

dr inż. Michał Musiał¹⁾

ORCID: 0000-0001-6628-9749

dr hab. inż. Tomasz Trapko, prof. uczelni^{1)*}

ORCID: 0000-0002-6375-7145

Nietrafione ekspertyzy techniczne eksploatowanego stropu Filigran i rozwiązania naprawcze wynikające z błędnie sformułowanej oceny

Misguided technical opinions of Filigran ceiling in operation and repair solutions as a result of a wrongly formulated assessment

DOI: 10.15199/33.2023.09.08

Streszczenie. W pracy opisano przypadek stropu żelbetowego typu Filigran, dla którego przygotowano szereg opracowań opiniodawczych. Wynikało z nich, że strop kwalifikuje się do wzmocnienia przez usztywnienie, na skutek nadmiernych ugięć i drgań wpływających na komfort użytkownika. Wdrożono drogi i inwazyjny sposób wzmocnienia przez wymianę nadbetonu i wykonanie dodatkowych żeber. Jak się okazało, po dokładnych analizach dla pomierzonych i zbadanych charakterystyk, konstrukcja była bezpieczna. Jej nadmierne ugięcia były uchybieniem wykonawczym, a drgania dotyczyły jedynie warstw podłogowych i nie wynikały z tego, że konstrukcja nie ma wystarczającej sztywności.

Słowa kluczowe: badanie; nośność; strop; ugięcie; żelbet.

Abstract. In the paper the case of the reinforced concrete ceiling of Filigran type was described, for which several consultative reports were prepared. According to them the ceiling was qualified for strengthening, by stiffening, as a result of excessive deflections and vibrations disturbing the comfort of exploitation. An expensive and invasive way of strengthening consisting of concrete topping replacement and additional ribs execution was implemented. As it was proved with a detailed analysis for measured and tested characteristics the structure was safe. Its excessive deflections was an execution fault. The vibrations involved only top floor layers and were not the consequence of the insufficient stiffness of the structure.

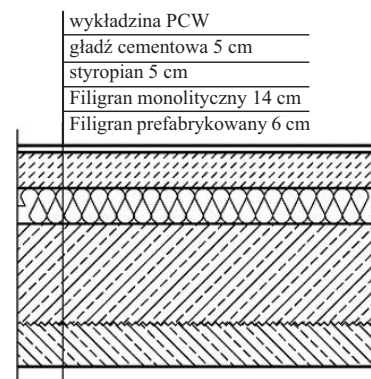
Keywords: investigation; load capacity; ceiling; deflection; reinforced concrete.

W artykule opisano problem eksploatacji stropów Filigran w budynku szkoły. Ze względu na nadmierne ugięcia i odczuwalne przez użytkowników drgania, które powodowały obawy i dyskomfort, zdecydowano się na podjęcie środków zaradczych. Działania poprzedzono sporządzeniem wielu opracowań, opinii technicznych i ekspertyz. Ostatnia z nich została wykonana przez nas. Analiza problemu doprowadziła do wniosków różniących się od zbieżnych, co do meritum, stanowisk prezentowanych w przygotowanych wcześniej opracowaniach.

Opis obiektu

Budynek, którego stropy są przedmiotem artykułu, został wzniesiony ok. 1900 r. Początkowo mieściła się w nim szkoła

ewangelicka. Od 1946 r. pełni funkcję szkoły podstawowej. Na przestrzeni lat obiekt przeszedł wiele modernizacji. Konstrukcja obiektu jest tradycyjna – ceglane i betonowe fundamenty, murowane i betonowe ściany, stropy żelbetowe na belkach stalowych typu WPS lub typu Filigran, krokwiowo-jętkowa więźba dachowa. Nad salą gimnastyczną wykonano stropodach o konstrukcji z drewna klejonego. W ramach ostatniej modernizacji, jaka miała miejsce w latach 2001 – 2003, szkołę rozbudowano. Zastosowano wówczas stropy typu Filigran, w większości w układzie jednokierunkowo zginanym jedno- lub dwuprzęsłowym, a także w układzie dwukierunkowo zginanym, jednopolowym. Przekrój poprzeczny przez strop wraz z warstwami wykończeniowo-wyrównawczymi pokazano na rysunku 1. Rzut stropu, który jest bezpośrednim przedmiotem artykułu, wraz z obciążeniami charakterystycznymi, zaprezentowano na rysunku 2. Strop w tym obszarze pracuje ja-



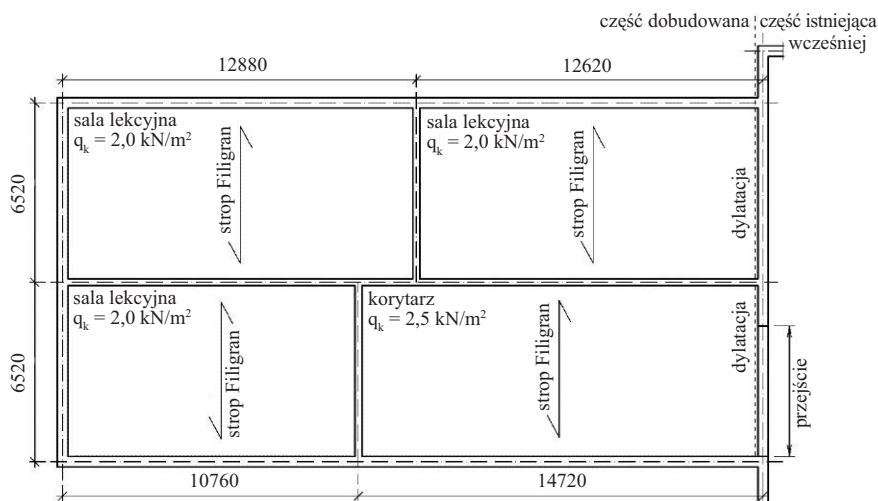
Rys. 1. Przekrój opisywanego stropu

Fig. 1. The cross-section of the described ceiling

ko jednokierunkowo zginany dwuprzęsłowy. Ze względu na to, że obiekt projektowany był na podstawie Polskich Norm, m.in. [1-4], przyjęto je do własnych analiz. We wskazanym obszarze (rysunek 2) szkoła ma 5 kondygnacji – piwnicę, parter, I i II piętro oraz nieużytkowe poddasze. Problem dyskomfortu użytkownika dotyczył stropów korytarza nad I piętrem.

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*} Adres do korespondencji: tomasz.trapko@pwr.edu.pl



Rys. 2. Rzut opisywanego stropu

Fig. 2. The top view of the described ceiling

Analiza dokumentacji przedłożonej przez zarządcę

Badania i analizy własne przeprowadzone były studiami nad dostępną dokumentacją obiektu. W celu anonimizacji opracowania nazwano umownie **A**, **B**, **C**...

W 2011 r. przygotowano opinię techniczną **A**. Jej punktem wyjścia były pomiary ugięcia stropów. W skrajnym przypadku wyniosło ono 3,5 cm i zostało zarejestrowane przy dylatacji (rysunek 2), co ze względu na układ konstrukcyjny uważa się za szczególnie niekorzystne. Poruszający się użytkownicy trafiali bowiem na „stopień”, wynikający z różnicy poziomów między ugiętym stropem korytarza a posadzką nad sztywnym podciągami w ścianie części istniejącej. Uważamy, że skoro wg normy [4] ugięcie dopuszczalne wynosi 30 mm, to przekroczenie o 5 mm nie może być uznane za znaczne. Ugięcia pomierzone w pozostałej części obiektu były podobne, tzn. niektóre nieznacznie przekraczały wartości dopuszczalne. Ponadto, charakteryzowały się dużą losowością, nie zależały od rozpiętości, obciążeń i schematu statycznego. W opinii **A** stwierdzono, że strop nie znajduje się w stanie przedawaryjnym lub awaryjnym. Zalecono jego dalsze badania, m.in. inwentaryzację zbrojenia oraz identyfikację klasy betonu. Postawiono także tezę, że **strop jest zbyt wiotki, w następstwie czego grupa uczniów może wprawiać go w drgania**.

W 2011 r. sporządzono również projekt wzmocnienia (opracowanie **B**). Przewidziano w nim dodatkową konstrukcję wsporczą od spodu stropu w postaci belek stalowych. Koncepcję tę należy uznać za całkowicie błędną z kilku powodów:

- 1) nie została poprzedzona badaniami stropu zaleconymi w opinii **A**;
- 2) belki konstrukcji wsporczej usytuowano równoległe do zbrojenia głównego, co mogło wymusić pracę stropu na kierunku zbrojenia rozdzielczego o niewielkiej intensywności, przy stykach montażowych prefabrykowanych płyt Filigran prostopadłych do kierunku pracy;
- 3) wg obliczeń w opracowaniu **B**, dodatkowa konstrukcja stalowa o masie przeszło dwie tony przełożyłaby się na zwiększenie pierwszej giętej częstotliwości własnej stropu zaledwie o 7%;
- 4) konstrukcja zostałaby zamontowana „biernie”, a więc należałoby się spodziewać, że włączy się do współpracy dopiero przy jej dociążeniu.

Szczęśliwie dla konstrukcji obiektu i jego użytkowników koncepcja ta nie została zrealizowana.

W 2020 r. powstała opinia techniczna **C**. Za jej główny element należy uznać pomiary ugięć stropów. Można stwierdzić, że praktycznie się nie zwiększyły w porównaniu z pomierzonymi w ramach opracowania **A** z 2011 r. Autorzy opinii **C** stwierdzili, że przedmiotowy strop nie zagraża bezpieczeństwu, ale zalecili zwiększenie jego sztywności np. wg opracowania **B**.

W 2021 r. opracowano projekt **D** wzmocnienia stropu. Był on podobny do projektu **B**, z tym że belki stalowe zamieniono na żelbetowe, podwieszane do stropu. Rozwiązanie to miało, zgodnie z opracowaniem **D**, dwukrotnie zwiększyć częstotliwość własną, ale wniosłoby również pozostałe wady opracowania **B**.

Rok później przygotowano kolejny projekt wzmocnienia **E**. Poprzedzono go badaniami. Po raz pierwszy zdecydowano się wykonać odkrywkę i zinventaryzować zbrojenie w feralnym stropie. Ponadto określono klasę nadbetonu metodą sklerometryczną jako C12/15. Wyników tych nie można jednak uznać za wiarygodne, ponieważ młotek Schmidta nie był wyskalowany w badaniach niszczących. W związku z tym, że „zbadała” klasa betonu była niższa niż podana w projekcie (C20/25), podjęto niefrasobliwie decyzję o usunięciu nadbetonu z obszaru korytarza o powierzchni ok. 90 m². W ramach wzmocnienia przewidziano żebra żelbetowe, podobnie jak w **D**, ale z nowym zbrojeniem nadbetonu, uwzględniającym zmianę kierunku pracy stropu. W rezultacie zdecydowano się na pozostawienie jedynie prefabrykowanego szalunku płyt Filigran.

W 2020 r. została jeszcze opracowana opinia **F**. Zalecono w niej pogłębione badania stropów żelbetowych w całej szkole. Sformułowano także zalecenia, których nie można traktować poważnie. Pierwsze z nich sugerowało, że w przypadku stwierdzenia zbyt niskiej klasy nadbetonu zaleca się jego wymianę, ewentualnie rozbiórkę i wykonanie stropów na nowo. Drugie natomiast brzmiało: *Należy unikać większych okazyjnych zgromadzeń uczniów i rodziców*.

Badania i analizy wykonane przez autorów

Ze względu na wątpliwości, zarządca obiektu zwrócił się o sporządzenie opinii technicznej, dotyczącej przedmiotowych stropów, do Politechniki Wrocławskiej. W chwili, gdy zostaliśmy zaangażowani w jej wykonanie, strop nad pierwszym piętrem był pozbawiony warstwy nadbetonu (fotografia 1). Przed przystąpieniem do robót rozbiórkowych strop podparto na wszystkich



Fot. 1. Strop korytarza z usuniętą warstwą nadbetonu
Photo 1. The ceiling of the corridor without concrete topping

kondygnacjach, ale zrobiono to nieprawidłowo. Strop pracował bowiem jako dwuprzęsłowy, a podparcie go wykonano tylko w obszarze korytarza, natomiast pominięto sale lekcyjne (rysunek 1).

Podczas makroskopowych oględzin stropów nie stwierdzono znacznych rysów bądź spękań. Wyjątkiem były płyty prefabrykowane, z których zerwano nadbeton. Uległy one uszkodzeniu w wyniku oddziaływania młotów mechanicznych (fotografia 2). Na podstawie odkrywek zinwentaryzowano zbrojenie. Stwierdzono gatunki stali zbrojeniowej 34GS (pręty) i St3-b-500 (siatki i pręty podłużne kratownic) o charakterystycznych granicach plastyczności f_{yk} odpowiednio 400 i 500 MPa. Krzyżulce kratownic zbrojeniowych były natomiast wykonane ze stali gładkiej o $f_{yk} = 500$ MPa. W celu identyfikacji klasy betonu pobrano ze stropu odwierty rdzeniowe o średnicy i wysokości po dostosowaniu 100 mm. Na podstawie badań niszczących (próbki po zniszczeniu



Fot. 2. Uszkodzony fragment płyty prefabrykowanej Filigran
Photo 2. Damaged part of the precast Filigran slab

niu pokazano na fotografii 3) stwierdzono, że beton ma klasę C16/20, czyli o klasę wyższą, niż podano w opracowaniu E. Do własnych analiz obliczeniowych przyjęto klasę betonu C16/20 w przypadku całego przekroju poprzecznego stropu. Na podstawie makroskopo-



Fot. 3. Odwierty rdzeniowe po próbie ściskania

Photo 3. Cored specimens after compression test

wych oględzin i dostępnej dokumentacji stwierdzono bowiem, że klasa betonu płyt prefabrykowanych Filigran jest z pewnością nie niższa niż C16/20.

Pewnym uchybieniem wykonawczym było umieszczenie zbrojenia górnego zbyt nisko nad podporą (fotografia 4). Najprawdopodobniej zostało ono niestannie zamontowane, a następnie zdeformowane przez osoby poruszające się po szalunku. Na fotografii 4 zaznaczono górną powierzchnię płyty żelbetowej i jeden z niżej położonych prętów.



Fot. 4. Wadliwie (zbyt nisko) zamontowane zbrojenie górne

Photo 4. Faulty (too low) assembled upper reinforcement

Tabela 1. Wyniki analizy stanu granicznego nośności na zginanie

Table 1. The results of flexural ultimate limit state

Stan stropu	Lokalizacja przekroju	Moment zginający [kNm]	Nośność giętna [kNm]	Stopień wyczerpania [%]
I	Prześło korytarza	40,09	46,94	85
	Prześło sali lekcyjnej	38,33	39,61	97
	Podpora wewnętrzna	32,66	43,58	75
II	Prześło korytarza	38,10	39,61	96
	Prześło sali lekcyjnej	35,37	39,61	89
	Podpora wewnętrzna	40,39	43,58	93

Przeprowadzono obliczenia sprawdzające, uwzględniając dane rzeczywiste (pomierzone i zbadane). W obliczeniach przeanalizowano dwa stany konstrukcji stropu. Potrzeba rozgraniczenia wyniknęła z tego, że jego sąsiednie przeszło w sali lekcyjnej nie zostało podparte na czas remontu. Stany te były następujące:

I) **po remoncie**, będący superpozycją momentów zginających ze schematu płyty swobodnie podpartej dla obciążeń stałych w salach lekcyjnych oraz płyty dwuprzęsłowej dla obciążeń stałych w korytarzu i obciążeń zmiennych;

II) **pierwotny**, w którym pracowała płyta przed usunięciem nadbetonu w schemacie dwuprzęsłowym, zgodnie z zamierzeniami projektowymi.

Wyniki analizy stanu granicznego nośności na zginanie zestawiono w tabeli 1. Okazało się, że stan ten jest spełniony, a bezpieczeństwo konstrukcji nie było zagrożone i nie będzie zagrożone po odtworzeniu stanu sprzed ingerencji pomimo wadliwie zamontowanego zbrojenia górnego. Sprawdzone także stany graniczne użyteczności. Wyniki pokazano w tabeli 2. W żadnym przypadku nie odnotowano przekroczenia wartości dopuszczalnych.

W opracowaniach A-F poruszano problem drgań rezonansowych, a zatem postanowiono sprawdzić również tę kwestię. Oszacowano pierwszą częstotliwość własną w przypadku schematu belki dwuprzęsłowej. Wyniosła ona ok. 7 Hz. Zgodnie z literaturą [5], częstotliwość wymuszenia tłumem nie przekracza 3,4 Hz, co jest odległe od stanu rezonansowego. Ponadto, nieprawdopodobne jest, aby typowy, pełny element żelbetowy, spełniający podstawowe wymagania stanów granicznych, był podatny na drgania wymuszone oddziaływaniem tłumy dzieci.

Tabela 2. Wyniki analizy stanów granicznych użyteczności
Table 2. The results of serviceability limit state

Element	Ugięcia [mm]		Szerokość rysy [mm]	
	obliczone	dopuszczalne	obliczona	dopuszczalna
Przeszło korytarza	28	30	0,11	0,30
Przeszło sali lekcyjnej	25		0,09	

Wnioski

Nasze badania i analizy obaliły kluczowe stwierdzenia podane w opracowaniach A-F. Wykazano bowiem obliczeniowo, z uwzględnieniem rzeczywistych parametrów (pomierzonych i zbadanych), że konstrukcja była bezpieczna. W żadnym z opracowań nie udowodniono natomiast obliczeniami, że konstrukcja jest przeciążona. Mimo to zdecydowano się ją wzmocnić/naprawić w tak inwazyjny sposób. Uważamy, że nawet gdyby strop wymagał wzmocnienia, można było tego dokonać mniej inwazyjnymi metodami tradycyjnymi [6 – 10] bądź nowoczesnymi [11 – 14]. Usuwanie nadbetonu czy wymiana całych stropów, co sugerowano w opracowaniu F, to metody nieuzasadnione z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia.

Stwierdzone wady stropu, takie jak nadmierne ugięcia i rzekome jego drgania nie były związane z bezpieczeństwem konstrukcji. Nadmierne ugięcia są najprawdopodobniej następstwem błędów wykonawczych, a nie projektowych czy eksploatacyjnych (tabela 2). Stemple płyt prefabrykowanych Filigran mogły być ustawione niestarannie, bez strzałki odwrotnej, która stosowana jest dość często w tego typu stropach, lub mogły być usunięte zbyt wcześnie. Ze względu na odległy w czasie termin realizacji stropu nie sposób dziś dotrzeć do takich informacji. Odczuwalne drgania nie wynikały natomiast z podatności samej konstrukcji stropu, ale z podatności styropianu i podkładu podłogowego. Warstwę izolacji akustycznej wykonano z miękkiego styropianu izolacyjnego. Z naszego doświadczenia wynika także, że wykonawcy bardzo często nie przykładają należytej staranności przy układaniu warstw podłogowych. Można założyć, że tak było w tym przypadku.

Zaleciliśmy **przywrócenie stanu stropu sprzed usunięcia nadbetonu**. Wykonawca zasugerował, że ze wzglę-

du na dużą masę „mokrego” nadbetonu (350 kg/m^2) nie ma możliwości takiego podparcia stropu, aby nie spowodować uszkodzenia podłóg niższych kondygnacji. W związku z tym zdecydowano się realizować roboty dwuetapowo. W pierwszym etapie wykonano żebra żelbetowe na kierunku zbrojenia głównego płyt. W drugim natomiast, po osiągnięciu wymaganej wytrzymałości betonu żeber, ułożono nowe zbrojenie nadbetonu, uwzględniające zmianę kierunku pracy płyty oraz sam nadbeton. W rezultacie wdrożono propozycję z opracowania E. Należy jednak podkreślić, że żebra zastosowano z powodów technologicznych, a nie statyczno-wytrzymałościowych. Żebro skrajne, przy dylatacji, poprawi dodatkowo pracę stropu i zapobiegnie wytworzeniu się uskołu na styku starej i dobudowanej części szkoły. Przed przystąpieniem do prac zalecono naprawę prefabrykowanych płyt Filigran i uzupełnienie uszkodzonego zbrojenia wyprowadzonego z wieńców.

Podsumowanie

Należy zwrócić uwagę na to, że żadne z opracowań A-F nie obejmowało badania betonu, a tylko w ramach opracowania E zinventaryzowano stal zbrojeniową. Na podstawie niczym nieopartych hipotez „zdeastrowano” strop korytarza jednej z kondygnacji. Jak się okazało, miał on wystarczającą nośność i wymagał jedynie wymiany warstw podłogowych (styropianu i podkładu). Żaden z autorów opracowań A-F nie pochylił się nad problemem w wystarczający sposób. Zalecenie zawarte w opracowaniu F o unikaniu większych zgromadzeń w placówce szkolnej należy z całą stanowczością potępić. Elementy konstrukcyjne w takim obiekcie muszą mieć wymaganą nośność i wtedy są bezpieczne w użytkowaniu. W przeciwnym przypadku obiekt należy zamknąć. Niestety, błęd-

ne wnioski ekspertów dotyczące opisywanej konstrukcji doprowadziły do częściowego paraliżu pracy placówki edukacyjnej (wyłączenie części szkoły, organizacja nauki w obiekcie zastępczym) i pociągnęły za sobą koszty niepotrzebnych, nadmiarowych prac.

Literatura

- [1] PN-82/B-02000. Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.
- [2] PN-82/B-02001. Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.
- [3] PN-82/B-02003. Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.
- [4] PN-B-03264:1999. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [5] Pańtak M. Kładki dla pieszych. Parametry analiz dynamicznych – Część 3. Builder. 2018; 46: 46 – 49.
- [6] Kobiak J. Błędy w konstrukcjach żelbetowych, Arkady, Warszawa 1971.
- [7] Mitzel A, Stachurski W, Suwalski J. Awaryjne konstrukcje betonowych i murowych, Arkady, Warszawa 1982.
- [8] Urban T. Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych metodami tradycyjnymi. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [9] Ubysz A, Trapko T, Musiał M. Dobór optymalnego sposobu wzmocnienia filarów pod dźwigary dachowe w hali sportowo-widowiskowej. Materiały Budowlane. 2017; DOI: 10.15199/33.2017.06.14.
- [10] Noakowski P. Awaryjne i katastrofy obiektów betonowych. Błędy projektowe jako powody niedomagania konstrukcji. W: Naprawy i wzmocnienia konstrukcji: konstrukcje żelbetowe, XXXVII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła 28-31 marca 2023 roku. T. 3, Wykłady oraz referaty i informacje techniczno-promocyjne. Red. Łukasz Drobiec. Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa. Oddział w Gliwicach; 2023, 1 – 30.
- [11] Meier U. Strengthening of structures using carbon fibre/epoxy composites. Construction and Building Materials. 1995, DOI: 10.1016/0950-0618 (95) 00071-2.
- [12] Meier U, Kotynia R. Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych naprężonymi materiałami kompozytowymi FRP. Inżynieria i Budownictwo. 2006, 11: 596 – 599.
- [13] Grzymiski F, Musiał M, Trapko T. Metody wzmacniania płyt żelbetowych. Materiały Budowlane. 2017, DOI: 10.15199/33.2017.05.01.
- [14] Trapko T, Musiał M, Marcinczak D, Grzymiski F, Rogalski K. Zakotwienie siatek kompozytowych PBO-FRCM. Materiały Budowlane. 2018, DOI: 10.15199/33.2018.05.21.

Przyjęto do druku: 11.08.2023 r.