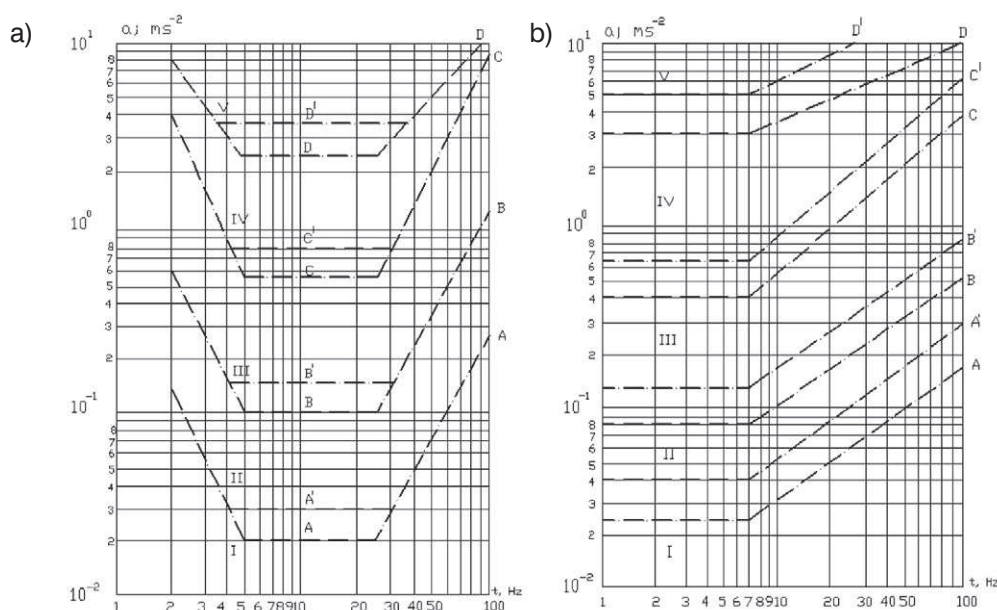
Prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz, dr inż. Zygmunt Gil, mgr inż. Rafał Jaworski,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Rosnące natężenie ruchu kołowego, zwłaszcza ciężkich pojazdów, generujące drgania przekazywane przez podłoże na fundamenty budynków wpływa negatywnie na stan techniczny zabudowy, zwłaszcza zażytkowej. Do oceny bezpieczeństwa konstrukcji niezbędna jest znajomość wielu czynników będących źródłem drgań oraz wpływających na propagację tych drgań. Między innymi również prędkość pojazdów i natężenie ruchu, konstrukcja drogi (kołowej lub szynowej) i stan jej nawierzchni, rodzaj podłoża między drogą a budynkiem, odległość budynków od drogi, konstrukcja samego budynku, jego posadowienie i stan techniczny.

Wpływ obciążeń cyklicznych wywołanych systematycznie wzrastającym ruchem kołowym lub szynowym powoduje coraz większą liczbę uszkodzeń w budynkach murowanych, wobec czego zagadnienie zachowania się muru pod wpływem obciążenia cyklicznego wywołanego wpływami komunikacyjnymi nabiera coraz większego znaczenia [1, 2, 3]. Dotyczy to zwłaszcza murów na cienkich spoinach oraz wykonanych z pustaków, a także konstrukcji budynków o ścianach murowanych na zaprawach wapiennych ze stropami drewnianymi i nadprożami sklepieniowymi o ograniczonej sztywności w kierunku poziomym [3].

W normie PN-85/B-02170 podano kryteria oceny szkodliwości drgań, uproszczone obliczeniowe ujęcie wpływu drgań przekazywanych przez podłoże na budynki oraz sposoby pomiarów drgań. Do przybliżonej oceny wpływu drgań na obiekty opracowano skale wpływów dynamicznych (SWD), które zawierają pięć stref szkodliwości dla budynków murowych oraz z wielkich bloków:

- strefa I – drgania nie odczuwalne przez budynek;
- strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla konstrukcji; następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach, tynkach;
- strefa III – drgania szkodliwe dla budynku, które powodują lokalne zarysowania i spękania, przez co osłabiają konstrukcję budynku i zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne (może nastąpić odpadanie wypraw i tynków);
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku i stanowiące zagrożenie bezpieczeństwa ludzi; powstają liczne spękania, lokalne zniszczenia murów i innych pojedynczych elementów budynku; istnieje możliwość spadania przedmiotów zawieszonych, odpadanie płyt wypraw sufitów, wysunięcia się belek stropowych z łożysk itp.; wymagane jest możliwie szybkie usunięcie źródła drgań lub zmniejszenie jego wpływów;



Rys. 1.
Kryterium diagnostyczne wg PN 85/6-02170-3 dla skali SWD I (a) i SWD II (b) podane w układzie współrzędnych częstotliwości i maksymalnego przyspieszenia drgań

Tabela 1. Wyznaczenie linii rozgraniczającej strefy wpływów dynamicznych wg rysunku 1

Ocena stanu	Strefy rozgraniczone liniami	
	ciągłymi A – D	przerwanymi A' – D'
Stan budynku	budynki stare, z uszkodzeniami, budynki wzmacniane	budynki nieuszkodzone, bez przeróbek konstrukcyjnych
Materiały i konstrukcja budynku	budynki z elementów murowych żużłobetonowych lub z kamienia o niestarannym wykonaniu, brak fundamentów, brak wieńców, sklepienie stropy, duże otwory	ściany z cegły pełnej starannie wykonane, fundamenty betonowe, stropy masywne wiążące ściany z wieńcami stropowymi

– strefa V – drgania powodują awarię budynku przez walenie się murów, spadanie stropów itp.; pełne zagrożenie bezpieczeństwa życia ludzkiego; w przypadku groźby powstania drgań tego typu budynek nie może być użytkowany.

Na rysunku 1 podano kryteria podziału na strefy (I – V) w zależności od częstotliwości drgań f , przemieszczeń d i przyspieszenia drgań, których wartości wyznacza się z pomiarów w punktach pomiarowych umieszczonych na konstrukcji w poziomie terenu od strony źródła drgań. Wyznaczenie linii rozgraniczającej strefy szkodliwości podano w tabeli 1.

Norma PN-85/B-02170, stwierdza między innymi, że drgania gruntu o przyspieszeniu $a \leq 0,005 \text{ g}$ ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) są dla budynku niezauważalne, zaś o przyspieszeniu $a > 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ powodują destrukcję budynku. Na podstawie wymienionej normy i rysunku 1b (skala SWD-II odnosząca się do budynków kilkukondygnacyjnych, których wysokość jest mniejsza od podwójnej najmniejszej szerokości budynku) można stwierdzić, że w zakresie niskich częstości budowle są wrażliwe przyspieszeniowo, zaś dla wyższych częstości wielkością kryterialną jest prędkość drgań.

Dość niebezpieczne i mało poznane jest zjawisko zmęczenia muru. Pod obciążeniem wielokrotnie zmiennym następuje, przede wszystkim wskutek poluzowania i utraty przyczepności elementu murowego do zaprawy, rozkruszenie struktury muru. W wyniku badań doświadczalnych [4] ustalono, że wytrzymałość muru przy takim obciążeniu zależy głównie od przyczepności zaprawy do cegły. Obniża się wtedy wytrzymałość muru, zwłaszcza na rozciąganie i ścinanie. W pracy [4] podano wyniki badań na ściskanie obciążonego cyklicznie muru z cegły ceramicznej pełnej i drażonej. We wczesnym stadium obciążenia cyklicznego (20–25% doraźnej wytrzymałości na ściskanie) pojawiają się mikrorysy, w pierwszej kolejności w miejscach koncentracji naprężeń. Koncentracja powstaje w elementach murowych wskutek defektów technologicznych, w miejscach styku zaprawy z elementem oraz w narożach źródła koncentracji naprężeń. Zwłaszcza są narażone mury z pustaków, których szczeliny stanowią źródła koncentracji naprężeń. Z tego powodu przepisy normowe niektórych państw zabraniają wznoszenia budynków murowych z elementów drażonych w strefach sejsmicznych [5]. Część mikrorys wraz ze wzrostem cykli obciążenia rozwija się w widoczne rysy. Z badań opisanych w pra-

cy [4] wynika, że w zależności od współczynnika asymetrii ρ i liczby cykli N , możliwy jest spadek wytrzymałości doraźnej muru na ściskanie f_m nawet o połowę. Do określenia wytrzymałości zmęczeniowej murów z cegły ceramicznej na zaprawie wapienno-cementowej zaproponowano następujący empiryczny wzór:

$$f_{zm} = f_m \cdot (0,45 + 0,4 \cdot \sqrt[3]{\rho^2})$$

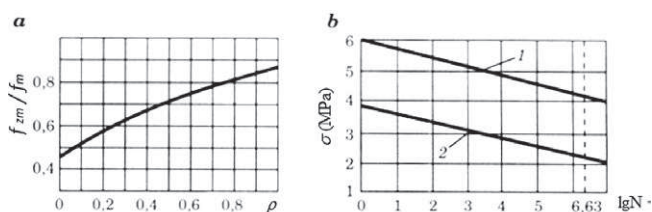
gdzie:

f_{zm} – wytrzymałość zmęczeniowa muru na ściskanie określana przy liczbie cykli $N = 2 \cdot 10^6$;

– współczynnik asymetrii określono bez rozciągania ($\sigma_{\min}, \sigma_{\max} > 0$).

Dla $\rho = 1$ wytrzymałość zmęczeniowa $f_{zm} = 0,85 \cdot f_m$ jest wytrzymałością długotrwałą muru.

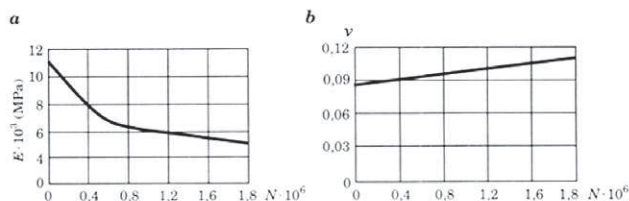
Wykres zmiany wytrzymałości zmęczeniowej w zależności od współczynnika asymetrii cyklu przedstawiono za pracę [4] na rysunku 2a. Na rysunku 2b pokazano zmianę w skali półlogarytmicznej wytrzymałość elementu ceramicznego i muru w zależności od liczby cykli N przy $\rho = 0,4$. Widoczny jest wpływ zaprawy na wytrzymałość zmęczeniową. Warto nadmienić, że według pracy [6] jest możliwy 1,5-krotny spadek wytrzymałości przy zaprawie wapiennej ($f_{zm} = 0,67 \cdot f_m$) oraz 2,5-krotny przy zaprawie cementowej ($f_{zm} = 0,4 \cdot f_m$).



Rys. 2. Zmiana wytrzymałości zmęczeniowej wg badań [4]: a – muru w zależności od współczynnika asymetrii cyklu ρ , b – cegły (1) oraz muru (2) w zależności od liczby cykli N

Pod wpływem obciążeń wielokrotnie zmiennych zmienia się także odkształcalność muru. Mur staje się bardziej ściśliwy. Wraz ze wzrostem liczby cykli maleje moduł Younga E (rys. 3a) oraz zwiększa się współczynnik Poissona ν (rys. 3b).

Można oczekiwać jeszcze większego spadku wytrzymałości muru przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych wywołujących naprężenia rozciągające i ścinające



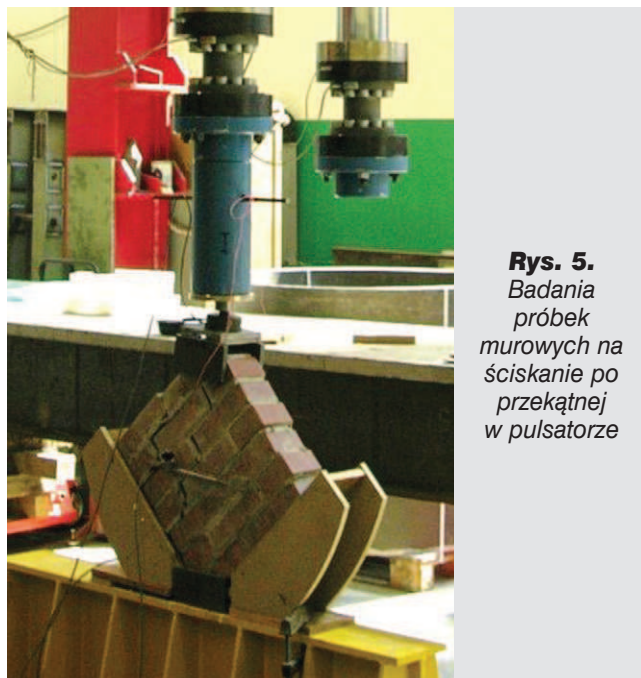
Rys. 3. Zmiana w zależności od liczby cykli N : a – modułu Younga E , b – współczynnika Poissona ν wg badań [4]

w murze. Szczególnie niekorzystny jest wpływ obciążenia cyklicznego na mur częściowo już zarysowany, gdyż następuje wtedy szybkie rozprzestrzenianie się istniejących rys.

W Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie rozpoczęto laboratoryjne badania muru na obciążenie wielokrotnie zmienne. W tym celu zastosowano pulsator składający się z siłowników hydraulicznych firmy Zwick o udźwigu 1200 kN, sterowanych automatycznie systemem Cubus. Celem badań jest określenie wytrzymałości zmęczeniowej muru z cegły pełnej i drażonej przy rozciąganiu i ścinaniu. Widok próbki murowej badanej na ściskanie po przekątnej w celu określenia wytrzymałości na rozciąganie pod kątem 45° do spoin wspornych przedstawiono na rysunku 5.

BIBLIOGRAFIA:

[1] Naraine K., Sinha S., Behaviour of brick masonry under cyclic compressive loading. Journal of Construction Engineering and Management. June 1989



Rys. 5. Badania próbek murowych na ściskanie po przekątnej w pulsatorze

- [2] Seweryn I., Wpływ kierunku obciążenia na zachowanie się oraz parametry mechaniczne murów z cegły cyklicznie ściskanych. Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej z. 110, Gliwice 2007
- [3] Małyszko L., Orłowicz R., Konstrukcje murowe. Zarysowanie i naprawy. UWM, Olsztyn 2000
- [4] Saemedov A. M., Effektivnyje stroitelnyje konstrukcii iz kieramiczeskich kamnej. Budiwielnik, Kijew 1979
- [5] SNiP II-22-81Kamennyje i aromokamennyje konstrukcii, SNIISK, Moskwa 1981
- [6] Ciesielski R., Wpływ obciążeń dynamicznych na konstrukcje murowe. XIII Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”. Ustroń 1999

I Konferencja Techniczno-Budowlana „PROBLEMATYKA PROJEKTOWANIA I WYKONAWSTWA W ASPEKcie STOSOWANIA NOWYCH TECHNOLOGII I MATERIAŁÓW W BUDOWNICTWIE. NORMY EUROPEJSKIE – TEORIA A PRAKTYKA”

TECH-BUD'2013

Kraków 23–25 października 2013

Konferencja obejmować będzie następującą tematykę:

- nowoczesne rozwiązania technologiczne i projektowe w budownictwie,
- prawne i techniczne aspekty wykonywania i napraw konstrukcji betonowych,
- oddziaływanie ustawy Prawo zamówień publicznych i kryterium „najniższej ceny” na wdrażanie nowych technologii, konieczność wprowadzenia zmian,
- zagrożenia związane z błędami popełnianymi podczas wdrażania nowych rozwiązań materiałowo-technologicznych,
- trwałość i ochrona przed korozją konstrukcji żelbetonowych, stalowych, drewnianych i murowych,
- modelowanie procesów degradacji materiału konstrukcji, badania laboratoryjne,
- metody diagnostyki konstrukcji,
- współczesne tendencje w budownictwie.

Adres Organizatorów:

I Konferencja „TECH-BUD. Kraków'2013”
PZITB-CUTOB O/Kraków
ul. Straszewskiego 28, 31–113 Kraków, tel./faks: (12) 421-47-37
e-mail: techbud@pzitb.org.pl