

dr inż. Andrzej Moczko<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-2492-2283

dr inż. Adam Klimek<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-4945-4121

# Badania i analiza krzyżowo zbrojonych stropów pustakowych z początku XX wieku

*Testing and structural analysis of the cross-reinforced ceilings made by means of ceramic hollow-blocks coming from the beginning of the XX century*

DOI: 10.15199/33.2022.11.37

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono badania i analizę krzyżowo zbrojonych stropów pustakowych, konstrukcyjnie zbliżonych do „stropów westfalskich”, w budynku z 1915 r. Badany budynek został wzniesiony w okresie, kiedy teorie płyt i żelbetu nie były jeszcze dokładnie rozpoznane w układach krzyżowo zbrojonych, a zbrojenie do nich dobierano na podstawie próbnych obciążeń. Omówiono konstrukcję i aktualny stan techniczny tego rodzaju stropów po ponadstuletniej eksploatacji. Przedstawiono wyniki ich analizy dwoma modelami obliczeniowymi: w postaci monolitycznego rusztu żelbetowego oraz płyty prostokątnej z uwzględnieniem współpracy ściskanych górnych półek pustaków ceramicznych. Uzyskane z obliczeń przekroje zbrojenia porównano ze zbrojeniem zastosowanym w istniejących konstrukcjach stropów oraz zaprezentowano wnioski dotyczące ich nośności.

**Słowa kluczowe:** stropy krzyżowo zbrojone; pustaki ceramiczne; ruszt żelbetowy; nośność płyty ceramiczno-żelbetowej; współpraca przestrzenna strefy ściskanej.

**Abstract.** The article presents researches and analyzes of cross-reinforced hollow-block ceilings with structure similar to the „Westphalian Ceilings”, in a building from 1915. The tested building was built at a time when slab and reinforced concrete theories were not yet developed for cross-reinforcement systems, and the reinforcement for them was determined on the basis of test loads. The structure and actual technical condition of the ceilings after over 100 years of use were discussed. The results of their analysis are presented with 2 calculation models: in the form of a monolithic reinforced concrete grate and a rectangular slab, taking into account the cooperation of the compressed upper shelves of ceramic blocks. The reinforcement cross-sections obtained from the calculations were compared with the reinforcement used in the existing ceiling structures and conclusions regarding their load-bearing capacity were presented.

**Keywords:** cross-reinforced ceilings; ceramic hollow-blocks; reinforced concrete grate; load-bearing capacity of a ceramic-reinforced concrete plate; spatial cooperation of the compression zone.

W artykule przedstawiono wyniki badań oraz przeprowadzoną na ich podstawie analizę obliczeniową stropów o nietypowej krzyżowo zbrojonej konstrukcji żelbetowo-ceramicznej. Stropy te znajdują się w budynku pochodzącym z 1915 r. (fotografia 1), kiedy teorie płyt i żelbetu nie były jeszcze rozwinięte w przypadku układów krzyżowo zbrojonych, a zbrojenie do nich dobierano na podstawie próbnych obciążeń przedstawionych na fotografii 2 [2]. Badania wynikały z konieczności zweryfikowania nośności stropów w omawianym budynku, ze względu na zmianę charakteru jego użytkowania. W związku z brakiem dokumentacji technicznej oraz



Fot. 1. Obiekt będący przedmiotem badań  
Photo 1. The object under study

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: andrzej.moczko@pwr.edu.pl



**Fot. 2. Próbne obciążenia stropów z początku XX wieku [1]**  
 Photo 2. Test loads on ceilings at the beginning of the 20th century [1]

wiarygodnej informacji o rzeczywistej konstrukcji stropów wykonano odkrywkę, które pozwoliły na ustalenie układu warstw w przekrojach konstrukcyjnych obu badanych stropów. Przeprowadzono także niezbędne oględziny i pomiary. Zidentyfikowano układ warstw oraz pomierzono ich grubość. Ponadto zlokalizowano położenie i zmierzono średnicę prętów zbrojeniowych w badanych przekrojach betonowych.

**Wyniki badań**

Przeprowadzone oględziny i badania wykazały, że stropy nie mają żadnych uszkodzeń, nadmiernych ugięć ani zarysowań, co biorąc pod uwagę ponadstuletni okres ich eksploatacji należy uznać za dowód, że zostały prawidłowo zaprojektowane i bezpiecznie przenoszą występujące obciążenia.

Oględziny wykonanych odkrywek wykazały, że całkowita grubość stropu w badanym miejscu wynosi ok. 30 cm, bez uwzględnienia tynku, łączna grubość warstw wykończeniowych ok. 14 cm, a grubość warstwy konstrukcyjnej ok. 15 cm (fotografia 3). Układ warstw wykończeniowych składa się z następujących elementów, licząc od góry:

- parkiet dębowy o grubości 22 mm;
- prasowana płyta paździerzowa o grubości 30 mm;

- zaprawa wyrównawcza o grubości ok. 28 mm;

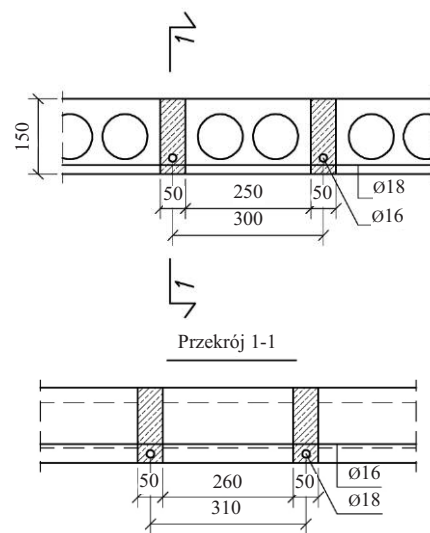
- zasypka z żużla o grubości ok. 60 mm.

Układ warstw w przekroju części konstrukcyjnej stropu, licząc od góry obejmuje:

- pustaki ceramiczne o wysokości 150 mm;
- cienkie płaskie kształtki ceramiczne o grubości ok. 10 mm;
- tynk wapienno-cementowy o grubości ok. 10 mm.

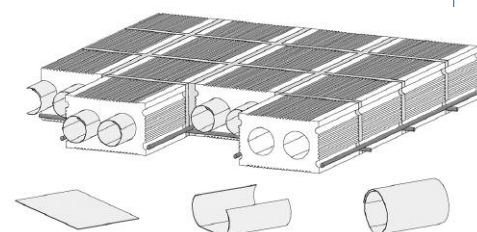
Szczegółowe oględziny odkrywki wykonanej w części konstrukcyjnej przekroju stropu wykazały, że zbrojenie w kierunku dłuższej rozpiętości (525 cm) stanowi układ gładkich prętów o średnicy 16 mm, ułożonych w rozstawie co ok. 31 cm. Pod tymi prętami, w prostopadłym do nich kierunku krótszej rozpiętości (510 cm), stwierdzono obecność zbrojenia poprzecznego w postaci gładkich prętów o średnicy 18 mm, w rozstawie co ok. 30 cm (rysunek 1). Zarówno pręty podłużne, jak i poprzeczne są ułożone w szczelinach pomiędzy pustakami ceramicznymi w kierunkach wzajemnie prostopadłych (rysunki 1, 2).

Płytę ściśkaną stanowią pustaki ceramiczne, które z wyglądu przypominają pustaki Ackermanna. Ich wysokość wynosi 150 mm, a szerokość ok. 260 mm. W przekroju konstrukcyjnym stropu nie stwierdzono płyty nadbetonu. Odległość górnej krawędzi zbrojenia głównego do górnej krawędzi pustaka wynosi ok. 105 mm. Oznacza to, że grubość



**Rys. 1. Przyjęte do obliczeń przekroje konstrukcji stropu**

Fig. 1. Cross-sections of the ceiling structure adopted for calculations



**Rys. 2. Strop typu „Westphal-Decke” wg [2]**  
 Fig. 2. Ceiling of the „Westphal-Decke” type, from [2]

warstwy betonu od dołu pustaka do dołu tego zbrojenia wynosi ok. 29 mm, a całkowita wysokość tego rodzaju żeberka, utworzonego pomiędzy pustakami, ok. 150 mm (na całą wysokość pustaka ceramicznego). Szerokość tak utworzonego żeberka wynosi ok. 50 mm.

Przeprowadzona analiza informacji uzyskanych w trakcie badań wizualnych odkrywek stropów wykazała, że są to nietypowe stropy ceramiczno-żelbetowe, zbrojone w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Rolę płyty ściśkanej pełnią górne półki pustaków ceramicznych, przewiązane w dwóch kierunkach żelbetowymi żeberkami. Praca statyczna stropu ma charakter przestrzenny i jest nietypowa, ponieważ nie występuje w nim warstwa nadbetonu monolityzująca strop jako całość, tak jak to ma miejsce np. w stropie typu Ackermanna lub we współczesnych stropach gęstożebrowych.

Przeprowadzone studia literaturowe dostępnych źródeł historycznych wykazały, że nie ma danych technicznych,



**Fot. 3. Widok z góry odkrywki stropu nad piwnicą: 1) pręt zbrojenia podłużnego (Ø16 mm); 2) pręt zbrojenia poprzecznego (Ø18 mm); 3) rulon kartonu; 4) beton krzyżowych żeber stropu; 5) pustak ceramiczny**

Photo 3. View of the opening for the ceiling above the basement, viewed from above: 1) longitudinal reinforcement bar (Ø16 mm); 2) transverse reinforcement bar (Ø18 mm); 3) cardboard roll; 4) concrete cross ribs of the ceiling; 5) ceramic hollow-block

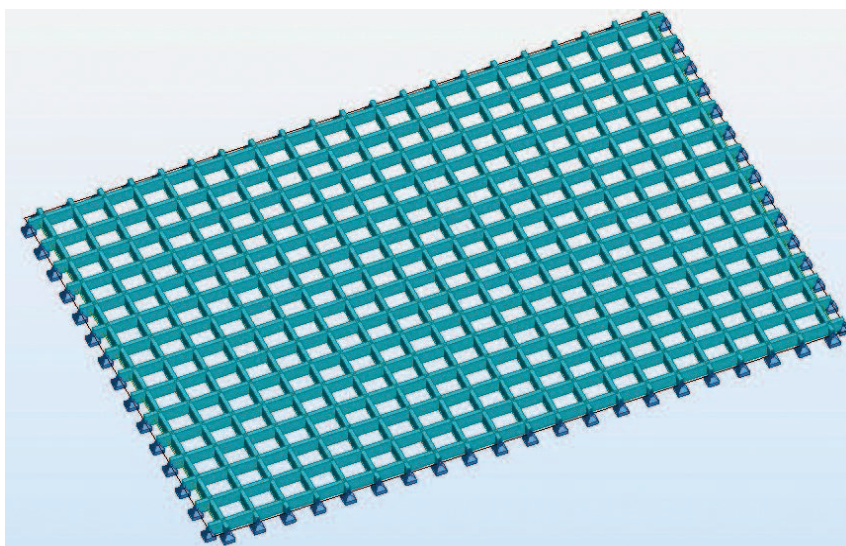
dotyczących tego rodzaju stropów. Można przyjąć, że są one najbardziej zbliżone do konstrukcji typu „Westphal-Decke”, widocznego na rysunku 2.

Na uwagę zasługuje sposób zmonolizowania pustaków ceramicznych w kierunku prostopadłym do kierunku zbrojenia głównego. W celu zmniejszenia ciężaru stropu zrezygnowano w nim z wykonania żeberk betonowych na całej wysokości pustaka, wykorzystując do tego celu rulony zwiniętego kartonu, włożone do wnętrza pustaków ceramicznych (rysunki 1, 2). W ten sposób uzyskano ciągłość otworów w pustakach, nad którymi wykonano małe przesklepienie betonowe. Rozwiązanie to pozwoliło na uzyskanie efektywnej współpracy przestrzennej pustaków ceramicznych z ułożonym pomiędzy nimi betonem, bez zwiększenia ciężaru własnego stropu.

### Obliczenia sprawdzające

Obliczenia wykonano w modelach obliczeniowych: rusztowym oraz płytowym. W modelu rusztowym przeanalizowano układ dwuwymiarowy, składający się ze sztywno połączonych żeber żelbetowych o przekroju 5x15 cm, opartych przegubowo na obwodzie płyty. Nie uwzględniono współpracy pustaków z rusztem. Przyjęto, że są one jedynie elementami wypełniającymi. Układ momentów zginających był typowy dla rusztowego modelu obliczeniowego (rysunek 3), z maksymalnymi wartościami 6,6 kNm w kierunku krótszym oraz 2,7 kNm w kierunku dłuższym. Stwierdzono, że żebra o przekroju 5 x 15 cm, obciążone momentem 6,6 kNm, nie mają nośności odpowiedniej do występującego obciążenia. Ugięcie sprężyste rusztu wyniosło 38 mm (l/115), co po uwzględnieniu zarysowania oraz zjawisk reologicznych dałoby wynik co najmniej na poziomie l/50. W związku z tym, stan zachowania stropu pod względem obu stanów granicznych nie jest zgodny z wynikami obliczeń, stwierdzono, że wyznaczone w modelu rusztowym siły wewnętrzne są znacznie zawyżone, a model ten, z pominięciem współpracy pustaków, jest nieodpowiedni.

W drugim modelu obliczeniowym strop zamodelowano w postaci przegubowo opartej na obwodzie płyty prostokątnej o grubości 15 cm. Model ten róż-



Rys. 3. Rusztowy (dwuwymiarowy) model obliczeniowy

Fig. 3. Grate (2-dimensional) calculation model

ni się od modelu rusztowego włączeniem do współpracy całej górnej powierzchni płyty, składającej się z górnych półek pustaków ceramicznych, przewiązanych żeberkami betonowymi. Poza zwiększeniem sztywności giętej na momenty  $M_x$  oraz  $M_y$ , dodatkowym zjawiskiem występującym w modelu płytowym jest dalsze zwiększenie sztywności przez przenoszenie momentów skręcających  $M_{xy}$ . W celu najlepszego odwzorowania sztywności płyty przyjęto kolejno za normami [3] i [4]: doraźny moduł sprężystości muru  $E = 1000f_k = 1000 \times 5,5 = 5500$  MPa; współczynnik pełzania dla pustaków i betonu  $\varphi = 1,0$ ; długotrwały moduł sprężystości pustaków  $E_{longterm} = E/(1+\varphi) = 5500/(1+1,0) = 2750$  MPa; moduł sprężystości betonu  $E_{cm} = 25000$  MPa; długotrwały moduł sprężystości betonu  $E_b = E_{cm}/(1+\varphi) = 25000/(1+1,0) = 12500$  MPa. Ostatecznie moduł sprężystości płyty ceramiczno-betonowej przyjęto jako średni ważony z uwzględnieniem wymiarów elementów ceramicznych i betonowych  $E_{sr} = 4,32$  GPa. Na podstawie wykonanych obliczeń stwierdzono, że zbrojenie żeber wzdłuż krótszej rozpiętości jest wystarczające, gdyż obliczona nośność pojedynczego żebra wynosi 4,5 kNm, a występujący w nim moment zginający 4,4 kNm. Zbrojenie żeber wzdłuż dłuższej rozpiętości jest również wystarczające: obliczona nośność żebra wynosi 3,4 kNm, a występujący w nim moment zginający

2,6 kNm. Ugięcie płyty obliczone w modelu płytowym wynosi 1,5 cm i nie przekracza wartości dopuszczalnej 2,2 cm (l/200).

### Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wykazały, że stropy w badanym budynku znajdują się w zadowalającym stanie technicznym – nie wykazują ponadnormatywnych ugięć, zarysowań, pęknięć ani innych oznak wyczerpania nośności. Mimo że pochodzą z okresu, kiedy nie istniały jeszcze metody obliczeniowe odpowiednie do układów płytowych dwukierunkowych, zastosowane przekroje zbrojenia oraz jego układ są zgodne z wynikami analizy, wykonanej współczesnymi metodami obliczeniowymi. Uzyskanie pozytywnej weryfikacji nośności i ugięcia stropów wymagało zastosowania modelu płytowego z uwzględnieniem współpracy górnych półek pustaków w przenoszeniu sił ściskających od zginania oraz przenoszenia przez płytę momentów skręcających  $M_{xy}$ .

### Literatura

- [1] Handbuch fuer Eisenbetonbau, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1917.
- [2] Steineisendecken im Deutschen Reich 1892-1925, Band 3, Anlagen, von Dipl.-Ing. Michael Fischer, Lichtenstein, <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/index/docId/624>.
- [3] PN-B-03002:2007. Konstrukcje murowe, projektowanie i obliczanie.
- [4] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone, obliczenia statyczne i projektowanie.

Przyjęto do druku: 05.10.2022 r.