

prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz*
dr inż. Jerzy Szerafin**

Stosowanie badań za pomocą obciążeń próbnych do oceny jakości stropów żelbetowych

Istniejące stropy żelbetowe w wyniku uchybień projektowych i wykonawczych lub w przypadku modernizacji obiektów często wymagają przeprowadzenia oceny stanów granicznych. Do takiej diagnostyki za najbardziej wiarygodną uznaje się metodę obciążeń próbnych. Opiera się ona na pomiarze ugięć stropowych elementów konstrukcyjnych pod obciążeniem i z tego powodu stosowana jest przede wszystkim do oceny zachowania się elementów zginanych.

Jako obciążenie próbne w istniejących budynkach można wykorzystać łatwo dostępne w konkretnych warunkach materiały, np. worki z piaskiem, cementem lub innym produktem. W przypadku garaży wielopoziomowych obciążeniem próbnym mogą być samochody o odpowiednio dobranej masie i odpowiednio ustawione. Jako obciążenie próbne chętnie stosowane są też baseny (wykonane np. z płyt szalunkowych wykładanych grubą folią izolacyjną) napełniane wodą. Ten sposób, choć zapewnia prostotę kontroli wartości obciążenia, jednak związany jest z ryzykiem wystąpienia nieszczelności i przecieków, dlatego należy go polecać przede wszystkim przy zapewnieniu szczelności pojemników (basenów).

Oprócz sposobów grawitacyjnych realizacja obciążenia próbnego może odbywać się przez wymuszanie odkształceń konstrukcji za pomocą siłowników hydraulicznych. Jest to rozwiązanie specyficzne, cechujące się z reguły punktowym lub liniowym przyłożeniem obciążenia i wymagające włączenia do współpracy przy realizacji obciążenia także i innych elementów konstrukcyjnych budynku, których ewentualne

odkształcenia muszą być uwzględnione w ocenie uzyskanych wyników pomiarów. W przypadku realizacji cyklicznego programu obciążeń będzie to sposób najbardziej wygodny.

Nowsze techniki przeprowadzania obciążeń próbnych, sygnalizowane w [3], bazują na pomiarze drgań konstrukcji, rozchodzenia się fal sprężystych lub pomiarach akustycznych.

Ogólny opis badanych stropów

W artykule przedstawiono analizę pracy statycznej naprawianego stropu żelbetowego, w budynku o konstrukcji żelbetowej monolitycznej, którego schemat pokazano na rysunku 1. Analizy dokonano na podstawie przeprowadzonych obciążeń próbnych.

Żelbetowe płyty stropowe grubości 24 cm wykonano jako płaskie, oparte na słupach i ścianach nośnych. Obciążenia próbne przeprowadzano na kondygnacji podziemnej, na której przewidziano parkingi wewnętrzne. W trakcie realizacji tej kondygnacji, w wyniku niekorzystnych warunków atmosferycznych popełniono wiele błędów wykonawczych, które skutkowały koniecznością wykucia i odtworzenia fragmentów stropu wzdłuż linii oznaczonych na rysunku 1 jako „styk”.

W celu wykazania poprawności przeprowadzonych prac naprawczych zdecydowano się na obciążenie próbne stropu na trzech polach, oznaczonych na rysunku 1:

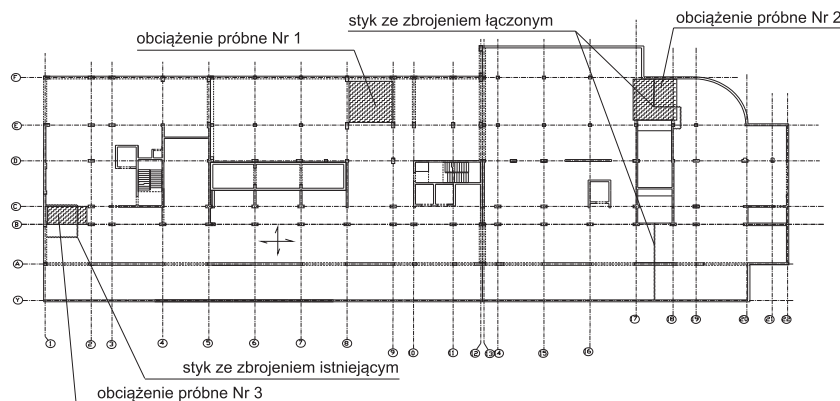
- Nr 1: osie 8-9/E-F (pole stropu niebudzącego zastrzeżeń);
- Nr 2: osie 17-18/E-F (pole stropu wadliwie zabetonowanego i następnie naprawionego);
- Nr 3: osie 1-2/B-C (pole stropu uszkodzonego podczas betonowania i następnie naprawionego).

Realizacja obciążeń próbnych

We wszystkich badanych polach obciążenia próbne realizowano za pomocą basenów napełnianych wodą. Baseny wykonywano z płyt szalunkowych, wykładanych grubą folią izolacyjną. Ugięcie płyty stropowej pod obciążeniem mierzono z dokładnością 0,01 mm za pomocą czujników zegarowych, umieszczonych na rusztowaniu od spodu płyty, w środku rozpiętości badanego pola. Wartość obciążenia próbnego wynosiła:

$$0,9G_{\text{dod},k} + Q_k = 0,8 \cdot 5 + 5 = 9 \text{ kN/m}^2$$

gdzie:
 $G_{\text{dod},k}$ – charakterystyczne obciążenie stałe ponad ciężar własny płyty stropowej;
 Q_k – charakterystyczne obciążenie zmienne przyjęte w projekcie konstrukcyjnym.



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny kondygnacji (opis w tekście)

* Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska

** Politechnika Lubelska

Zmniejszenie obciążeń stałych w stosunku do projektowanych miało na celu uwzględnienie braku tych obciążeń w sąsiednich polach płyty stropowej, co wywierało wpływ na wielkość ugięcia w polu obciążanym. Wielkość przyjętego obciążenia odpowiadała ilości wody w basenie głębokości 90 cm.

Analiza wyników obciążeń próbnych

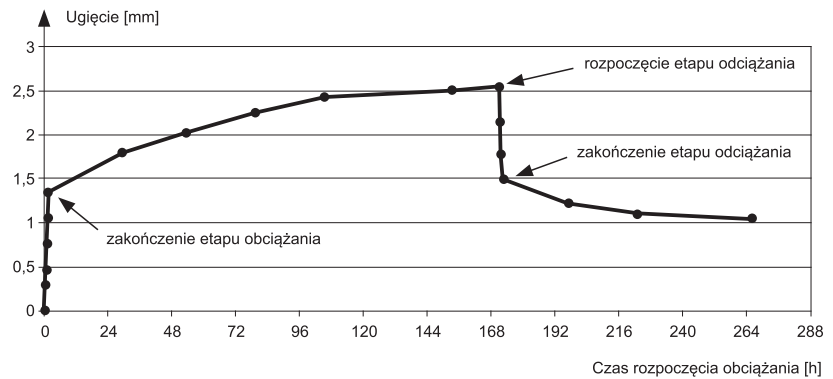
Kryteria oceny wyników badań. Obecnie w Polsce (i wielu innych krajach) brak jest normowych procedur przeprowadzania obciążeń próbnych i oceny ich wyników. Podstawową pozycją literaturową stanowiąca pomoc dla badacza i eksperta jest monografia [1], której najważniejsze ustalenia zostały też przedstawione w [2]. W odniesieniu do analizowanego przypadku kryteria te były następujące:

- wielkość obciążenia próbnego: nie więcej niż $G_k + Q_k$ (projektowane charakterystyczne obciążenie stałe i zmienne);

- czas obciążania i czas obserwacji wskaźników po usunięciu obciążenia: dokładnie nie jest precyzowany, powinien być wystarczająco długi, aby odczyt ugięcia ustabilizował się i aby tempo przyrostu ugięć mało;

- kryteria oceny są różne: brak rysowań o nadmiernej szerokości rozwarcia, nieprzekroczenie ugięcia dopuszczalnego oraz warunków $y_t < 0,15 y_{max}$, gdzie $y_t = y_{max} - y_{el}$ (y_{max} – ugięcie maksymalne, y_{el} – ugięcie sprężyste, y_t – tzw. ugięcie trwałe, a w zasadzie sprężyste opóźnione).

Wyniki obciążeń próbnych stropu i ich ocena. Obciążenie próbne pola stropu nr 1, które przeprowadzono w typowym polu płyty, niebudzącym zastrzeżeń co od jakości wykonania, miało stanowić punkt odniesienia dla kolejnych badań. Czas obciążenia i odciążania wynosił ok. 55 min. Przyjęty czas utrzymywania obciążenia był dłuższy, niż to zwykle jest przyjmowane, i wynosił ok. 48 godzin. Przykładową analizę obciążenia próbnego fragmentu (pola) stropu nr 2, w którym następowało zespolenie betonu starego z nowym, przedstawiono na rysunku 2 oraz w tabeli. Ugięcia pojawiające się w fazie obciążania miały cechy odkształcenia sprężystego. Po odciążeniu nastąpiło natychmiastowe cofnięcie ugięcia sprężystego, następnie



Rys. 2. Wyniki obciążeń próbnych fragmentu Nr 2 (osie 17-18/E-F) stropu

Wyniki pomiarów i kryteria oceny stropu w polu Nr 2

Parametr	Wyniki pomiarów [mm]	Literaturowe kryteria oceny	
Ugięcie dopuszczalne y_{lim}	28,5		
Ugięcie maksymalne y_{max}	2,54	$y_{max} < y_{lim}$	2,54 < 28,5
Ugięcie sprężyste y_{el}	1,34		
Ugięcie opóźnione $y_t = y_{max} - y_{el}$	1,20	$y_t < 0,15 y_{max}$	1,20 > 0,38 (kryt. niesp.)
Ugięcie bezpośrednio po odciążeniu y_{odc}	1,50		
Ugięcie końcowe y_{ost}	1,05	Dodatkowe kryterium oceny	
Ugięcie sprężyste opóźnione $y_{t,el} = y_t - y_{ost}$	0,15	$y_{t,el} < 0,15 y_{max}$	0,15 < 0,38

ustąpiło ugięcie sprężyste opóźnione (ok. 4 dni), pozostawiając ugięcie końcowe noszące cechy ugięcia trwałego. Ugięcie to związane było z odkształceniami pojawiającymi się w styku betonu starego i nowego, które ustają po „dopasowaniu się” obu fragmentów konstrukcji.

Konieczne zatem było sformułowanie kolejnego kryterium ograniczającego wielkość odkształcenia trwałego w styku. W analizowanym przypadku wynosiło ono 1,05 mm, co stanowiło zaledwie 3,7% ugięcia dopuszczalnego i ta wielkość wydawała się bezpieczna. Na podstawie prostych geometrycznych przekształceń można było wykazać, że wiąże się ono z odkształceniem w styku wynoszącym ok. 0,15 mm. Przyjęta graniczna wartość tego odkształcenia (przykładowo na poziomie 0,3 mm) może być podstawą do ustalenia dopuszczalnych odkształceń trwałych w stropach, w których znajdują się styki lub przerwy robocze, w zależności od ich charakterystyki.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule badania fragmentów stropów za pomocą obciążeń próbnych wskazują na celowość stosowania ich do oceny technicznej

stropów. W celu zwiększenia wiarygodności ocen pól (fragmentów) stropów, czas trwania przeprowadzonych obciążeń próbnych był znacznie dłuższy niż przewidywany w zaleceniach literaturowych. W przypadku obciążeń pola (fragmentu) Nr 1 wynikało to ze względów poznawczych, natomiast w przypadku pola (fragmentu) Nr 2 (naprawiany fragment stropu) – z długotrwałego rozwijania się odkształceń opóźnionych.

Literaturowe kryteria oceny wyników obciążeń próbnych znajdują uzasadnienie w przypadku typowych elementów. Obecność styku betonu starego i nowego w badanym fragmencie była przyczyną pojawienia się dodatkowych ugięć trwałych. Dla potrzeb oceny pracy statycznej takiego stropu podjęto decyzję o przyjęciu zmodyfikowanych kryteriów.

Literatura

- [1] Lewicki B.: Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków. ITB, Warszawa 1997.
- [2] Lewicki B.: Obciążenia próbne konstrukcji budynków. Metodyka postępowania i kryteria oceny. Inżynieria i Budownictwo, nr 2/98.
- [3] Kowalewski J.: Obciążenia próbne w diagnostyce budynków. 56 Konferencja Naukowa w Krynicu, 2010.