

Jerzy KOWALEWSKI

## OBCIĄŻENIA PRÓBNE W DIAGNOSTYCE KONSTRUKCJI BUDYNKÓW

### 1. WPROWADZENIE

W połowie ubiegłego wieku obciążenia próbne w diagnostyce konstrukcji budynków były zalecane [1, 2] i stosowane o wiele częściej niż ma to miejsce dzisiaj. W przepisach i normach wielu krajów znajdowały się wskazówki dotyczące metodyki postępowania i kryteriów oceny [3]. Jeżeli chodzi o aktualne edycje norm to chyba tylko norma amerykańska ACI 318-08 [4] zawiera zalecenia jak prowadzić badania konstrukcji istniejących budynków za pomocą obciążeń próbnych.

O wiele częściej obciążenia próbne są wykonywane w mostownictwie oraz geotechnice szczególnie przy badaniu nośności pali. Taki stan rzeczy wynika w dużej mierze z administracyjnych nakazów zawartych w Zarządzeniu w sprawie wprowadzenia zaleceń wykonywania badań pod próbnym obciążeniem drogowych obiektów mostowych [5] oraz w Rozporządzeniu w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych [6, § 4.2.4)].

Oferowane obecnie nowe możliwości techniczne i technologiczne realizacji obciążeń oraz pomiarów stwarzają nowe perspektywy dla stosowania obciążeń próbnych w badaniach i ocenach konstrukcji budynków.

W referacie przedstawiono przykłady realizowanych obciążeń próbnych w budynkach (pkt 2), omówiono podstawowe cechy procedur badawczych (pkt 3) i kryteriów oceny wyników badań za pomocą obciążeń próbnych (pkt 4), zwrócono uwagę na nowe możliwości i nowe perspektywy (pkt 5) wykonywania obciążeń próbnych konstrukcji budynków.

### 2. PRZYKŁADY REALIZACJI OBCIĄŻEŃ PRÓBNYCH

W publikacjach polskich i zagranicznych można znaleźć przykłady realizowanych badań konstrukcji budynków za pomocą obciążeń próbnych. Tradycyjny sposób realizacji obciążeń polegał na ustawianiu na badanej konstrukcji specjalnie do tego przygotowanych obciążników, worków z cementem lub piaskiem [1, 2] itp. Nieco później zaczęto stosować obciążenia z wykorzystaniem wody, np. w beczkach [7].

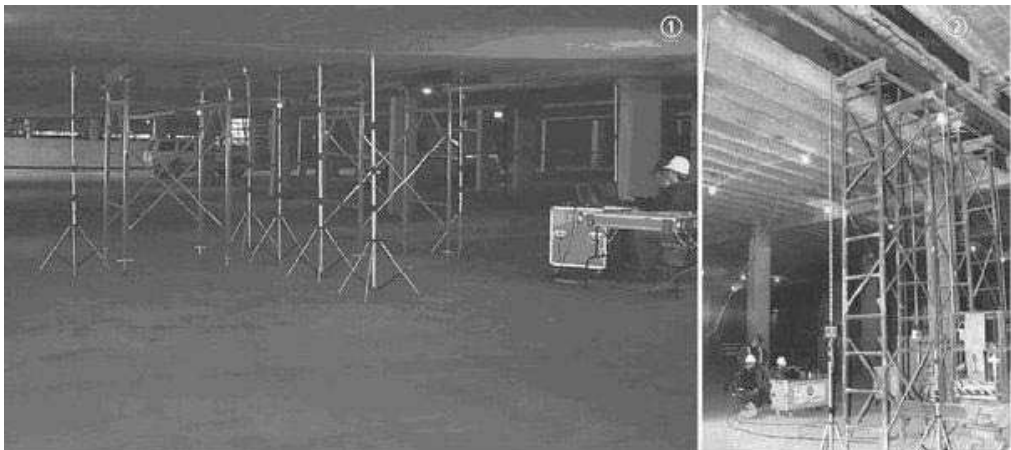
Wodę do obciążeń próbnych można gromadzić w specjalnie do tego celu przygotowanych wannach. Na rysunku 1 pokazano obciążenia wodą realizowane przez brytyjską firmę

Sandberg [8]. Analogiczny sposób realizacji obciążeń próbnych zastosowano m.in. przy badaniu przez ITB budynku w Krakowie. Do gromadzenia wody na stropach przygotowane zostały specjalne zbiorniki wykonane z elementów szalunkowych, stalowych ściąągów i folii budowlanej [9, 10].



**Rys. 1.** Obciążenia próbne za pomocą wody w specjalnej wannie [8]

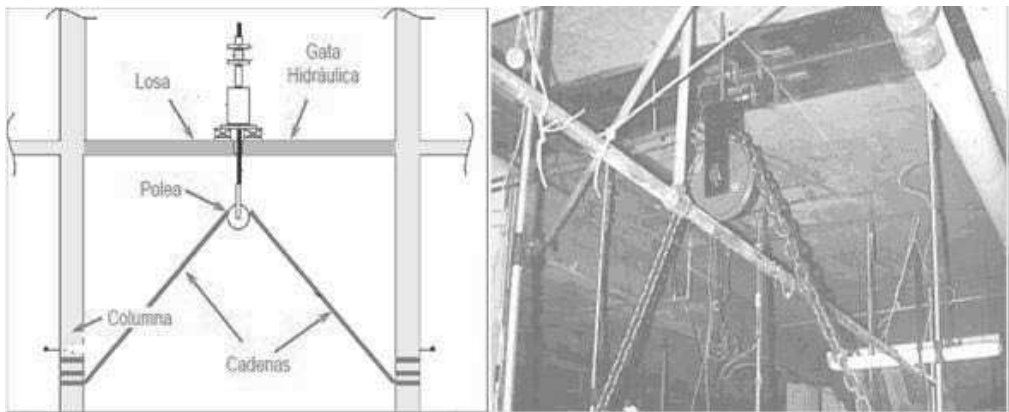
Warto zwrócić uwagę, że stosowanie wody jako obciążenia próbnego jest z wielu względów wygodne. Stosunkowo łatwo jest napełniać i opróżniać zbiorniki oraz kontrolować wielkość i rozkład obciążania. Wodę można bezpiecznie stosować w przypadku obiektów w budowie szczególnie, gdy budynek nie jest wykończony i wyposażony. W przypadku budynków wykończonych, wyposażonych i eksploatowanych używanie wody staje się niebezpieczne bo awarie i niekontrolowany wypływ wody grozi znacznymi stratami i przykrymi konsekwencjami.



**Rys. 2.** Układy z siłownikami hydraulicznymi do realizacji obciążeń próbnych [11]

Zamiast obciążeń statycznych do wytworzenia sił obciążających coraz częściej stosowane są układy konstrukcyjne wykorzystujące siłowniki hydrauliczne. Przykład takich układów zaprezentowano na rysunku 2, z prospektu amerykańskiej firmy Structural Group [11]. Tego typu układy zastosowane zostały przez ITB do badania nośności nietypowych stropów w zabytkowym budynku w Warszawie. W skład układu wchodziły: typowe podpory szalunków stropowych, hydrauliczne podnośniki i podkładowe (najazdowe) wagi samochodowe [9, 10].

Układy do realizacji obciążeń mogą być różne i mogą wykorzystywać różne rozwiązania konstrukcyjne. Na rysunku 3 [12] pokazano układ z wykorzystaniem cięgien.



Rys. 3. Układy z cięgnami do realizacji obciążeń próbnych [12]

Charakterystyczną cechą i istotną zaletą układu z siłownikami hydraulicznymi jest fakt, że obciążenia realizowane są wg schematu kinematycznego, co podnosi bezpieczeństwo badań, ponieważ w przypadku niespodziewanych zmian badanej konstrukcji (np. przemieszczenia na skutek przeciążenia) natychmiast, automatycznie następuje zmniejszenie wartości obciążenia. Omawiane układy z siłownikami zajmują niewiele miejsca co pozwala wykonywać pomiary bezpośrednio na powierzchni obciążanej. Całe badanie można prowadzić na jednej kondygnacji budynku.

### 3. PROCEDURY BADAWCZE PRZY REALIZACJI OBCIĄŻEŃ PRÓBNYCH

Przegląd metodyki postępowania i kryteriów oceny wyników badań za pomocą obciążeń próbnych na podstawie przepisów i praktyki z różnych krajów podany jest w monografii prof. Lewickiego [3].

Typowym dla obciążeń próbnych rozwiązaniem jest stosowanie oddziaływań cyklicznych. W każdym cyklu konstrukcja jest obciążana, następnie odciążana. Zazwyczaj zalecenia określają czasy: wzrostu obciążeń, trwania obciążenia, odciążania i pozostawiania bez obciążenia. W kolejnych cyklach od A do F wartości zastosowanych obciążeń są coraz większe. Na rysunku 4 przedstawiono sposób realizacji obciążeń zalecany w ramach technologii RapidLoad™ [13]. Tego typu cykliczne obciążenia były zastosowane w trakcie badań starego (stuletniego) stropu ceramicznego w budynku w Warszawie [10].

Warto zwrócić uwagę, że realizacja w istniejących budynkach cyklicznych obciążeń w sposób tradycyjny, np. przez układanie worków z cementem byłaby czasochłonna, kosz-

towna lub praktycznie niemożliwa. Cykliczne obciążenia można realizować za pomocą wody albo układów obciążających, o których była mowa wcześniej.



Rys. 4. Obciążenia zalecane w ramach technologii RapidLoad™ [13]

Jeżeli chodzi o zalecane wartości obciążeń w trakcie badań to mogą one być wyrażane w relacji do obciążeń użytkowych lub zmiennych, ale także mogą nawiązywać do wartości obciążeń stałych. Różnorodne są również zależności i współczynniki służące do określania wartości obciążeń. W przepisach znajdują się również wskazówki co do szybkości obciążania i odciążania konstrukcji oraz jak długo obciążenia powinny znajdować się na konstrukcji, a także kiedy powinny być realizowane pomiary przemieszczeń.

Wymieńmy dla przykładu, że w Polsce norma PN-56/B-03260 zalecała stosowanie obciążenia próbnego o wartości 140% obciążenia użytkowego jeżeli projektowe obciążenie użytkowe nie przekraczało  $7 \text{ kN/m}^2$ , natomiast dla większych projektowych obciążeń użytkowych powinno być stosowane obciążenie próbne  $10 \text{ kN/m}^2$ . Brytyjska norma BS 8110:1985 wskazuje jako obciążenia próbne wartości:  $G_k + 1,25Q_k$  albo  $1,125(G_k + Q_k)$ . Amerykańska norma ACI-318 określa obciążenia o wartości  $1,2G_k + 1,45Q_k$  gdzie:  $G_k$  i  $Q_k$  oznacza charakterystyczne obciążenia stałe i zmienne (wszystkie dane za [3]).

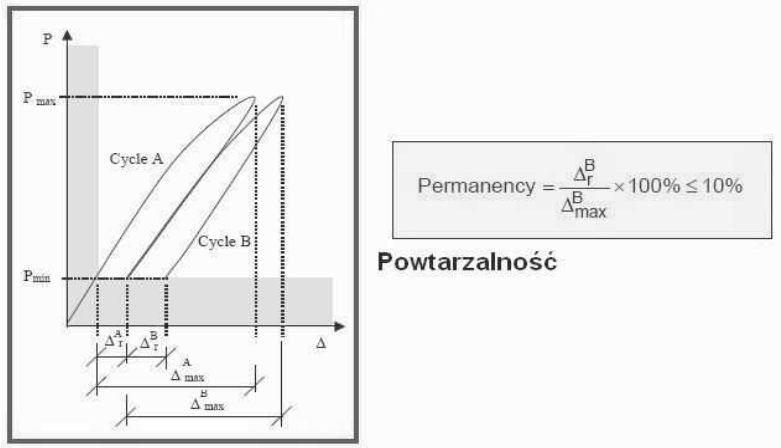
#### 4. KRYTERIA OCENY KONSTRUKCJI NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ

Trzeba podkreślić, że przy ocenie konstrukcji praktycznie żadne przepisy nie odwołują się do bezpośrednich wartości przemieszczeń jakie zostały zmierzone w trakcie badań za pomocą obciążeń próbnych. W kryteriach oceny naczelne miejsce zajmuje stosunek ugięcia trwałego  $y_t$ , tj. ugięcia pozostałego po zdjęciu obciążenia konstrukcji, do ugięcia całkowitego  $y_o$  obciążonej konstrukcji, lub stosunek ugięcia sprężystego  $y_e$ , które cofnęło się po zdjęciu obciążenia konstrukcji, do ugięcia całkowitego  $y_o$  [3]. Graniczne wartości stosunku  $y_t/y_o$  oraz  $y_e/y_o$  są zawsze wskazywane w połączeniu z określoną procedurą badania.

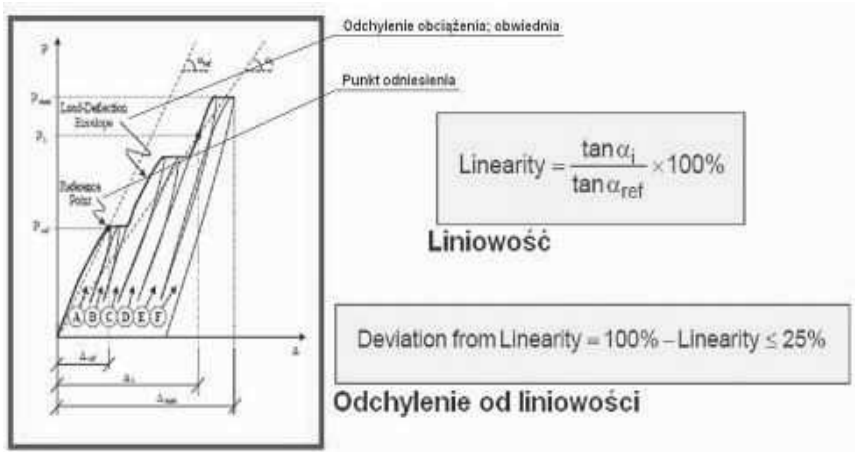
Przykładowo polska norma PN-56/B-03260 stwierdzała, że stosunek ugięcia trwałego do ugięcia całkowitego nie powinien przekraczać wartości od 0,25 do 0,4 (zależnie od stosunku ugięcia całkowitego do rozpiętości badanego elementu). Brytyjska norma BS 8110:1985 stanowiła, że wynik badania można uznać za pozytywny jeżeli wartości ugięcia pozostałe po zdjęciu obciążenia były mniejsze od 0,25 ugięcia całkowitego dla elementów żelbetowych oraz 0,15 dla elementów sprężonych.

Dla lepszego zobrazowania zależności, które stanowią o akceptacji albo dyskwalifikacji konstrukcji żelbetowych przytoczmy rysunki zaczerpnięte z opracowania [12]. Wynik zależy

nie od bezwzględnych wartości ugięć (przemieszczeń), ale od tego jak zachowuje się konstrukcja dla kolejnych cykli obciążeń. Na rysunku 5 przedstawiono kryterium symbolizujące (nazywane) trwałością. Następujące po sobie oddziaływania nie powinny powodować trwałych zmian większych niż 10%. Na rysunku 6 przedstawiono kryterium, które symbolizuje stopień nieliniowości, czyli przechodzenie w kierunku zmian plastycznych. Przedstawione na rysunkach 5 i 6 kryteria są ściśle powiązane z przedstawionymi na rysunku 4 cyklami obciążeń jakie powinny być realizowane w trakcie badań konstrukcji żelbetowych.



Rys. 5. Kryterium akceptacji – trwałość [12]



Rys. 6. Kryterium akceptacji – zachowania nieliniowe [12]

Zakres stosowania obciążeń próbnych nie jest nieograniczony. W swojej monografii prof. Lewicki [3] zwraca uwagę, że badania z wykorzystaniem obciążeń próbnych dotyczą przede wszystkim konstrukcji żelbetowych. Przedmiotem zainteresowania są głównie elementy zginane a w trakcie badania mierzone są ugięcia (przemieszczenia) konstrukcji. Problemy z wykorzystaniem obciążeń próbnych dla oceny konstrukcji żelbetowej ze względu na siły ścinające omówiono w [14].

## 5. NOWE MOŻLIWOŚCI REALIZACJI OBCIĄŻEŃ PRÓBNYCH

Przedstawiony wyżej opis układu z siłownikami jest przykładem wykorzystania w trakcie obciążenia próbnego konstrukcji budynków łatwiejszych w stosowaniu rozwiązań niż obciążenia grawitacyjne.

Oprócz tradycyjnie stosowanych obciążeń statycznych w charakterze obciążeń próbnego konstrukcji budynków mogą być stosowane także inne oddziaływania np. o charakterze dynamicznym. Przy ocenie stanu technicznego elementów konstrukcyjnych mogą być realizowane oddziaływania wywołujące drgania własne konstrukcji. Innym rodzajem oddziaływania mogą być oddziaływania wymuszające propagację fal sprężystych w konstrukcji. Mogą być wykorzystywane zjawiska emisji akustycznej AE.

Dla pomiarów zmian konstrukcji i w konstrukcji mamy do dyspozycji nie tylko tradycyjne metody geodezyjne, ale całą gamę współczesnych urządzeń pomiarowych. Przykładowo można wymienić czujniki światłowodowe (np. typu FBG), czujniki piezoelektryczne i całe kombajny w postaci laserowych robotów pomiarowych.

Do dyspozycji pozostają wyrafinowane systemy obliczeniowe i bezprzewodowe przesyłanie danych. Przy obciążeniach próbnym mogą być wykorzystywane metody i urządzenia, które powstają w ramach modnych i rozwijanych obecnie systemów SHM (*Structural Health Monitoring*).

Wszystkie urządzenia i systemy oferowane dla inżynierów budowlanych przez elektronikę i informatykę cechuje niezawodność i relatywnie niskie ceny.

## 6. WNIOSKI

Dla obciążeń próbnego konstrukcji budynków dostępne są różne atrakcyjne metody, a do dyspozycji pozostają zaawansowane technicznie i technologicznie urządzenia i systemy. Dostępne urządzenia ułatwiają realizację obciążeń próbnego, dostępne czujniki i systemy pomiarowe umożliwiają zgromadzenie szerokiego zakresu danych o zachowaniach konstrukcji pod wpływem zastosowanych obciążeń próbnego, a dostępne systemy obliczeniowe umożliwiają wykonanie wiarygodnych analiz i ocen konstrukcji budynków.

Za jakością i wysokim poziomem opracowań oferowanych przez zawodowych elektroników i informatyków nie nadążają rozwiązania inżynierów budowlanych. Jak stwierdza prof. Lewicki w cytowanej wcześniej monografii [3] dla obciążeń próbnego konstrukcji budynków brak jest podbudowy teoretycznej, a dla kryteriów oceny nie ma naukowego uzasadnienia.

Stosowanie obciążeń próbnego konstrukcji budynków wymaga określenia nowych metod postępowania, uwzględniających nowe możliwości techniczne i technologiczne oraz opracowania nowych kryteriów oceny uwzględniających wymagania aktualnych przepisów i norm projektowych.

Obciążenia próbne mogą się stać efektywnym i skutecznym narzędziem dla oceny stanu technicznego konstrukcji budynków. Warto podejmować prace studialno-teoretyczne nad wykorzystywaniem obciążeń próbnego w diagnostyce konstrukcji budynków oraz realizować obciążenia próbne w praktyce, jako dodatkowy element w trakcie prac diagnostycznych konstrukcji budynków.

### Literatura

- [1] Nechay J.: *Konstrukcje żelbetowe*. Warszawa 1951.
- [2] Makulski W.: *Próbne obciążenia konstrukcji budowlanych*. Arkady, Warszawa 1957.

- [3] Lewicki B.: *Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków*. ITB, Warszawa 1997.
- [4] ACI 318-08 *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*.
- [5] Zarządzenie nr 35 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 12 sierpnia 2008 roku w sprawie wprowadzenia zaleceń wykonywania badań pod próbnym obciążeniem drogowych obiektów mostowych.
- [6] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych.
- [7] Pająk Z., Piekarczyk A., Starosolski W.: *Wzmocnienie żelbetowych stropów płytowych wklejanymi kotwami – analiza, badania, realizacja*. Przegląd Budowlany, 2003, 6.
- [8] [http://www.sandberg.co.uk/attachments/065\\_s260r04\\_Load\\_Testing-Buildings.pdf](http://www.sandberg.co.uk/attachments/065_s260r04_Load_Testing-Buildings.pdf)
- [9] Kowalewski J.: *Technologia wykonywania obciążeń próbnych*. Inżynier Budownictwa, 2009, 7-8.
- [10] Kowalewski J.: *Obciążenia próbne stropów*. Przegląd Budowlany, 2009, 11.
- [11] [http://www.structural.net/Portals/3/SG\\_lit/sg\\_strengthening.pdf](http://www.structural.net/Portals/3/SG_lit/sg_strengthening.pdf)
- [12] Tumialan G.: *Ensayos de Carga de Estructuras de Concreto*. Simpson Gumpertz & Heger Boston, Massachusetts;  
[http://www.pucp.edu.pe/departamento/ingenieria/images/documentos/seccion\\_civil/Civil%20eventos/PruebasDeCargaDeEstructurasGustavoTumialan.pdf](http://www.pucp.edu.pe/departamento/ingenieria/images/documentos/seccion_civil/Civil%20eventos/PruebasDeCargaDeEstructurasGustavoTumialan.pdf)
- [13] *Load Testing and Strength Evaluation*. Structural Preservation Systems;  
<http://www.spsrepair.com/home.aspx>
- [14] Kowalewski J.: *O pewnych aspektach obciążeń próbnych*. VI Konferencja naukowo-techniczna, Puławy 19-21 października 2009.

## LOAD TEST IN THE DIAGNOSIS BUILDINGS OF STRUCTURES

*The paper discusses examples and practical aspects of load test in diagnostic construction of buildings. Highlighted the new possibilities of research. In its conclusions, practical recommendations are given.*