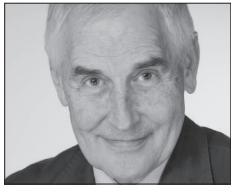


Ocena nośności stropów 100-letniego budynku sądowego przeznaczonego do modernizacji



Prof. Dr.-Ing. habil.
PIOTR NOAKOWSKI
Exponent GmbH
Technical University of Dortmund
Politechnika Warszawska
Constructure Industrial Structures, Düsseldorf
ORCID: 0000-0002-2021-0377

Nowe przeznaczenie stuletnich stropów budynku wymaga szeregu badań dotyczących nowego podziału pomieszczeń, wyposażenia w nowoczesną technikę oraz zabezpieczenia niezakłóconej użyteczności.

Konstrukcja stropów

Dopasowanie 100-letnich stropów 5-kondygnacyjnego budynku do potrzeb nowoczesnego użytkowania wymagało następujących działań:

- Nowy podział pomieszczeń przy użyciu filigranowych ścian działowych, podwójnych podłóg i podwieszonych stropów.
- Wyposażenie w nowoczesną technikę w odniesieniu do urządzeń sanitarnych, ogrzewania, wentylacji etc.
- Zabezpieczenie użyteczności w sensie obciążeń, odkształceń, nośności, ochrony przeciwpożarowej, akustyki etc.

Przedmiotowy budynek wraz z konstrukcją stropów pokazano na rys. 1. Ustalanie konstrukcji oraz aktualnego stanu technicznego stropów przebiegało w sposób następujący:

Własności stropów

Studia dokumentacji [1, 2], odpowiednich publikacji [3–5, 7, 8, 13–15], pomiary na odwiertach i lokalne odsłonięcia w stropach pozwoliły na następujące odtworzenie konstrukcji stropów:

- Liczba okolo 70 pomieszczeń
- Rozpiętość 5,68 m w kierunku nośności
- Grubość całkowita 34,0 cm
- Jastrych grubość 5,5 cm
- Beton C12/15
- Wypełnienie Pustaki z betonu lekkiego, $b/l/h = 24\text{ cm}/33\text{ cm}/20\text{ cm}$
- Zbrojenie Odwrócone teowniki, $b/h/t = 50\text{ mm}/35\text{ mm}/5\text{ mm}$
- Zakotwienie w betonowych belkach ściennych
- Tynk grubość 1,5 cm
- Utwierdzenie Zespolecie z ulokowanymi w ścianach belkami betonowymi

Miarodajne badania

Ponieważ koncepcja ta odbiega od współczesnych zasad, a po 100 latach użytkowania budynku należało się spodziewać naruszenia struktury nośnej stropów, postanowiono poddać je następującym badaniom:

- stanu technicznego,
- własności materiałowych,
- obciążeń próbnych,
- aktualnej nośności.

Stan techniczny przedmiotowych stropów

Badania stanu technicznego stropów mające na celu weryfikację ich konstrukcji oraz ustalenie ubytków polegały na następujących działaniach:

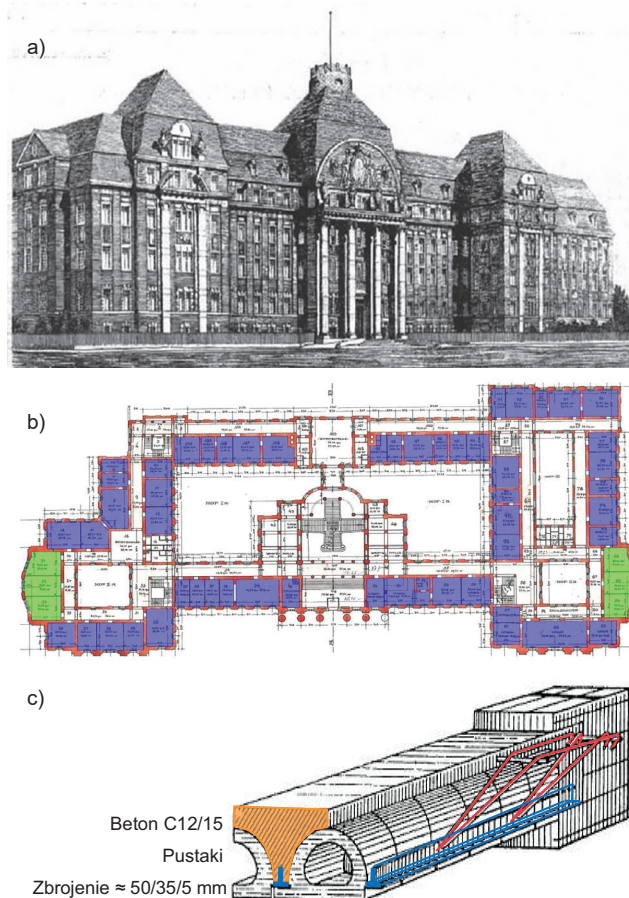
- pobranie 7 odwiertów o średnicy 300 mm;
- odsłonięcie zbrojenia przez lokalne wykucie betonu i usunięcie pustaków, również w strefie zakotwienia;
- odsłonięcie spodu pustaków przez obszerne usunięcie tynku.

Badania te dowiodły, że stropy wykazują następujące ubytki:

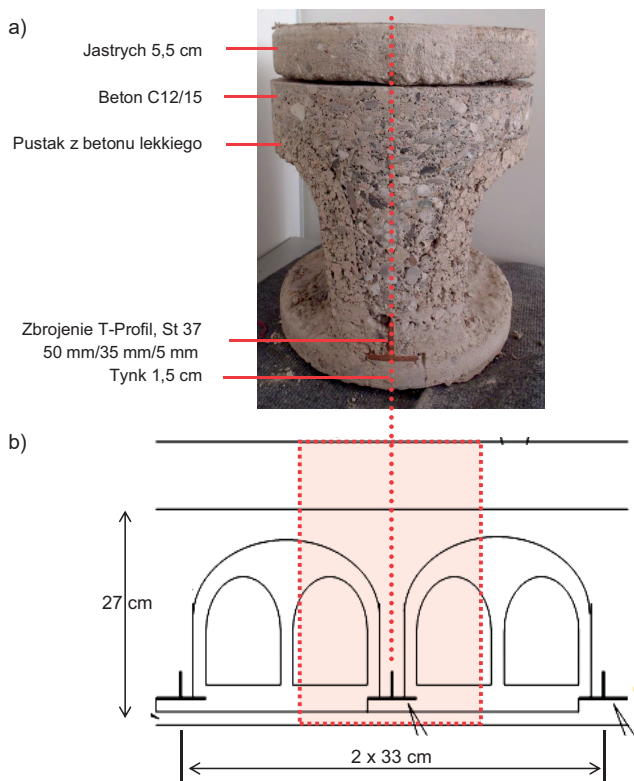
Pustaki

- rysy w tynku w miejscach styków,
- odpryski pod półkami zbrojenia,
- liczne dziury w spodach pustaków.

Widok odkrytki stropu i jego wymiary pokazano na rys. 2. Stan techniczny stropów przedstawiono na rys. 3.



Rys. 1. Konstrukcja stropów [3–5, 7, 8, 13, 14]; a) wygląd budynku, b) rzut, c) zespolona koncepcja stropów



Rys. 2. Konstrukcja stropów [1–5, 7, 8, 13, 14];
a) zespolone ukształtowanie stropów, b) wymiary stropów



Rys. 3. Stan techniczny stropów:
a) liczne ubytki w spodach pustaków, b) odwrócone teowniki niezespólone z betonem, c) brak przyczepności stali do betonu, korozja powierzchniowa stali

Beton

- niedostateczna otulina zbrojenia;
- nieuszczelniona, porowata struktura typowa dla niskiej wytrzymałości.

Zbrojenie

- odwrócone teowniki niezespólone z betonem,
- wysoce nierównomierne wymiary,
- brak zespolenia z betonem,
- ubytki przekroju stali w wyniku korozji.

Właściwości materiałowe

Badania właściwości betonu i stali mające na celu ustalenie ich wytrzymałości oraz wartości przekrojowych polegały na następujących działaniach:

- pomiary wytrzymałości betonu na ściskanie: 30 pomiarów młotkiem Schmitta, ściskanie 2 próbek w laboratorium;
- badania wytrzymałości stali na rozciąganie: tabele historyczne [7, 8, 11, 13, 14], rozciąganie 4 próbek w laboratorium;
- pomiary przekrojów profili stalowych: 58 pomiarów próbek podjętych w różnych miejscach stropów;
- obliczenie wartości przekrojowych.

Badania te dostarczyły następujących ocen:

Właściwości betonu

Miarodajna wytrzymałość na ściskanie

- Minimalna wartość 5% $f_{ck} = 12 \text{ MN/m}^2$
- Klasa betonu C12/15

Właściwości stali

Miarodajna wytrzymałość na rozciąganie

- Minimalna wartość $f_y = 210 \text{ MN/m}^2$ [11]
- Klasa stali St 37

Miarodajny przekrój profilu teowego

- Minimalna wartość 5% $A_s = 3,55 \text{ cm}^2$
- Średnia wartość 50% $A_s = 4,00 \text{ cm}^2$

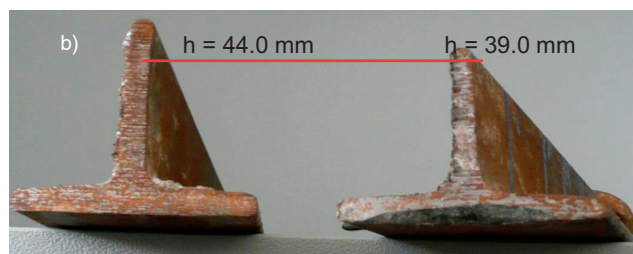
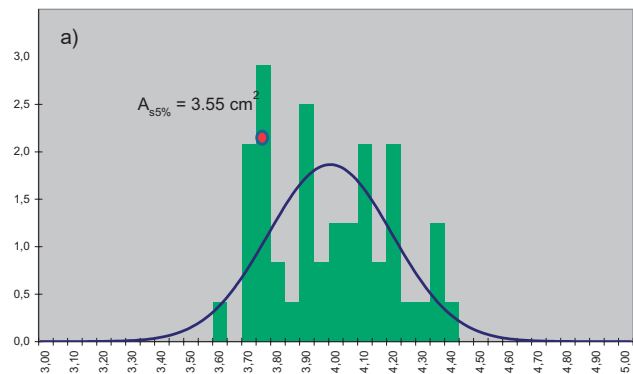
Średnie wartości przekrojowe

Średnie wartości przekrojowe pasma pomiarowego ($b = 1 \text{ m}$, beton + pustaki) do obliczeń strzałek ugięcia

- Moduł sprężystości $E_c = 20000 \text{ MN/m}^2$
- Przekrój profilu $A_{s50\%} = 4,00 \text{ cm}^2$
- Stan I $x = 9,9 \text{ cm}$, $A = 466 \text{ cm}^2/\text{m}$, $I = 26530 \text{ cm}^4/\text{m}$
- Stan II $x = 6,5 \text{ cm}$, $A = 255 \text{ cm}^2/\text{m}$, $I = 14490 \text{ cm}^4/\text{m}$

Minimalne wartości przekrojowe

Minimalne wartości przekrojowe pasma pomiarowego ($b = 1 \text{ m}$, beton) do obliczeń nośności w miejscach osłabień



Rys. 4. Właściwości materiałowe: a) duży rozrzut wymiarów profili, b) miarodajny przekrój profilu

- Moduł sprężystości $E_c = 25800 \text{ MN/m}^2$
 - Przekrój profilu $A_{s5\%} = 3,55 \text{ cm}^2$
 - Stan I $x = 8,3 \text{ cm}, A = 299 \text{ cm}^2/\text{m}, I = 16900 \text{ cm}^4/\text{m}$
 - Stan II $x = 5,7 \text{ cm}, A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}, I = 10940 \text{ cm}^4/\text{m}$
- Histogram na rys. 4. wskazuje na duży rozrzut wymiarów profilu.

Obciążenia próbne

Obciążenia próbne pokazane na rys. 4. miały na celu ustalenie następujących cech zachowania się stropów:

- Odształcenia stali ϵ w półkach profilu zbrojeniowych
- Strzałki ugięcia δ pasm próbnych

Badania te i ich wyniki wypadły, jak następuje:

Pasma próbne

Przygotowanie pasma próbnego polegało na następujących działaniach:

- wyodrębnienie ze stropu pasma próbnego o szerokości 1 metra (3 pustaki) przez cięcia w kierunku jego nośności;
- ochrona przed załamaniem się pasma próbnego przez wzniesienie rusztowania ochronnego w analizowanym pomieszczeniu;
- umożliwienie pomiarów od spodu pasma przez wzniesienie rusztowania osobowego w analizowanym pomieszczeniu;
- przygotowanie 110 pojemników z wodą, każdy o ciężarze 23 kg;
- zaopatrzenie pasma próbnego w aparaturę pomiarową:
- zegary do pomiarów odształceń profilu zbrojeniowych ustawiono na spodzie pasma,
- suwmiarki do pomiarów strzałki ugięcia ugięcia ustawiono na górze pasma.

Obciążenia próbne

Przeprowadzenie obciążeń próbnych wyglądało, jak następuje:

- Obciążanie pasma próbnego przez stopniowe nakładanie pojemników z wodą:

1. Obciążenie ciągłe $1,84 \text{ kN/m}^2$, 8 pojemników/ m^2
2. Obciążenie ciągłe $3,68 \text{ kN/m}^2$, 16 pojemników/ m^2
3. Obciążenie ciągłe $5,52 \text{ kN/m}^2$, 24 pojemników/ m^2
4. Obciążenie lokalne $12,42 \text{ kN/m}^2$, 54 pojemników/ m^2

- Pomiary następujących cech zachowania się pasma próbnego:
- odształcenia profilu zbrojeniowych,
- strzałki ugięcia całego pasma.

Odształcenia w stali ϵ

Wyniki obciążeń pasma próbnego oraz korespondujących obliczeń były następujące:

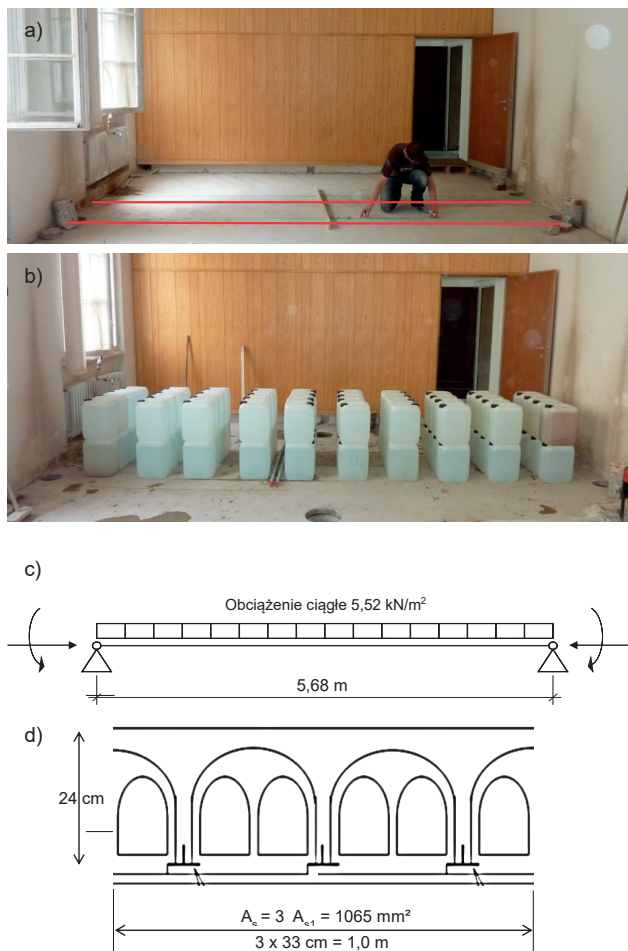
- Pomiary:
- równomierny rozkład za ścisaniem przy podporze wskazującym na utwardzenie w betonowych belkach ściennych;
- przekonywujący przyrost do wartości $0,17\%$ wzgl. 35 MN/m^2 przy równomiernym obciążeniu $5,52 \text{ kN/m}^2$.
- Obliczenia [9, 10, 11, 12] wykazały:
- dobrą zgodność z pomiarami przy odwzorowaniu częściowego utwardzenia w belkach ściennych;
- podwojenie do wartości $0,36\%$ wzgl. 75 MN/m^2 przy wyrugowaniu niepewnego utwardzenia w belkach ściennych;
- przyrost o wartość $0,31\%$ wzgl. 65 MN/m^2 w wyniku ciężaru własnego rzędu $4,80 \text{ kN/m}^2$ (ob. obciążenia użytkowe);
- efektywne wysilenie stropu do $0,67\%$ wzgl. 140 MN/m^2 w wyniku całego obciążenia $10,42 \text{ kN/m}^2$.

Strzałka ugięcia δ

Wyniki obciążeń pasma próbnego oraz korespondujących obliczeń były następujące:

- Pomiary:
- równomierny rozkład wskazujący na częściowe utwardzenie w betonowych belkach ściennych;
- przekonywujący przyrost do wartości $3,5 \text{ mm}$ przy równomiernym obciążeniu $5,52 \text{ kN/m}^2$.

- Obliczenia [9, 10, 11, 12] wskazały na:
- dobrą zgodność z pomiarami przy odwzorowaniu częściowego utwardzenia w belkach ściennych;
- podwojenie do wartości $7,0 \text{ mm}$ przy wyrugowaniu niepewnego utwardzenia w belkach ściennych;
- przyrost o wartość $6,0 \text{ mm}$ w wyniku ciężaru własnego rzędu $4,80 \text{ kN/m}^2$ (ob. obciążenia użytkowe);
- efektywną strzałkę ugięcia stropu do 13 mm w wyniku całego obciążenia $10,42 \text{ kN/m}^2$.



Rys. 5. Obciążenia próbne stropu; a) pasmo próbne wycięte ze stropu w kierunku nośności, b) obciążenie pasma pojemnikami z wodą, c) system statyczny z efektem utwardzenia w ścianie, d) miarodajny przekrój pasma z trzema profilami teowymi

Obciążenia użytkowe

Wynikają one z następujących właściwości:

- miarodajne właściwości materiałowe,
- moment niszczący miarodajny przekrój,
- ciężar aktualnego oraz planowanego wyposażenia.

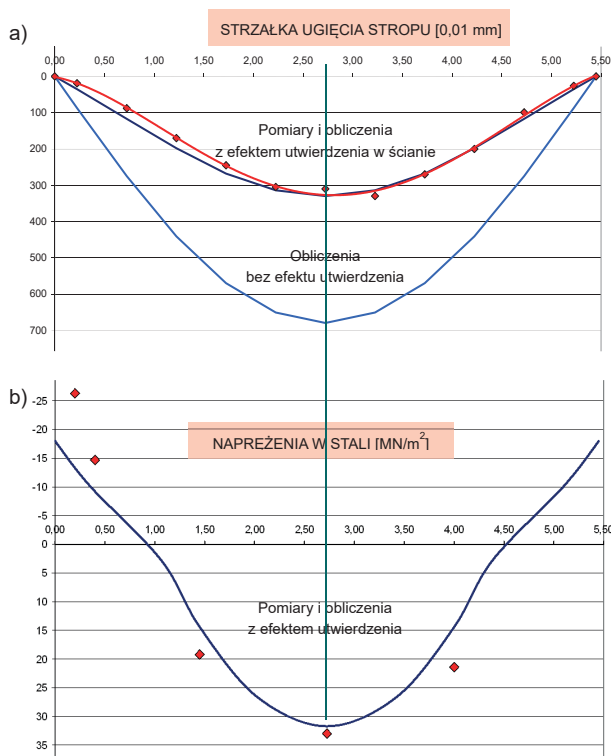
Wyniki obciążeń próbnych pokazano na rys. 6. i 7.

Odpowiednie obliczenia maksymalnych obciążeń użytkowych stropu są następujące:

Właściwości materiałowe

Minimalne wartości przekrojowe w odniesieniu do nośności są następujące:

- moduł sprężystości betonu $E_c = 25800 \text{ MN/m}^2$;
- miarodajny przekrój stali $A_{s5\%} = 3,55 \text{ cm}^2$ pojedynczy profil;
- strefa ścisłana w Stanie II $x = 5,7 \text{ cm}$.



Rys. 6. Obciążenia próbne [9, 10, 11, 12]; a) rozkład ugięć pasma próbnego przy obciążeniu 5,52 kN/m², pomiary próbny b) rozkład naprężeń w zbrojeniu przy obciążeniu 5,52 kN/m², wyniki pomiarów

Moment niszcący m_u

Moment niszcący pasmo stropu o szerokości 1 metra, obliczony bez uwzględnienia ubytków (ob. stan techniczny), jest następujący:

- siła niszcząca zbrojenie $Z = f_y/\gamma_s \cdot 3 A_{s5\%} = 210/1,15 \cdot 3 \cdot 355 = 194,5 \text{ kN/m}$, 3 profile w paśmie;
- ramię sił wewnętrznych $z = 0,24 - 0,6 \cdot 0,057 = 0,206 \text{ m}$;
- moment niszczący $m_u = Z \cdot z = 194,5 \cdot 0,206 = 40,0 \text{ kNm/m}$.

Ciężar wyposażenia

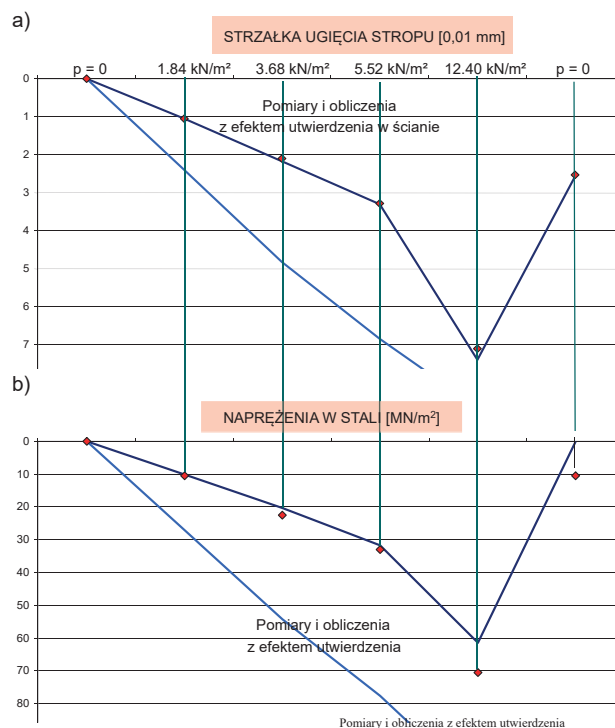
Aktualne i planowane wyposażenie stropów wyraża się ich następującymi ciężarami [15]:

	Stan aktualny [kN/m ²]	Stan planowany [kN/m ²]
• podłoga	$1,00 \times 0,05 = 0,05$	$2,50 \times 0,10 = 0,25$
• jastrych	$4,00 \times 0,22 = 0,88$	$5,5 \times 0,22 = 1,21$
• warstwa rozdzielcza	0,00	$2,00 \times 0,06 = 0,12$
• izolacja dźwiękowa	0,00	$3,00 \times 0,01 = 0,03$
• konstrukcja nośna	3,67	3,67
• ochrona przeciwpożarowa	0,00	$2,00 \times 0,01 = 0,02$
• tynk	$2,00 \times 0,10 = 0,20$	$0,50 \times 0,10 = 0,05$
<hr/>		
• suma g	4,80	5,53
• ściany działowe p_d	0,00	1,20

Obciążenia użytkowe

Maksymalne obciążenia użytkowe stropu wynikają z wartości obciążeń niszczących oraz z ciężarów wyposażenia:

- obciążenie niszczące $q_u \cdot m_u = q_u l^2/8 \rightarrow q_u = 8 m_u/l^2 = 8 \cdot 40,0/5,68^2 = 9,92 \text{ kN/m}^2$
- obciążenie użytkowe $p_u \cdot q_u = g \cdot \gamma_G + p_d \cdot \gamma_Q + p_u \cdot \gamma_Q \rightarrow p_u = (q_u - g \cdot \gamma_G - p_d \cdot \gamma_Q)/\gamma_Q$
- stan aktualny $p_u = (9,92 - 4,80 \cdot 1,35)/1,50 = 2,29 \text{ kN/m}^2$ – wartość potwierdzająca stan aktualny
- stan planowany $p_u = (9,92 - 5,53 \cdot 1,35 - 1,20 \cdot 1,50)/1,50 = 0,44 \text{ kN/m}^2$ – wartość za niska dla stanu planowanego



Rys. 7. Obciążenia próbne [9, 10, 11, 12], przyrosty ugięć i naprężeń w stali; a) przyrost ugięć pasma próbnego w miarę wzrastającego obciążenia, b) przyrost naprężeń w zbrojeniu w miarę wzrastającego obciążenia

Wnioski i ocena nośności stropów

Przebudowa zabytkowego budynku na zespół luksusowych apartamentów miejskich wymaga dostosowania stropów do nowoczesnych potrzeb ich użytkowania. Wymaganie to prowadzi do znacznego wzrostu obciążeń stałych. W obliczu ograniczonej nośności stropów należy więc ustalić, ile miejsca pozostawiają te ostatnie dla obciążeń czysto użytkowych – w sensie mebli, ludzi etc.

Przeprowadzone w tym celu badania dostarczyły rozeznać, że:

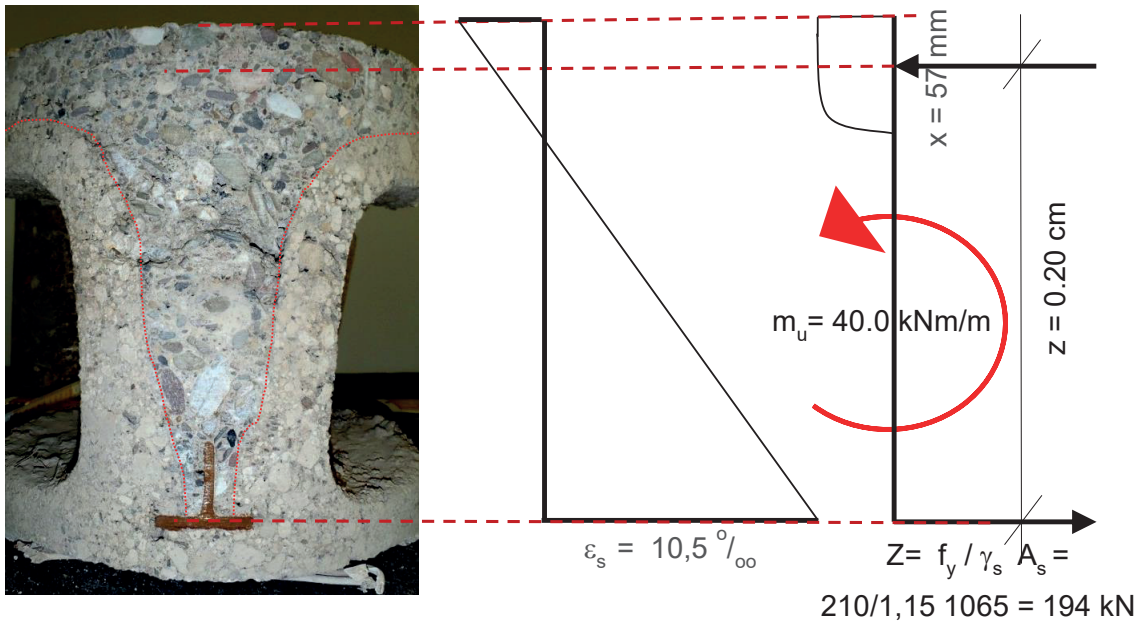
1. Konstrukcja stropów znacznie odbiega od aktualnego stanu techniki budowlanej.
2. Beton stropów charakteryzuje się niską wytrzymałością, porowatą strukturą, rysami i odpspojeniami.
3. Profile zbrojenia charakteryzują się niską wytrzymałością, dużym rozrzutem wymiarów przekroju i korozją powierzchniową.
4. Obciążenia próbne pozwoliły zweryfikować ustalone oddzielnie właściwości materiałowe.
5. Znajomość właściwości stropów pozwoliła na obliczenie ich momentów niszczących.
6. Momenty niszczące wraz z wyposażeniem stropów umożliwiły obliczenie dopuszczalnych obciążeń użytkowych.

Ocena stanu aktualnego

Ustalone tą drogą stosunkowo wysokie obciążenie użytkowe (rys. 8.): $p_u = 2,29 \text{ kN/m}^2$ potwierdziło dotychczasowe, wieloletnie, niezakłócone użytkowanie stropów.

Ocena stanu planowanego

Ustalone tą drogą bardzo niskie dopuszczalne obciążenie użytkowe $p_u = 0,44 \text{ kN/m}^2$ wyklucza użytkowanie istniejących stropów w ramach planowanych potrzeb. Stropy wymagają wzmocnień lub zmian.



Rys. 8. Obciążenia użytkowe: obliczenie momentu niszczącego strop

Literatura

- [1] Ausführungszeichnungen 1914
Justizneubau Düsseldorf
Erdgeschoss Entwässerungsanlage, M 1:100
Kellergeschoss Entwässerungsanlage, M 1:100
- [2] Bestandszeichnungen 1923
Geschäftsgebäude für die Civilabteilungen des Land- und Amtsgerichts Düsseldorf
Blatt 3 – I. Obergeschoss, M 1:200
Blatt 4 – II. Obergeschoss, M 1:200
Blatt 5 – III. Obergeschoss, M 1:200
Blatt 7 – Schnitt A-B und Schnitt C-D, M 1:200
Blatt 8 – Schnitt E-F, M 1:200
- [3] DAIV Verband Deutscher Architekten- und Ingenieurvereine, DBV Deutscher Beton-Verein
Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauwerken; 1904
- [4] DAIEb Deutscher Ausschuss für Eisenbeton
Deutsche Bestimmungen für die Ausführung von Eisenbeton- und Betonbauwerken, Ausgabe 1925
a. Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton (DIN 1045)
b. Bestimmungen für Ausführung ebener Steindecken (DIN 1046)
c. Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Beton (DIN 1047)
- [5] Historische Technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau
Bemessung und Ausführung
Ernst & Sohn, 2009
- [6] DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Ausgabe 08/2008
Teil 1: Bemessung und Konstruktion
Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung...
Teil 3: Bauausführung
- [7] Fischer, M.: Steineisendecken im Deutschen Reich 1892-1925
Dissertation Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2008
- [8] Königlich Preußisches Ministerium der öffentlichen Arbeiten
Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten; 1904
Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten; 1907
Runderlass, betreffend baupolizeiliche Behandlung ebener massiver Decken bei Hochbauten; 1909
Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton; 1916
- [9] Noakowski, P., Schäfer, H.G.: Steifigkeitsorientierte Statik im Stahlbetonbau.
Ernst & Sohn, 2003
- [10] Noakowski, P., Leszinski, H., Breddermann, M., Rost, M.: Schlanke Hochbaudecken
Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008), H. 1, S. 28ff
- [11] Schnell, J.; Loch, M.: Umrechnung historischer Baustoffkennwerte auf charakteristische Werte
Der Prüflingenieur, April 2009, S. 50ff
- [12] Schnell, J., Kautsch, R., Noakowski, P., Breddermann, M.: Verhalten von Hochbaudecken
Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), H. 5, S. 406ff
- [13] Voormann, F.: Von der unbewehrten Hohlsteindecke zur Spannbetondecke
Massivdecken zu Beginn des 20. Jahrhunderts
Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), H.9, S. 836ff
- [14] Zentralblatt der Bauverwaltung
Eisenbetondecken, Ausführung und Berechnung; 1919, S.265ff
Hohlsteindecken, Querschnittsbestimmungen; 1928, S.246ff + 283
Hohlsteindecken, Probelastungen; 1916, S.196
Ziegel-Hohlsteindecken zwischen eisernen Trägern, Steinform; 1913, S.125ff
- [15] MASSGEBLICHE NORMEN
Brandschutz DIN 4102, LBO NRW
Schallschutz DIN 4109
Nutzlasten DIN 1055

DOI: 10.5604/01.3001.0015.2303

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Noakowski Piotr, 2021, Ocena nośności stropów 100-letniego budynku sądowego przeznaczonego do modernizacji „Builder” 9 (290). DOI: 10.5604/01.3001.0015.2303

Streszczenie: Artykuł przedstawia główną część przebudowy zabytkowego budynku sądowego na zespół luksusowych apartamentów miejskich. Nowe przeznaczenie stuletnich stropów tego budynku wymaga szeregu badań dotyczących nowego podziału pomieszczeń, wyposażenia w nowoczesną technikę oraz zabezpieczenia niezakłóconej użyteczności. Ponieważ potrzebne na to nakłady są funkcją stanu technicznego i nośności stropów, firma Exponent otrzymała zlecenie sporządzenia odpowiedniej ekspertyzy.

Słowa kluczowe: budownictwo zabytkowe, modernizacja, stan techniczny, nośność

Abstract: BAERING CAPACITY OF THE FLOORS OF A 100 YEARS OLD COURTHOUSE. The major reconstruction portion of a historical courthouse to a luxury city apartment house is described in this paper. The new destination of the 100 years old building floors requires numerous investigations targeting such issues as new room division, provision with a modern building technics and securing of the undisturbed house operation. Since the needed efforts depend on the condition and load bearing capacity of the floors, the company Exponent had been hired to produce the corresponding expert opinion.

Keywords: historic construction, modernization, technical condition, capacity