

dr inż. Ryszard Antonowicz¹⁾dr inż. Adam Klimek^{1*)}dr hab. inż. Bohdan Stawiski, prof. nzw. Pwr.¹⁾

Badania i analiza konstrukcji płytowo-słupowej z dużymi otworami

Research and analysis of slab and column structure with large openings

DOI: 10.15199/33.2015.11.27

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule przedstawiono przypadek zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji, sygnalizowanego pękaniem ścian działowych (wysokości powyżej 3 m). Uszkodzone ściany działowe oparte były na monolitycznych stropach żelbetowych, w których wykonane były liczne otwory o powierzchni kilku m², w różny sposób usytuowane względem słupów. Wstępne obliczenia wskazywały na przekroczenie nośności płyt stropowych na przebiecie. Dokładne badania materiałowe i obliczenia przeprowadzone na trzech modelach pozwoliły wykazać, że konstrukcja może przenieść występujące obciążenia pomimo pęknięcia ścian działowych. Zwrócono uwagę, że przestrzenny model obliczeniowy, nieuwzględniający etapów wznoszenia budynku, nie może być modelem najbardziej adekwatnym.

Słowa kluczowe: stropy monolityczne, beton, ultradźwięki, zbrojenie, nośność, przebiecie.

Abstract. The article presents the case of a safety risk signalled by the cracking of partition walls at a height above 3 m in a structure based on monolithic reinforced concrete floors with openings with surface areas of several m² situated on the axes of the columns, sometimes directly adjacent to the columns. Preliminary calculations indicate that the structure is threatened by perforation of the floors. Thanks to detailed inspection of materials and calculations in three models it is possible to determine that the structure can distribute occurring loads despite cracking of the walls based on columns. It is also emphasized that a computational spatial model not taking into consideration stages of building erection may not be the most appropriate model.

Keywords: monolithic floors, concrete, ultrasounds, reinforcement, carrying capacity, perforation.

Konstrukcje słupowo-płytowe są chętnie stosowane przez architektów, w znacznej mierze z powodu swobody kształtowania przestrzeni użytkowej budynku. Podparcie stropów wprost na słupach generuje jednak koncentracje sił poprzecznych wokół podpór, wskutek tego bardzo istotny staje się problem przebiecia w takich konstrukcjach. Sytuacja jeszcze bardziej się komplikuje, gdy część strefy podparcia stropu przy słupie zostaje wycięta z powodu zaprojektowanych dużych otworów na instalacje. Do wyznaczenia sił wewnętrznych ważne jest przyjęcie trafnego modelu obliczeniowego, jak najlepiej odwzorowującego rzeczywiste zachowanie się konstrukcji. Gdy weryfikacja dotyczy istniejącego obiektu, ocenie poddaje się dodatkowe czynniki, jak np. rzeczywista wytrzymałość betonu, dokładność ułożenia zbrojenia itp. W artykule przedstawiono przykład analizy wykonanej konstrukcji płytowo-słupowej wraz z rozwiązaniami wymienionych problemów.

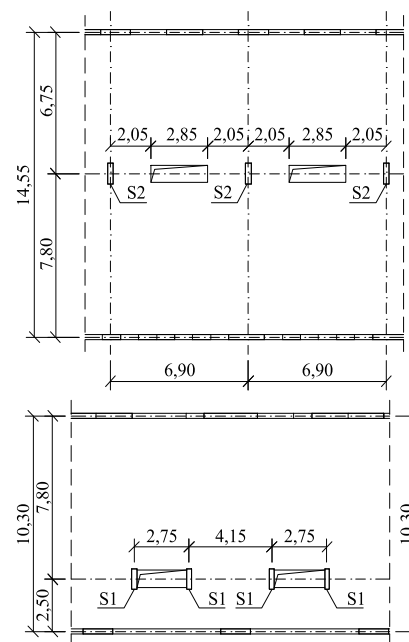
¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Autor do korespondencji:

e-mail: adam.klimek@pwr.edu.pl

Opis analizowanej konstrukcji

Analizowano budynek wielokondygnacyjny o konstrukcji monolitycznej, ze stropami opartymi na zewnętrznych ścianach nośnych, wzajemnie oddalonych o ok. 10 i 15 m, z dodatkowymi podporami wewnętrznymi na słupach, które umieszczono w odległości ok. 7,8 i 6,7 m oraz 7,8 i 2,5 m od podpór skrajnych. Stropy w osiach słupów mają otwory instalacyjne 2,8 x 0,8 m lub 2,8 x 1,0 m (rysunek 1). Niektóre stropy opierają się na słupach tylko wzdłuż trzech boków. W takich przypadkach istotnie zmniejszona jest powierzchnia odpowiedzialna za bezpieczeństwo stropu na przebiecie. Przewidywane obciążenie użytkowe stropów wynosi $5 \div 10 \text{ kN/m}^2$, a lokalnie do 16 kN/m^2 . Dodatkowo stropy zostały obciążone ciężkimi ścianami działowymi wysokości 3,5 m wykonanymi z silikatowych elementów murowych o grubościach 8, 12 i 18 cm oraz ciężkimi warstwami posadzkowymi. Ugięcia stropów pod obciążeniem od ścian i podłóg były przyczyną pojawienia się licznych rys i pęknięć w ścianach działowych (fotografia 1). Ich pojawienie się za-



Rys. 1. Rozmieszczenie słupów i otworów w stropie (wg projektu archiwalnego) w 2 skrzydłach budynku (widoczne są słupy S1 oraz S2 wraz z otworami w płycie pomiędzy nimi)

Fig. 1. Location of columns and openings in the floor (according to the archive design) in 2 wings of the building (S1 and S2 columns are visible with openings in the slab between them)



Fot. 1. Przykłady pęknięć i rys w ścianach działowych badanego budynku

[Fot. B. Stawiski]

Photo 1. Examples of cracks and crevices in partition walls of the examined building

[Photo B. Stawiski]

niepokoiło inwestora, który podjął decyzję o sprawdzeniu bezpieczeństwa konstrukcji przez niezależny zespół.

Zakres podjętych badań

Położenie siatek zbrojeniowych w stropie potwierdzono pomiarami wielu odwiertów (fotografia 2). Jakość betonu badano metodą niszczącą na próbkach wyciętych ze stropów. Dodatkowo zbadano (metodą ultradźwiękową) rozkład wytrzymałości betonu na grubości stropów i na powierzchni. W związku z tym, że pęknięcia ścian działowych wskazywały na duże ugięcia, wykonano geode-



Fot. 2. Odwierty (o dwóch średnicach) pobrane ze stropów

[Fot. B. Stawiski]

Photo 2. Boreholes (with two diameters) taken from the floors

[Photo B. Stawiski]

zyjne pomiary ugięć płyt stropowych pod obciążeniem własnym (bez obciążeń użytkowych). Na podstawie otrzymanych danych przeanalizowano obliczeniowo stan bezpieczeństwa płyt stropowych, szczególnie pod kątem przebiega i zginania.

Odwierty pobrane z płyt stropowych (fotografia 2) posłużyły do:

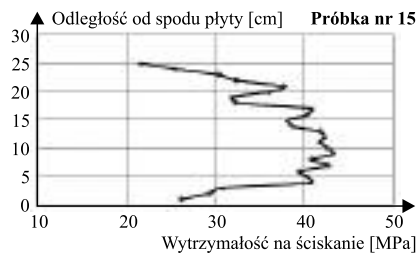
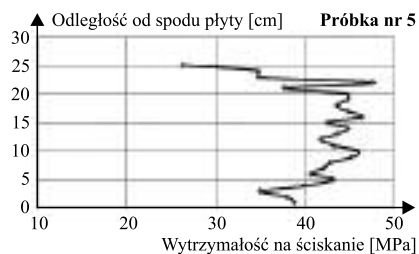
- badania wytrzymałości betonu na grubości stropu metodą ultradźwiękową;
- określenia położenia i średnicy prętów zbrojenia dolnego i górnego;
- badania (metodą niszczącą) próbek walcowych o wysokości równej średnicy;
- ustalenia krzywych skalowania w metodzie ultradźwiękowej do badań skrośnych i powierzchniowych.

Wyznaczono zależność korelacyjną pomiędzy prędkością podłużnej fali ultradźwiękowej C_L a wytrzymałością betonu f_c o równaniu [1]

$$f_c = 30,16C_L - 60,64 \text{ [MPa]}$$

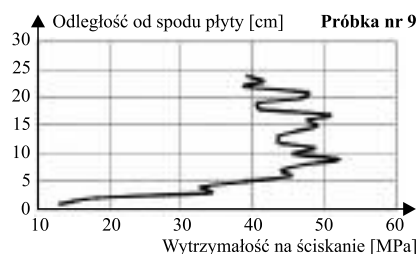
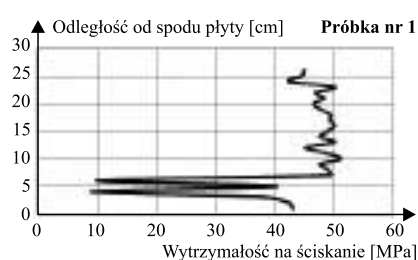
W jednocentymetrowych odstępach zbadano odwierty i określono wytrzymałość betonu na ściskanie w tych przekrojach. Wykresy wytrzymałości na grubości stropu w miejscu odwiertów na różnych kondygnacjach pokazano na rysunkach 2 i 3 i są one zgodne z podanymi w [2, 3].

Wytrzymałość na ściskanie betonu dostarczonego na budowę wynosiła 40 – 45 MPa. Podobne wartości uży-



Rys. 2. Przykłady wytrzymałości betonu na wysokości wybranych odwiertów, w których beton w strefie górnej jest osłabiony

Fig. 2. Examples of concrete strength at the height of selected boreholes, those in which concrete in the top zone is weakened



Rys. 3. Przykłady wytrzymałości betonu na wysokości wybranych odwiertów, w których strefa górna zachowuje przeciętny poziom wytrzymałości

Fig. 3. Examples of concrete strength at the height of selected boreholes in which top zone maintains the average level of strength

skano w badaniach próbek wyciętych z środkowej części odwiertów. Sposób zagęszczenia spowodował, że wytrzymałość na grubości stropu w niektórych obszarach (odwierty 1, 2, 3, 9) nie ulega istotnym zmianom. Są także takie obszary (np. odwierty 5, 15), w których odnotowano bardzo duże zmniejszenie wytrzymałości betonu w strefie górnej (20 ÷ 25%).

Należy podkreślić, że mała wytrzymałość została ujawniona w warstwie o grubości ok. 4 cm. W strefie dolnej płyt stropowych zmniejszenie wytrzymałości dotyczy obszarów pod prętami zbrojenia [3, 4]. Ostatecznie przeprowadzona ocena wytrzymałości betonu na ściskanie potwierdziła projektowany poziom 40 MPa. Zbrojenie w stropach również ma projektowane parametry. Jedyne górna siatka zbrojeniowa miejscami została nieznacznie przesunięta ku dołowi.

W przypadku losowo wybranych stropów wykonano geodezyjne pomiary ugięć, z których wynika, że w stanie bez obciążeń użytkowych nie przekraczają wartości dopuszczalnych (l/250) i mają przeważnie znaczne zapasy. Tylko w jednym przypadku (na ponad 60 pomierzonych przęseł), ugięcie wyniosło l/255. Dysponując wartościami wymienionych parametrów materiałowych, przystąpiono do sprawdzenia bezpieczeństwa konstrukcji.

Obliczeniowa analiza stropu

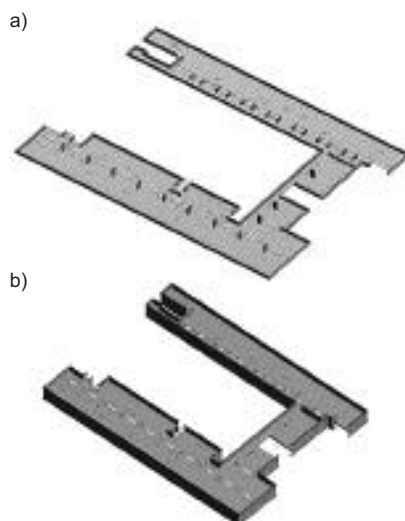
W celu wykonania obliczeń sprawdzających nośność stropu wykorzystano:

- tradycyjny model płaski, w którym analizę przeprowadza się dla każdej płyty stropowej, podpartej przegubowo na ścianach zewnętrznych oraz punktowo na słupach wewnętrznych;

- uproszczony model przestrzenny, w którym, podobnie jak w modelu płaskim, analizę przeprowadza się dla każdej płyty stropowej, uwzględniając sprężyste zamocowanie płyt stropowych w ścianach zewnętrznych; wykorzystując konstrukcyjną powtarzalność kolejnych kondygnacji budynku, do modelu obliczeniowego wprowadzono ciągłe fragmenty ścian zewnętrznych budynku o wysokości nad oraz pod płytą równej połowie wysokości kondygnacji (krawędzie ścian wypadają w tym modelu w miejscach zerowych momentów zginających oraz zerowych przemieszczeń poziomych, podparte są zatem przegubowo); w celu uproszczenia obliczeń osłabienie ścian usztywniających otworami uwzględniono przez wprowadzenie litych ścian bez otworów oraz nadanie im zastępczej grubości adekwatnej do zmiany sztywności, wynikającej ze perforowania przekrojów otworami; metoda polega na połączeniu dawnej metody „ram H” [5] z metodą elementów skończonych;

- pełny model przestrzenny całego budynku, uwzględniający współpracę wszystkich elementów konstrukcyjnych.

Obliczenia sprawdzające wykonano dla dwóch pierwszych modeli (płaskiego i uproszczonego przestrzennego, rysunek 4), a następnie ich wyniki porównano oraz odniesiono do wyników z pełnego modelu przestrzennego, wykonanego przez projektantów obiektu na etapie projektu budowlanego. Pomimo panującego powszechnie przekonania o największej dokładności obliczeń prowadzonych w pełnych modelach przestrzennych odniesiono się do niego z pewną rezerwą, wynikającą z nieuwzględniania fazowego charakteru pracy konstrukcji. Istotą zagadnienia jest przenoszenie obciążeń przez poszczególne elementy konstrukcji



Rys. 4. Modele obliczeniowe stropów: płaski (a) oraz uproszczony przestrzenny (b)
Fig. 4. Computational models of floors: flat (a) and simplified spatial (b)

w kolejno powstających niepełnych schematach statycznych, wynikających ze stopniowo usuwanych desek i stemplowań przed ukończeniem budynku, a nawet przed wykonaniem wyższej kondygnacji. Porównanie sił wewnętrznych uzyskanych w przypadku wszystkich trzech modeli obliczeniowych wykazało bardzo dobrą zgodność uproszczonego oraz pełnego modelu przestrzennego, natomiast w modelu płaskim momenty przęsłowe, momenty nad słupami oraz reakcje na słupach wewnętrznych były o ok. 20% większe niż w modelach przestrzennych. W modelu przestrzennym pojawiły się natomiast znaczne momenty ujemne w miejscach połączeń płyt stropowych ze ścianami zewnętrznymi, które nie występowały w modelu płaskim.

W przypadku zginania oraz ugięcia uzyskano spełnienie warunków obu stanów granicznych w każdym z trzech modeli obliczeniowych, natomiast w zakresie przebicia nośność została przekroczona na najbardziej wyczerpanym słupie w modelu płaskim o ok. 19%, a w tym samym miejscu w uproszczonym modelu przestrzennym uzyskano zapas nośności wynoszący ok. 2%. Obliczenia te wykonano zgodnie z archiwalną normą PN-B-03264:2002, wg której wykonano projekt budynku (nie uwzględnia ona wpływu proporcji boków słupa) [6]. Analogiczne nośności stropów na przebicie, wyznaczone zgodnie z normą

PN-EN 1992-1-1:2008, były o ok. 20% większe ze względu na istniejący duży stopień zbrojenia górnego nad słupami (ok. 2%), co według tej normy ma korzystny wpływ na nośność na przebicie (a wg Polskiej Normy nie ma wpływu; zaleca ona jedynie zachowanie minimalnego zbrojenia nad słupem – ok. 0,5%). Jednak ze względu na konieczność stosowania norm wytrzymałościowych PN-EN łącznie z normami PN-EN dotyczącymi obciążeń, które dają większe współczynniki obciążeń obliczeniowych, efekt wytrzymałościowy zastosowania norm polskich i europejskich jest jednakowy.

Podsumowanie

Przedstawione badania materiałowe, pomiary ugięć stropów oraz analiza stropów w trzech modelach obliczeniowych pozwoliły uznać badaną konstrukcję za bezpieczną, pomimo niepokojących objawów pęknięcia prawie wszystkich ścian działowych w budynku. Ugięcia stropów o takiej wartości, jakie dopuszczają normy żelbetowe, są niemożliwe do przeniesienia przez tarcze ścienne z dużych elementów murowych [7] lub ze słabych elementów, np. gipsowych. Jednak nawet liczne zarysowania, a nawet pęknięcia ścian działowych nie muszą świadczyć o awaryjnym stanie konstrukcji.

Literatura

- [1] Stawiski B., Ultradźwiękowe badania betonów i zapraw głowicami punktowymi, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
- [2] Stawiski B., Badania jakości betonu na grubości posadzek. Materiały Budowlane 10/2000, s. 84.
- [3] Schabowicz K., Stawiski B., Klimek A., Untersuchungen der gerissenen Deckenplatten. Beton-Stahlbetonbau 2006 Jg 101 H. s. 511 – 517.
- [4] Hoła J., Schabowicz K., Stawiski B., Atypical applications of ultrasonic method in testing of concrete structures: 9th European Conference on NDT. Berlin 2006.
- [5] Kobiak J., Stachurski W., Konstrukcje żelbetowe, tom III, Arkady, Warszawa 1989.
- [6] Urban T.S., Przebicie w żelbecie, wybrane zagadnienia, Zeszyty Naukowe nr 962, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.
- [7] Kania T., Stawiski B., Badania inicjacji rys w ścianach opartych na stropach. Materiały Budowlane 11/2015, s. 101 + 103 DOI: 10.1599/33.2015.11.30

Przyjęto do druku: 28.09.2015 r.