

PIOTR NOAKOWSKI, *p.noakowski@exponent.de*

Exponent Düsseldorf, Uniwersytet Techniczny w Dortmundzie

NOŚNOŚĆ STROPÓW 100-LETNIEGO BUDYNKU SĄDOWEGO

BAERING CAPACITY OF THE FLOORS OF A 100 YEARS OLD COURTHOUSE

Streszczenie Artykuł omawia 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 jak i zabezpieczenia niezakłóconej użyteczności. Ponieważ potrzebne na to nakłady są funkcją stanu technicznego i nośności stropów, firma Exponent otrzymała zlecenie sporządzenia odpowiedniej ekspertyzy.

Abstract 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.

1. Konstrukcja stropów

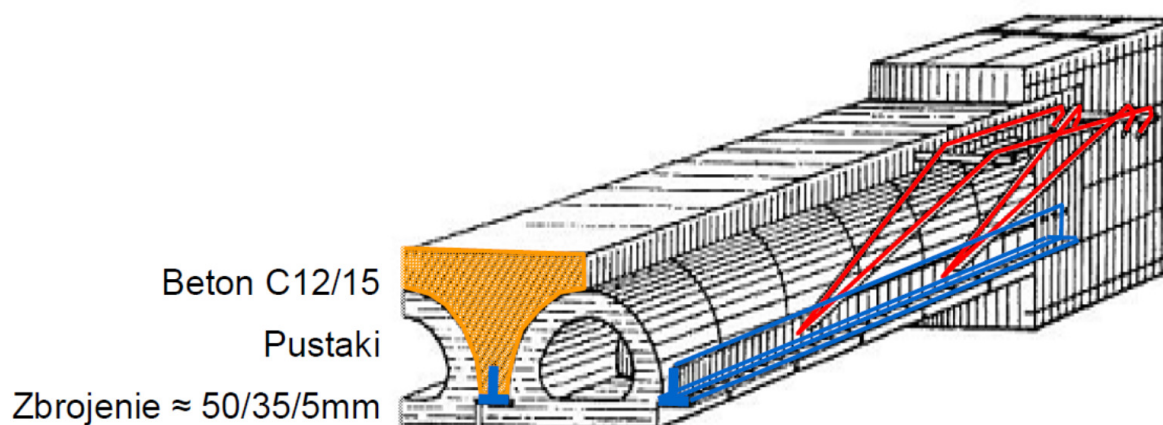
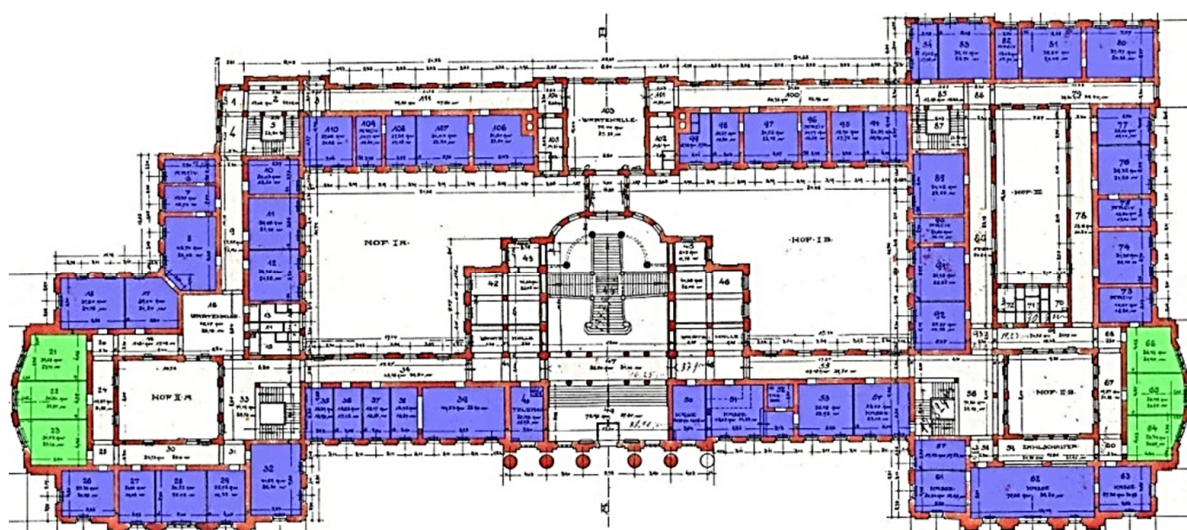
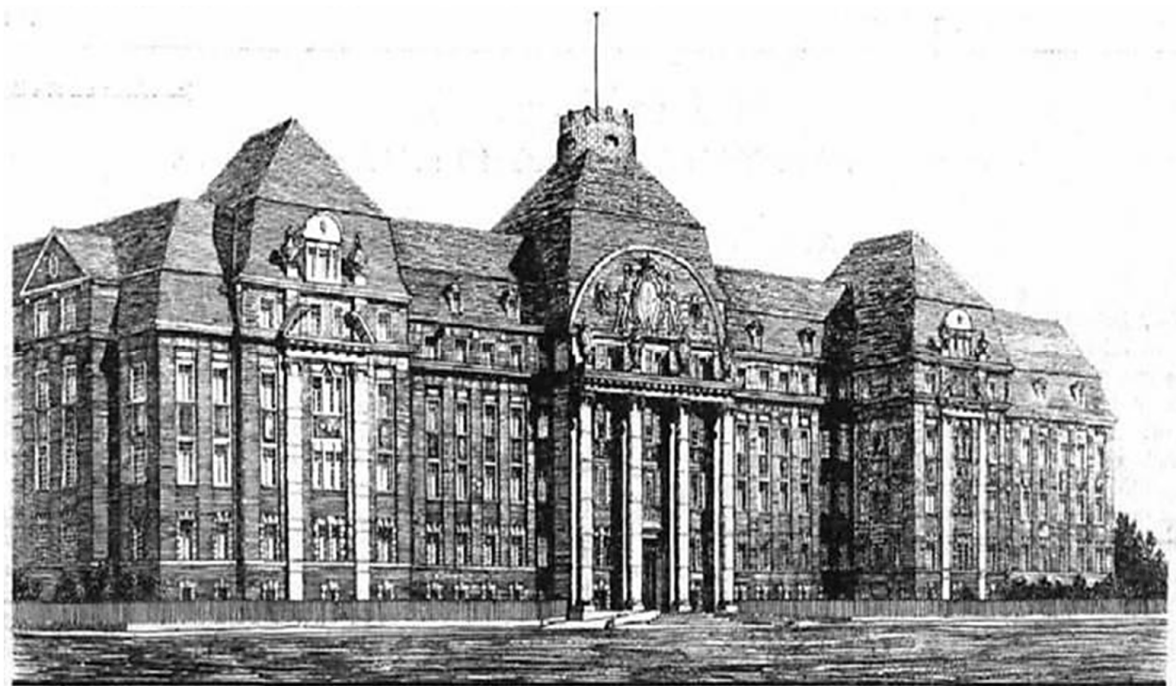
Dopasowanie 100-letnich stropów 5-cio kondygnacyjnego budynku do potrzeb nowoczesnego użytkowania wymaga następujących działań:

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

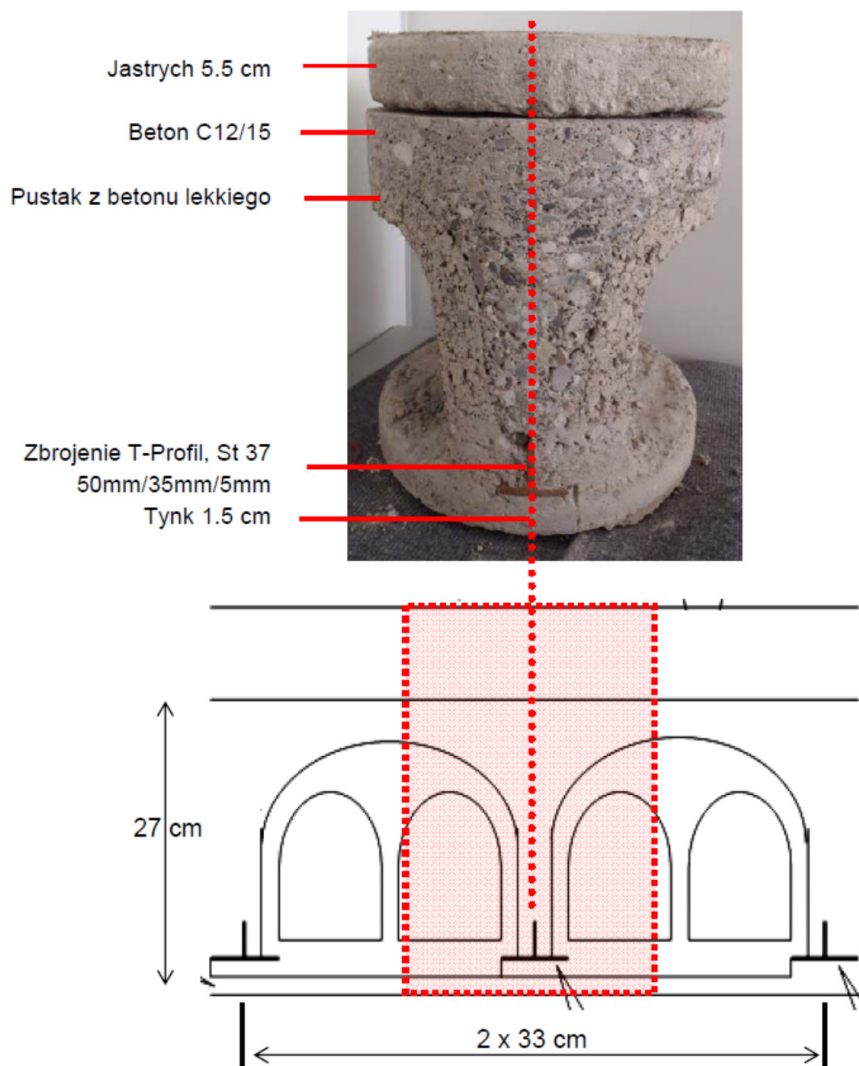
Studia dokumentacji [1, 2], odpowiednich publikacji [3÷5, 7, 8, 13÷15], pomiary na odwiertach jak i lokalne odsłonięcia w stropach pozwoliły na następującą odtworzenie konstrukcji stropu:

- | | |
|---|---|
| – rozmiar | około 70 pomieszczeń, |
| – rozpiętość | 5.68 m w kierunku nośności, |
| – grubość całkowita | 34.0 cm, jastrych 5.5 cm, beton C12/15, |
| – wypełnienie | pustaki z betonu lekkiego, $b/l/h = 24/33/20$ cm, |
| – zbrojenie | odwrócone teowniki, $b/h/t = 50/35/5$ mm, |
| zakotwienie w betonowych belkach ściennych, | |
| – tynk | 1.5 cm, |
| – utwierdzenie | zespolecie z ułożowanymi w ścianach belkami betonowymi. |

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: stan techniczny, własności materiałowe, obciążenia próbne, aktualna nośność



Rys. 1. Konstrukcja stropów [3-5, 7, 8, 13, 14]; Wygląd budynku; Zespólna koncepcja stropów



Rys. 2. Konstrukcja stropów [1÷5, 7, 8, 13, 14], zespolone ukształtowanie stropów, wymiary stropów

2. Stan techniczny

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

- pobraniu 7 odwiertów o średnicy 300 mm,
- odsłonięciu 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,
- *Beton*: niedostateczna otulina zbrojenia, nieszczelna, porowata struktura typowa dla niskiej wytrzymałości,
- *Zbrojenie*: odwrócone teowniki niezespole z betonem, wysoce nierównomierne wymiary, brak zespolenia z betonem, ubytki przekroju stali w wyniku korozji.



Rys. 2. Stan techniczny stropów: Liczne ubytki w spodach pustaków; Odwrócone teowniki niezespalone z betonem; Brak przyczepności stali do betonu; Korozja powierzchniowa stali

3. Własności materiałowe

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

- Pomiar 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.
- Pomiar przekrojów profili stalowych: 58 pomiarów próbek podjętych w różnych miejscach stropów.
- Obliczenie wartości przekrojowych.

Badania te dostarczyły następujących rozzezań:

Własności betonu

Miarodajna wytrzymałość na ściskanie

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

Własności 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

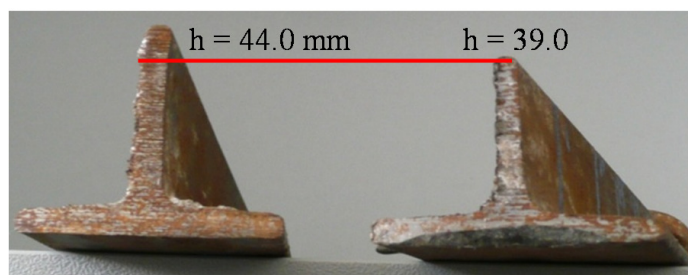
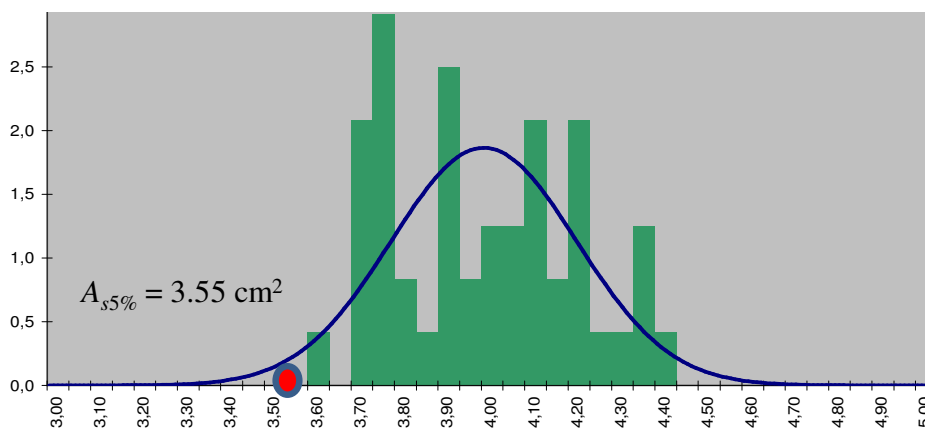
Średnie wartości przekrojowe pasma pomiarowego ($b = 1 \text{ m}$, beton + pustaki) do obliczeń strzałek ugięcia:

- 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

- 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 $x = 5.7 \text{ cm}$, $A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$, $I = 10940 \text{ cm}^4/\text{m}$



Rys. 3. Własności materiałowe, duży rozrzut wymiarów profili, miarodajny przekrój profili

4. Obciążenia próbne

Obciążenia próbne miały na celu ustalenie następujących cech zachowania się stropu:

- Odształcenia stali ε w półkach profili zbrojeniowych,
- Strzałki ugięcia δ pasm próbnych.

Badania te i ich wyniki wypadły następująco:

Pasmo próbne

Przygotowanie pasma próbnego polegało na następujących działaniach:

- wyodrębnieniu ze stropu pasma próbnego o szerokości 1 metra (3 pustaki) przez cięcia w kierunku jego nośności,
- ochronie przed załamaniem się pasma próbnego przez wzniesienie rusztowania ochronnego w poniższym pomieszczeniu,
- umożliwieniu pomiarów od spodu pasma przez wzniesienie rusztowania osobowego w poniższym pomieszczeniu,
- przygotowaniu 110 pojemników z wodą, każdy o ciężarze 23 kg,
- zaopatrzeniu pasma próbnego w aparaturę pomiarową: zegary do pomiarów odkształceń profili zbrojeniowych na spodzie pasma i suwmiarki do pomiarów strzałki ugięcia na górze pasma.

Obciążenia próbne

Obciążenia próbne przeprowadzono w następujący sposób:

- obciążano pasmo próbne przez stopniowe nakładanie pojemników z wodą:

1. Obciążenie ciągłe	1.84 kN/m ² , 8 pojemników/m ²
2. Obciążenie ciągłe	3.68 kN/m ² , 16 pojemników/m ²
3. Obciążenie ciągłe	5.52 kN/m ² , 24 pojemników/m ²
4. Obciążenie lokalne	12.42 kN/m ² , 54 pojemników/m ²
- prowadzono pomiary następujących cech zachowania się pasma próbnego: odkształcenia profili zbrojeniowych i strzałki ugięcia całego pasma

Odształcenia w stali ε

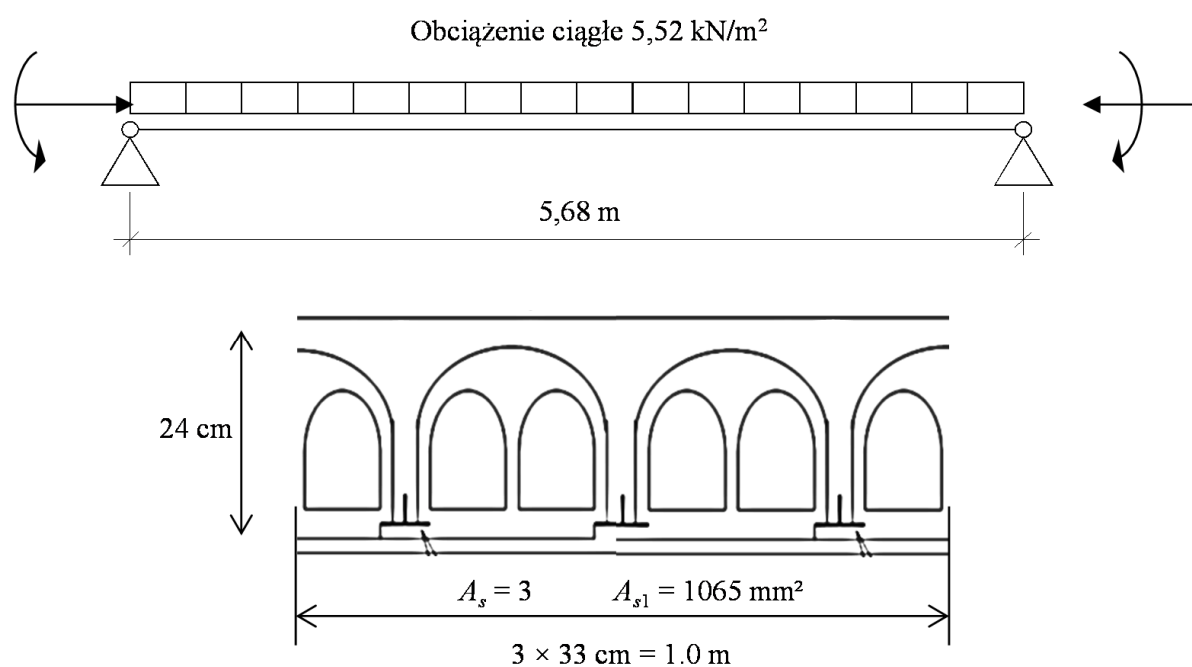
Wyniki obciążeń pasma próbnego jak i korespondujących obliczeń są następujące:

- *Pomiary* – równomierny rozkład ze ściskaniem przy podporze wskazującym na utwierdzenie w betonowych belkach ściennych, przekonywujący przyrost do wartości 0.17‰ wzgl. 35 MN/m² przy równomiernym obciążeniu 5.52 kN/m²
- *Obliczenia* [9, 10, 11, 12] - dobra zgodność z pomiarami przy odwzorowaniu częściowego utwierdzenia w belkach ściennych, podwojenie do wartości 0.36‰ wzgl. 75 MN/m² przy wyrugowaniu niepewnego utwierdzenia w belkach ściennych, przyrost o wartość 0.31‰ wzgl. 65 MN/m² w wyniku ciężaru własnego rzędu 4.80 kN/m² (ob. obciążenia użytkowe), efektywne wysilenie stropu do 0.67‰ wzgl. 140 MN/m² w wyniku całego obciążenia 10.42 kN/m²

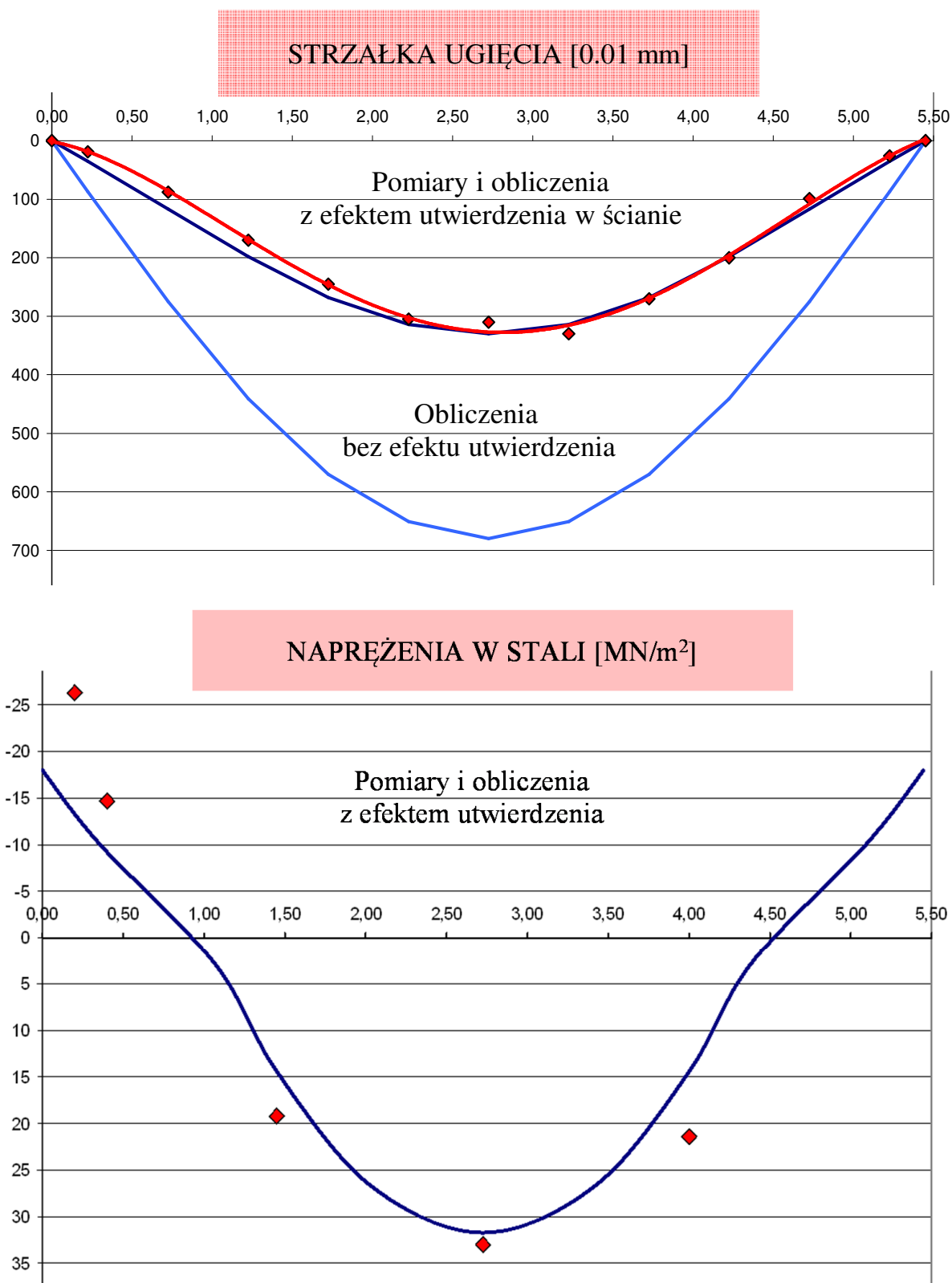
Strzałka ugięcia δ

Wyniki obciążeń pasma próbnego jak i korespondujących obliczeń są następujące:

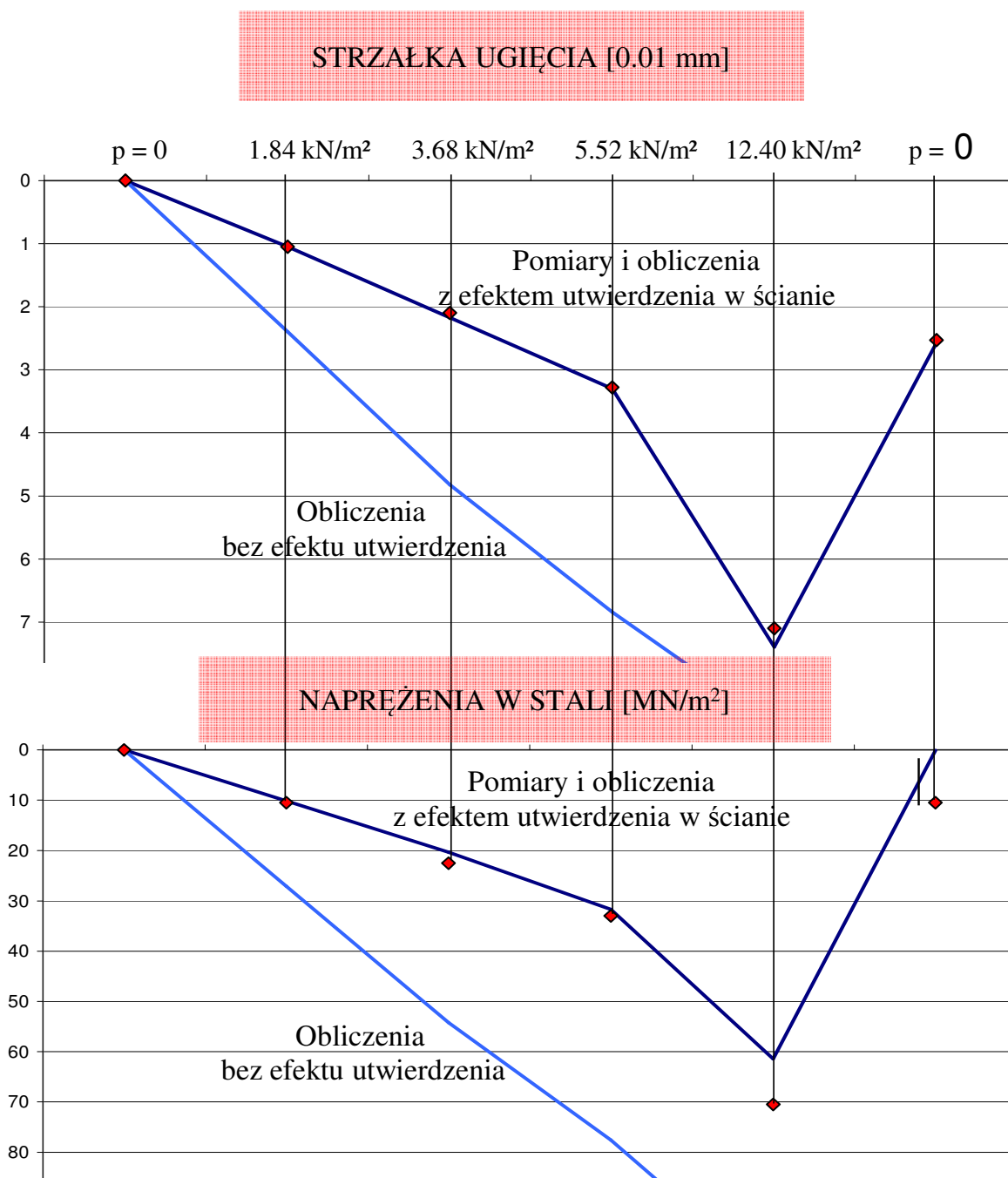
- *Pomiary* – równomierny rozkład wskazujący na częściowe utwierdzenie w betonowych belkach ściennych, przekonywujący przyrost do wartości 3.5 mm przy równomiernym obciążeniu 5.52 kN/m²
- *Obliczenia* [9, 10, 11, 12] – dobra zgodność z pomiarami przy odwzorowaniu częściowego utwierdzenia w belkach ściennych, podwojenie do wartości 7.0 mm przy wyrugowaniu niepewnego utwierdzenia w belkach ściennych, przyrost o wartość 6.0 mm w wyniku ciężaru własnego rzędu 4.80 kN/m² (ob. obciążenia użytkowe), efektywna strzałka ugięcia stropu do 13 mm w wyniku całego obciążenia 10.42 kN/m².



Rys. 4. Obciążenia próbne: Pasma próbne wycięte ze stropu w kierunku nośności; Obciążenie pasma pojemnikami z wodą; System statyczny z efektem utwardzenia w ścianie; Miarodajny przekrój pasma z trzema profilami teowymi



Rys. 4.2. Obciążenia próbne [9, 10, 11, 12] Rozkład ugięć pasma próbnego przy obciążeniu 5.52 kN/m²;
Rozkład naprężeń w zbrojeniu przy obciążeniu 5.52 kN/m²



Rys. 4.3. Obciążenia próbne [9, 10, 11, 12]; Przyrost ugięć pasma próbnego w miarę wzrastającego obciążenia; Przyrost naprężeń w zbrojeniu w miarę wzrastającego obciążenia

5. Obciążenia użytkowe

Stojące do dyspozycji obciążenia użytkowe stropu wynikają z jego powyżej ustalonych, następujących własności:

- Miarodajne własności materiałowe;
- Moment niszczący miarodajny przekrój;
- Ciężar aktualnego jak i planowanego wyposażenia.

Odpowiednie obliczenia maksymalnych obciążeń użytkowych stropu są jak następuje:

Własności 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 ściskana w stanie II $x = 5.7 \text{ cm}$.

Moment niszczący m_u

Moment niszczący pasmo stropu o 1 metrze szerokości, 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 $m_u = Z z = 194.5 \cdot 0.206 = 40.0 \text{ kNm/m}$.

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	$4.00 \times 0.22 = 0.88$	$5.50 \times 0.22 = 1.21$
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 dzielne pd	0.00	1.20

Obciążenia użytkowe

Stojące do dyspozycji maksymalne obciążenia użytkowe stropu wynikają z wartości obciążeń niszczących jak i z ciężarów wyposażenia:

Obciążenie niszczące q_u	$m_u = q_u l^2 / 8 \rightarrow q_u = 8 m_u / l^2 = 8 \times 40.0 / 5.68^2 =$	9.92 kN/m ²
Obciążenie użytkowe p_u	$q_u = g \gamma_G + p_d \gamma_Q + p_u \gamma_Q \rightarrow p_u = (q_u - g \gamma_G - p_d \gamma_Q) / \gamma_Q$	
Stan aktualny	$p_u = (9.92 - 4.80 \cdot 1.35) / 1.50 =$	2.29 kN/m ² – wartość potwierdzająca stan aktualny
Stan planowany	$p_u = (9.92 - 5.53 \cdot 1.35 - 1.20) / 1.50 =$	0.44 kN/m ² – wartość za niska dla stanu planowanego

6. Ocena nośności

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.

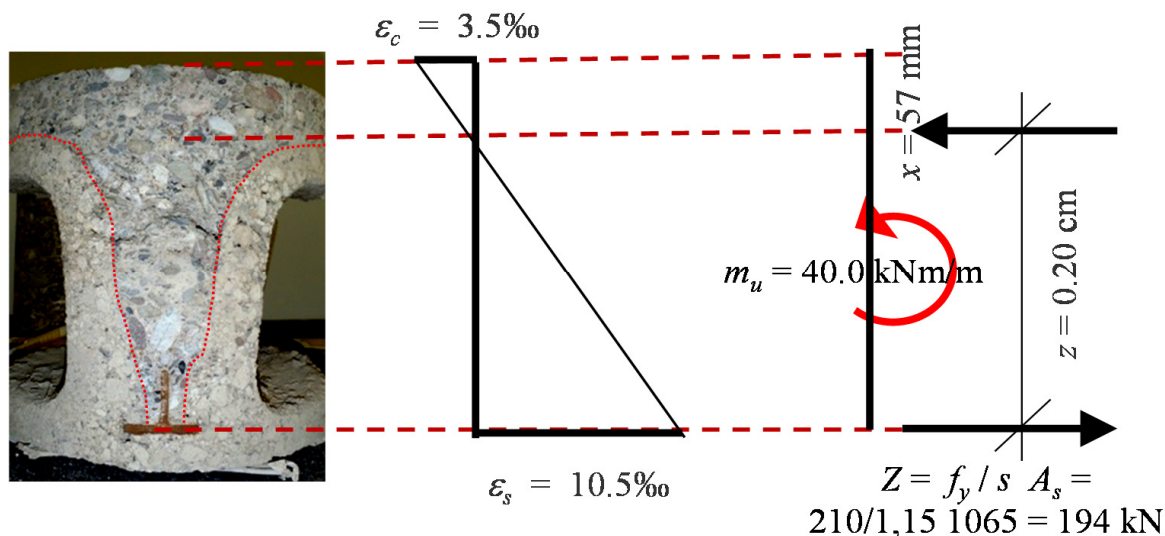
Przeprowadzone w tym celu badania dostarczyły następujących rozeznań:

- Konstrukcja stropów odbiega znacznie od aktualnego stanu techniki budowlanej.
- Beton stropu jest nacechowany niską wytrzymałością, porowatą strukturą, rysami i odspojeniami.

- Profile zbrojenia są nacechowany niską wytrzymałością, dużym rozrzutem wymiarów przekroju i korozją powierzchniową.
- Obciążenia próbne pozwoliły zweryfikować ustalone osobno własności materiałowe.
- Znajomość własności stropu pozwoliła na obliczenie jego momentu niszczonego.
- Moment niszczący wraz z wyposażeniem stropu umożliwiły obliczenie stojących do dyspozycji obciążeń użytkowych.

Ustalone tą drogą stosunkowo wysokie obciążenie użytkowe $p_u = 2.29 \text{ kN/m}^2$ potwierdza dotychczasowe, wieloletnie, niezakłócone użytkowanie stropów.

Ustalone tą drogą bardzo niskie obciążenie użytkowe $p_u = 0.44 \text{ kN/m}^2$ wyklucza użytkowanie istniejących stropów w ramach planowanych potrzeb.



Rys. 5. Obciążenia użytkowe. Obliczenie momentu niszczonego 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. DAfEb 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. Rundrlass, 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 Prüfenieur, April 2009, S. 50ff
12. Schnell, J., Kautsch, R., Noakowski, P., Breddermann, M.: Verhalten von Hochbaudecken. Beton-& 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