



Fot. 5. Stalowa więźba dachowa ze stropem żelbetowym na blasze faldowej

Photo 5. Steel roof structure with concrete slab on corrugated sheet

cych wymagań dotyczących bezpieczeństwa konstrukcji. Często nie jest też zadaniem łatwym wcześniejsze, precyzyjne określenie zmian wprowadzonych w obiekcie w czasie jego eksploatacji, a mających wpływ na przebieg prac remontowych. Zdarza się także, że

podczas remontów takich obiektów, mimo wykonania wstępnej ekspertyzy stanu technicznego, zachodzi konieczność dokonywania istotnych zmian w projekcie przebudowy i adaptacji założonych rozwiązań konstrukcyjnych, także do wprowadzanych modyfikacji funkcji użytkowych obiektu. Działania takie wymagają stałego nadzoru i odpowiednich interwencji konstruktora, mającego doświadczenie w projektowaniu remontów obiektów zabytkowych.

Wszystkie fotografie – Autorzy

#### Literatura

[1] Dmochowski G., Berkowski P., Dudkiewicz J., Adaptation of early heritage masonry buildings to new social assistance functions. W: Structural analysis of historical constructions: Int. Conf. SAHC 2012, 15-17.10.2012, Wrocław, Polska. Ed. J. Jasieńko, Wrocław, DWE, vol. 3, s. 2642 – 2649.

[2] Berkowski P., Dmochowski G., Minch M., Szołomicki J., Revitalization of historical buil-

ding in Wrocław's city center, Poland. Advanced Materials Research. 2010, vol. 133/134, s. 1009 – 1014.

[3] Berkowski P., Dmochowski G., Minch M., Szołomicki J., Structural restoration and adaptation to modern architecture of the baroque Oppersdorf Palace, Wrocław, Poland. Advanced Materials Research. 2010, vol. 133/134, s. 1003 – 1007.

[4] Minch M., Szołomicki J., Berkowski P., Dmochowski G. Structural restoration and strengthening of the renaissance palace in Rząsiny, Poland. W: Structural analysis of historical constructions: Int. Conf. SAHC 2014, 14-17.10.2014, Mexico, Meksyk. Ed. F. Peña i M. Chávez (dokument elektroniczny).

[5] Minch M., Szołomicki J., Berkowski P., Dmochowski G. Structural strengthening of the baroque monastery in Głębowice, Poland. W: Structural analysis of historical constructions: Int. Conf. SAHC 2012, 15-17.10.2012, Wrocław, Polska. Ed. J. Jasieńko, Wrocław, DWE, vol. 3, s. 1880 – 1887.

Otrzymano 08.01.2015 r.

dr inż. Tomasz Janiak<sup>1\*)</sup>

dr inż. Aleksandra Niespodziana<sup>1)</sup>

dr inż. Adam Grabowski<sup>1)</sup>

# Analiza przyczyn awarii stropu żelbetowego

## Failure analysis of the reinforced concrete slab

DOI: 10.15199/33.2015.05.09

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono przyczyny awarii stropu w budynku szkoły. Były nimi błędy projektowe, wynikające z niewłaściwego użycia oprogramowania RM-Win, służącego m.in. do wspomaganie obliczeń statycznych i wymiarowania elementów żelbetowych, oraz zbytnia rutyna projektanta. Opisany przypadek ma stanowić przestrożę dla inżynierów budownictwa zajmujących się projektowaniem konstrukcji żelbetowych.

**Słowa kluczowe:** strop żelbetowy, błędy projektowe, komputerowe wspomaganie projektowania.

**Abstract.** The paper presents failure causes of the reinforced concrete slab of the school building. The failure occurred due to design errors. The errors were a result of inappropriate use of RM-WIN software, which is mainly used to static calculations and design of structural components. Another cause failure was simple designers routine. The above case is supposed to be a warning for structural engineers who design reinforced concrete structures.

**Keywords:** reinforced concrete slab, design errors, computer aided design.

Przełomem w projektowaniu konstrukcji żelbetowych okazało się upowszechnienie komputerów i rozwój komputerowego wspomaganie projektowania (CAD). W dobie komputeryzacji nastąpiło odejście od dwuetapowości obliczeń – wstępnych i dokładnych, a jeżeli już się je stosuje, to nawet na etapie wstępnym wykonywane są z użyciem komputerów. Zanikł też nawyk kontroli, gdyż wyniki obliczeń kom-

puterowych traktuje się jako niepodważalne [1]. W artykule omówiono przypadek, w którym zbytnie zaufanie do wyników obliczeń komputerowych doprowadziło do awarii konstrukcji.

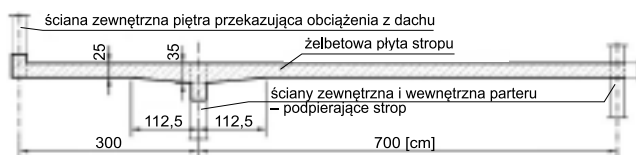
### Opis przypadku

Kilka lat temu wybudowano w technologii tradycyjnej kompleks szkolny. Główną konstrukcją obiektu stanowią m.in. ściany murowane z bloczków silikatowych oraz stropy żelbetowe. W przeważającej części stropy wykonano z płyt sprężonych typu SP, a we fragmencie zastosowano monolityczny strop płytowy. W strefie stropu płyto-

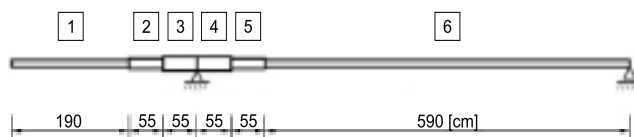
wego, już w trakcie budowy, pojawiły się pierwsze symptomy awarii. Samoносne ściany murowane, wzniesione na tym stropie, zaczęły się rysować i pękać. Schemat konstrukcyjny stropu przedstawiono na rysunku 1. Opiera się on na dwóch równoległych ścianach parteru. Ściana zewnętrzna jest cofnięta w stosunku do ściany piętra. Strop pracuje jako jednokierunkowo zbrojony, wolnopodparty z przewieszaniem. Grubość płyty stropowej wynosi 25 cm, ale w pobliżu oparcia na ścianie zewnętrznej zwiększa się liniowo do 35 cm. Główne uszkodzenia ścian powstały na odcinku przewieszenia.

<sup>1)</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska;

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: tomaszj@utp.edu.pl



Rys. 1. Schemat konstrukcji stropu (przekrój)  
Fig. 1. Cross section of slab



Rys. 2. Schemat statyczny; podział na elementy skończone  
Fig. 2. Static diagram; finite elements discretization

Podstawą do prowadzenia prac budowlanych był projekt wykonawczy opracowany przez projektanta konstrukcji. Wykonano w nim m.in. pełne obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wymienionego stropu i sporządzono rysunki wykonawcze, przedstawiające zbrojenie płyty. Uszkodzenia ścian wybudowanych na stropie pojawiły się w trakcie wykonywania głównej konstrukcji obiektu. Informowany o tym projektant zapewniał, że projekt wykonawczy jest wykonany poprawnie. W związku z tym kontynuowano prace budowlane, a powstające rysy i pęknięcia ścian ostatecznie zakryto tynkiem. Po wykonaniu wszystkich zasadniczych prac budowlanych rysy pojawiły się ponownie na świeżo położonym tynku. Zaniepokojony tym faktem inwestor zlecił wykonanie ekspertyzy w celu ustalenia faktycznej przyczyny uszkodzeń oraz określenia środków zaradczych.

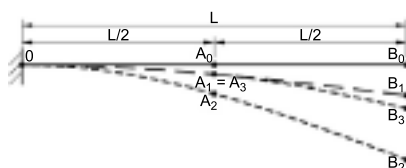
### Ustalenie przyczyn awarii

Uszkodzone ściany były samonośne, pominięto więc ich sprawdzanie pod kątem wytrzymałości, szukając zasadniczej przyczyny awarii w nadmiernych przemieszczeniach płyty stropowej. Obliczenia sprawdzające stropu wykonano za pomocą takiego samego oprogramowania, z jakiego korzystał projektant, tj. programu RM-Win. Umożliwia on wykonywanie analiz statycznych płaskich układów prętowych oraz wymiarowanie elementów konstrukcyjnych wykonanych z różnych materiałów, m.in. z żelbetu.

Analizie poddano pasmo stropu o szerokości 1 m. Przyjęto schemat statyczny belki wolnopodpartej z przewieszeniem (rysunek 2), w którym zastąpiono liniową zmianę grubości zmianą skokową. Uzyskano w efekcie model MES identyczny z przyjętym przez projektanta. Pomimo pewnych różnic w zestawieniach obciążeń, uzyskano wyniki zbieżne z analizą przeprowadzoną przez projektanta. Błąd nie tkwił więc w niewłaściwie wykonanych obliczeniach. Po wnikliwej analizie stwierdzono, że przyczyną

błędu jest niewłaściwa interpretacja wyników uzyskanych z programu RM-Win. W programie tym analiza statyczna prętowej konstrukcji żelbetowej prowadzona jest dla całego układu, przy przyjęciu dla poszczególnych prętów liniowo-sprężystej sztywności niezarysowanego przekroju betonowego. Wymiarowanie odbywa się jednak wyłącznie w odniesieniu do pojedynczego elementu skończonego (ES). W przypadku sprawdzania stanów granicznych zginania, ściśnięcia, czy zarysowania nie ma to znaczenia, gdyż odnoszą się one do poszczególnych przekrojów prętów. Natomiast analiza stanu granicznego ugięć dotyczy całego elementu konstrukcyjnego i tu podział na ES ma istotne znaczenie. Ugięcie przewieszono fragmentu stropu określono dla ES nr 1 (rysunek 2), nie uwzględniając rzeczywistych sztywności elementów nr 2 i 3. Mechanizm powstania tego błędu zostanie wyjaśniony na prostszym przykładzie – wspornika pokazanego na rysunku 3.

Założmy, że żelbetowy wspornik 0-A<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> został obciążony pionową siłą skupioną przyłożoną w punkcie B<sub>0</sub>. Ugięcia sprężyste, przy przyjęciu sztywności niezarysowanego przekroju betonowego, przedstawia krzywa 0-A<sub>1</sub>-B<sub>1</sub>. Taki kształt krzywej uzyska się niezależnie od tego, czy cały wspornik będzie traktowany jako jeden ES, czy też dwa połączone (0-A i A-B). Obliczenie stanu granicznego ugięć zginanych elementów żelbetowych wiąże się m.in. z uwzględnieniem rzeczywistych sztywności przekroju zarysowanego oraz pęcznienia betonu. Przy potraktowaniu całego wspornika jako jeden ES, linią jego rzeczywistego ugięcia będzie 0-A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>. Po podzieleniu wspor-



Rys. 3. Szkic przemieszczeń wspornika  
Fig. 3. Displacement of cantilever beam

nika na dwa ES i wymiarowaniu elementu A-B uzyska się w wyniku analizy komputerowej de facto linię ugięcia 0-A<sub>3</sub>-B<sub>3</sub>. Fragment A<sub>3</sub>-B<sub>3</sub> jest identyczny z A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub> po przesunięciu i obrocie go w sposób zapewniający w węzle A zgodności przemieszczenia i kąta obrotu z wykresem ugięcia sprężystego. Oznacza to, że przy takiej analizie nie uwzględnia się rzeczywistej sztywności i pęcznienia elementu 0-A, gdzie występują największe momenty zginające, a tym samym – największy przyrost przemieszczeń. Podobne postępowanie w przypadku przedmiotowego stropu spowodowało, że ES nr 2 i 3 uwzględniano jako sprężyste. Doprowadziło to do istotnego niedoszacowania ugięcia końca przewieszenia, które było główną przyczyną powstania uszkodzeń ścian.

### Podsumowanie

W przypadku rozbieżności pomiędzy rzeczywistym zachowaniem się konstrukcji a symulacją tego zachowania na podstawie analiz statyczno-wytrzymałościowych należy zawsze ustalić przyczynę tej rozbieżności. Pozwoliłoby to projektantowi wychwycić błąd.

Zawsze należy starannie dobierać programy CAD używane do realizacji zadania projektowego i mieć świadomość możliwości oraz ograniczeń tych programów. Niewłaściwe użycie powszechnie stosowanych programów do analizy statyczno-wytrzymałościowej żelbetowych konstrukcji prętowych może skutkować uzyskaniem błędnych wyników stanu granicznego przemieszczeń.

Opisany przypadek stanowił przykrą naukę dla projektanta konstrukcji i niech będzie przestrożą dla wszystkich obecnych i przyszłych inżynierów budownictwa.

### Literatura

[1] Biegus A., Rykaluk K., Problemy konstrukcyjne i statyczno-wytrzymałościowe projektowania hal o dużej rozpiętości w aspekcie katastrofy z Chorzowie, awarie budowlane 2007, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin-Międzyzdroje 23-26 maja 2007, s. 37.

Otrzymano 09.01.2015 r.