



GRZEGORZ SŁOWEK, *grzegorz.slowek@put.poznan.pl*

JACEK ŚCIGAŁŁO, *jacek.scigallo@put.poznan.pl*

Politechnika Poznańska

## **BŁĘDY PROJEKTOWE W ANALIZIE STROPU PŁASKIEGO JAKO PRZYCZYNY STANU PRZEDAWARYJNEGO**

### **DESIGN ERRORS IN THE ANALYSIS OF A PLANE CEILING AS CAUSES OF PRE-FAILURE STATE**

**Streszczenie** W pracy zaprezentowano przypadek zaistnienia stanu awaryjnego żelbetowej płyty stropu nad garażami, która została zaprojektowana i wykonana w układzie słupowo-płytowym. Na etapie wykonawczym zastosowano stropowe elementy prefabrykowane typu Filigran, popełniając błędy w analizie statyczno-wytrzymałościowej. Przedstawiono charakter zaistniałych uszkodzeń konstrukcji oraz wyniki sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych dla stanu istniejącego. Omówiono wprowadzone zmiany, których zadaniem było odciążenie konstrukcji stropu.

**Abstract** In the paper a failure state of a reinforced concrete ceiling slab over a car park is presented. The slab was designed and constructed as a column-slab structure. During the construction precast slab elements of the filigran type were used. In the analysis errors were committed during the static strength calculation. The type of damage is described. Results of checking static strength analysis for the existing state are presented. The introduced changes aimed at reduction of slab loading are discussed.

### **1. Wprowadzenie**

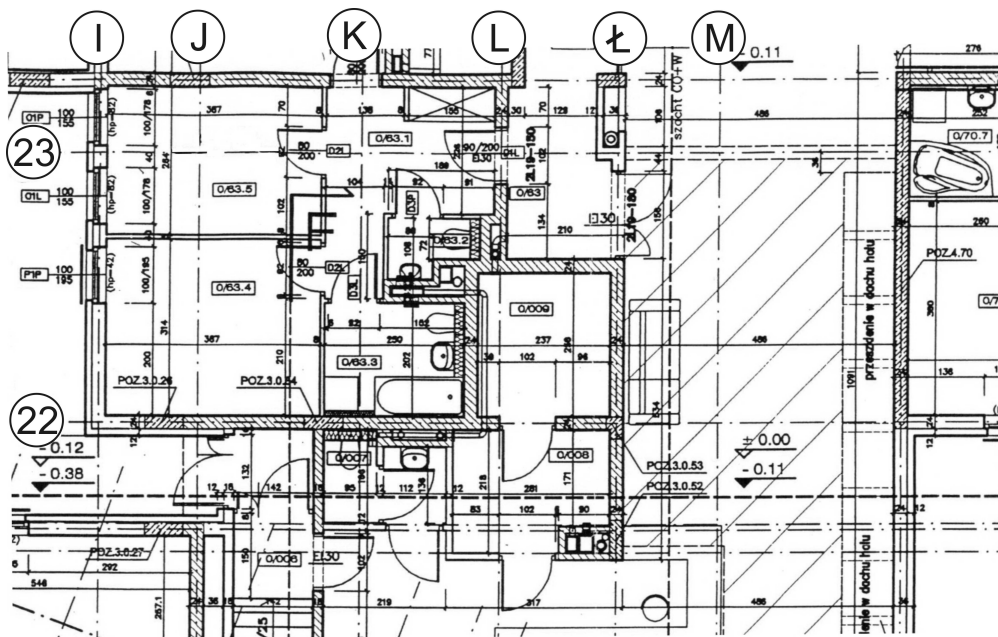
Cechą charakterystyczną współcześnie realizowanych budynków mieszkalnych tzw. apartamentowców jest wykorzystanie dla ich realizacji wszelkich niezabudowanych dotąd obszarów na terenach istniejących osiedli mieszkaniowych. Tereny te są dość często obszarami gorszymi w ocenie przydatności budowlanej w stosunku do już zabudowanych. Stąd ze względu na gorsze uwarunkowania gruntowo – wodne konstrukcja budynku często jest realizowana z zastosowaniem fundamentowania pośredniego. Mając na uwadze brak miejsc parkingowych na osiedlach obiekty te mają kondygnacje podziemne z przeznaczeniem na hale garażowe. Liczba kondygnacji nadziemnych tych budynków rzadko jest mniejsza niż 10. Deweloperzy, prowadząc działalność budowlaną, realizują na każdym etapie procesu inwestycyjnego oszczędności, co prowadzi (wcale nie aż tak rzadko) do pojawienia się zaskakujących sytuacji – budynek wykonano zgodnie z projektem a jednak pojawiła się awaria. Przedmiotem prezentowanego referatu jest przypadek, gdzie zaingerowano w projekt, nie do końca analizując wprowadzone zmiany, które dały o sobie znać natychmiast po zrealizowaniu obiektu.

## 2. Ogólna charakterystyka obiektu i konstrukcji stropów

Będący przedmiotem referatu żelbetowy strop płaski jest usytuowany nad garażem (jako strop parteru) w budynku mieszkalnym o 12-stu kondygnacjach nadziemnych i 2 podziemnych kondygnacjach garażowych. Obiekt ma nieregularny kształt w rzucie a jego bryła jest zróżnicowana wysokościowo. Budynek jest posadowiony na żelbetowej płycie fundamentowej o zróżnicowanej grubości, która razem ze ścianami szczelinowymi tworzy wannę żelbetową. Elementy konstrukcyjne części podziemnej zaprojektowano z betonu wodoszczelnego klasy C30/37.

Podstawowy układ konstrukcyjny obiektu stanowią słupy o nieregularnej siatce oraz odcinki ścian żelbetowych stanowiące podpory dla płyt stropowych typu Filigran.

W obszarach, gdzie ze względów funkcjonalnych zaburzony został podstawowy moduł konstrukcyjny (głównie w garażu) wprowadzono dodatkowe słupy i podciąg. Przedmiotem niniejszej analizy jest obszar stropu w poziomie parteru (nad garażem w poziomie -1), gdzie zaistniał stan awaryjny. Jest on usytuowany w obszarze osi konstrukcyjnych oznaczonych w budynku jako: 22-23/I-Ł. Na rys. 1 przedstawiono rzut parteru, a na rys. 2 rzut hali garażowej (poziomu -1). Rysunki te ilustrują nieregularność konstrukcyjnej siatki geometrycznej budynku.



Rys. 1. Rzut parteru w obszarze zarysowań ścian mieszkania i przyległego do niego pomieszczenia technicznego

W konstrukcyjnym projekcie budowlanym płytę stropową nad garażem poziomu -1 zaprojektowano o grubościach 0,18 i 0,35 m (w zależności od lokalizacji) w zasadniczym układzie konstrukcyjnym słupowo płytowym. W analizowanym obszarze stropu, ograniczonym osiami konstrukcyjnymi 22–23/I–Ł płyta została zaprojektowana i wykonana o stałej grubości 0,18 m. Nad wszystkimi słupami zaprojektowano głowice prostokątne o wymiarach w rzucie poziomym 2,40×2,40 m. Głowice wykonano poprzez pogrubienie płyty stropowej do stałej wysokości przekroju 0,45 m. Jednak na etapie wykonawczym zrezygnowano

z monolitycznej konstrukcji stropu i zastosowano stropowe elementy prefabrykowane typu Filigran o grubości płyty 0,05 m. Spowodowało to zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej płyty stropowej w drugim kierunku, prostopadłym do dolnego zbrojenia podłużnego prefabrykatów (rys. 6). Dodatkowo, w rozpatrywanym obszarze stropu, w przekrojach najbardziej wyężonych, elementy prefabrykowane ułożono niekorzystnie w obu wzajemnie prostopadłych kierunkach – rys. 7.

Zbrojenie prefabrykatów Filigran zaprojektowane ze stali klasy A-IIIIN było następujące:

- zbrojenie dołem po dłuższym kierunku elementu – pręty  $\phi 12$  co 0,20 m (5  $\phi 12$ /m),
- zbrojenie poprzeczne – pręty  $\phi 6$  co 0,25 m (4  $\phi 6$ /m).

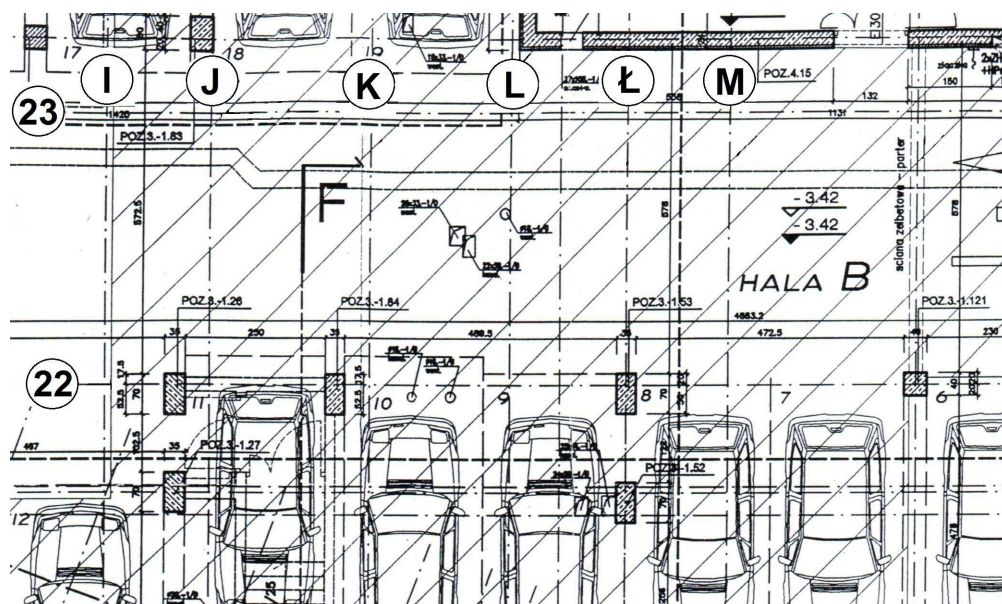
Uwzględniając pracę konstrukcji w obu kierunkach zastosowano zbrojenie dodatkowe ze stali klasy A-IIIIN, które ułożono na prefabrykowanych płytach Filigran.

Zbrojenie dolne stropu przy ułożeniu prefabrykatów po kierunku osi cyfrowych  $x$  (płyty stropowe Filigran nr 39, 40, 41 – rys. 7):

- po kierunku  $x$  – zbrojenie płyty stropowej Filigran 5  $\phi 12$ /m + zbrojenie dodatkowe ułożone na prefabrykacie 4  $\phi 12$ /m,
- po kierunku  $y$  – zbrojenie płyty stropowej Filigran 4  $\phi 6$ /m + zbrojenie dodatkowe ułożone na prefabrykacie 7  $\phi 12$ /m.

Zbrojenie dolne stropu przy ułożeniu prefabrykatów po kierunku osi literowych  $y$  (płyta stropowa Filigran nr 44):

- po kierunku  $x$  – zbrojenie płyty stropowej Filigran 4  $\phi 6$ /m + zbrojenie dodatkowe ułożone na prefabrykacie 4  $\phi 12$ /m,
- po kierunku  $y$  – zbrojenie płyty stropowej Filigran 5  $\phi 12$ /m.



Rys. 2. Rzut hali garażowej w poziomie -1 pod mieszkaniem i pomieszczeniem technicznym

Zbrojenie górne stropu ograniczono tylko do pogrubionych (do 0,45 m) obszarów głowicowych nad słupami oraz do liniowych obszarów stropowych nad ścianami nośnymi. W pozostałych obszarach nie przewidziano dodatkowego górnego zbrojenia.

Zwraca się uwagę, że w rozpatrywanym obszarze stropu na parterze (rys. 1) znajduje się mieszkanie oraz przyległe do niego pomieszczenie techniczne, których powierzchnie użytkowe wydzielone są na parterze ciężkimi ścianami działowymi. Ściany te o grubości 0,24 m wykonano z pełnej cegły silikatowej i oparto bezpośrednio na stropie parteru. Właśnie rozwijające się zarysowania i spękania tych ścian, a także pozostałych gipsowych ścianek działowych wywołały niepokój dewelopera i zainicjowały badania konstrukcji budynku w obszarze powstałej awarii.

### 3. Opis uszkodzeń i obciążeń stropu

Przeprowadzone oględziny uszkodzeń w pomieszczeniu technicznym na parterze wykazały, że ściany wykonane z cegły silikatowej są w zasadzie zdylatowane od konstrukcji stropu nad parterem. W pomieszczeniu tym ściana biegnąca wzdłuż osi  $L$  miała wyraźne spękanie o układzie „schodkowym”, które łączyło się z rysami poziomymi na pozostałych ścianach – rys. 3a.

W mieszkaniu przyległym do pomieszczenia technicznego zarysowanie stwierdzono na ścianie z cegły silikatowej (w osi  $L$ ) jak i na działowych ścianach gipsowych, a także w styku poziomym ścian ze stropem nad parterem – rys. 3b.



Rys. 3. Spękania i zarysowania ścian działowych: a) układ spękań i zarysowań ściany w osi  $L$ , b) wyprawione gipsem zarysowania w ścianie silikatowej oraz gipsowej

Wykonana odkrywka inwentaryzująca układ warstw posadzkowych wykazała, że był on zgodny z założeniami projektowymi i obejmował, licząc od góry:

- płytki ceramiczne na cienkowarstwowej zaprawie klejowej,
- warstwę betonu posadzkowego grubości 0,07 m,
- izolację akustyczną – styropian grubości 0,03 m,
- żelbetową, monolityczną płytę o grubości 0,13 m (łącna grubość stropu – 0,18 m),
- prefabrykowaną płytę stropową Filigran o grubości 0,05 m.

Oględziny stropu nad garażem od dołu wykazały, że w hali garażowej, do płyty stropu Filigran jest podwieszona zaskakująco duża liczba przewodów i rur instalacyjnych zlokalizo-

wanych w kilku poziomach – rys. 4. Ponadto obciążenie to zostało zrealizowane w najmniej korzystnym przekroju stropu z punktu widzenia jego pracy statycznej.



Rys. 4. Obszar intensywnego zagęszczenia rur instalacyjnych podwieszonych do konstrukcji stropu Filigran (strop nad poziomem -1)

#### 4. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Diagnostyczne, sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe stropu wykonano komputerowo przy wykorzystaniu programu analizy statycznej ABC Płyta wersja 6 [1]. Przyjęty model obliczeniowy płyty stropowej parteru (nad poziomem hali garażowej) przedstawiono na rys. 5.

W analizie przyjęto 5 schematów obciążeń:

- schemat 1 – ciężar własny konstrukcji płyty + warstwy stropowe,
- schemat 2 – obciążenie użytkowe ułożone w szachownicę,
- schemat 3 – obciążenie użytkowe ułożone w szachownicę – dopełnienie schematu 2,
- schemat 4 – obciążenie ścianami działowymi,
- schemat 5 – obciążenie instalacjami podwieszonymi.

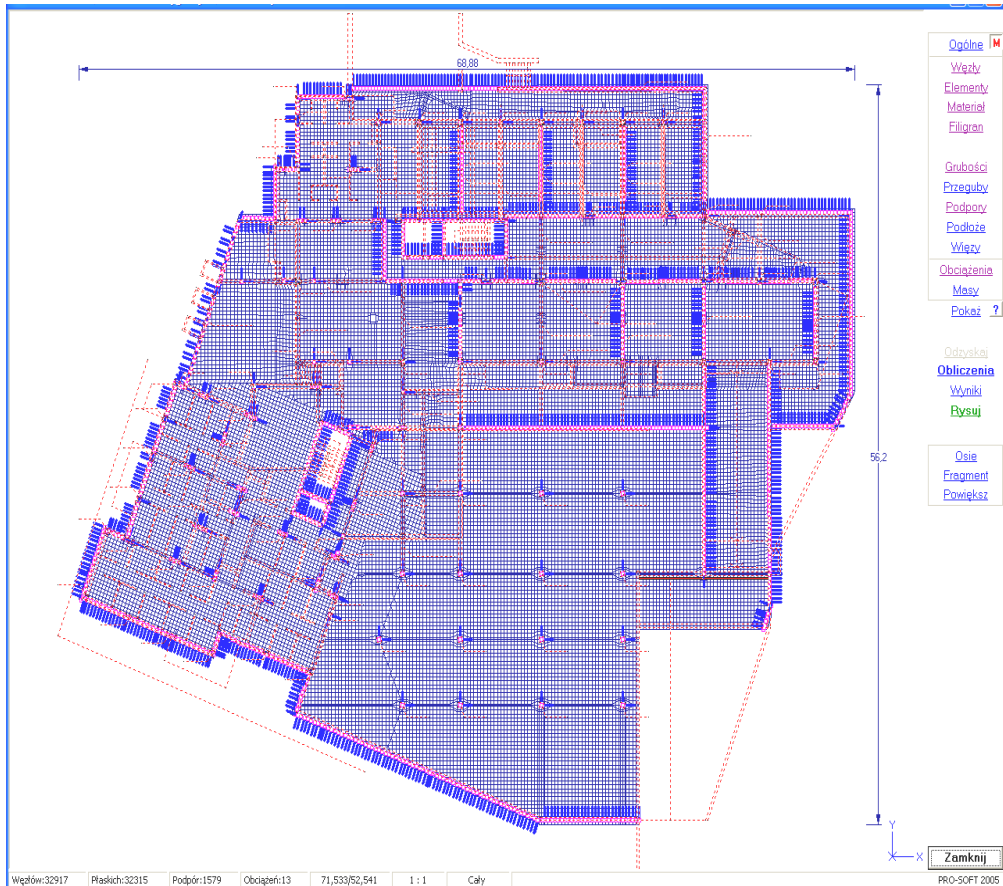
Parametry geometryczne (przekroje, ilość i lokalizacja zbrojenia) oraz parametry wytrzymałościowe stropu przyjęto zgodnie z danymi zawartymi w budowlanym projekcie konstrukcyjnym.

Sprawdzające obliczenia diagnostyczne wykonano dla 2 stanów obciążenia [3] stropu:

- stan (1) dla obciążenia istniejącego, aktualnego na dzień badań,
- stan (2) dla obciążenia po zaleceniach wykonawczych – po zrealizowaniu odciążenia płyty stropowej w analizowanym obszarze stropu.

Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe dla stanu (1) wykazały, że dla rzeczywistych parametrów geometrycznych płyty stropowej oraz istniejącego, rzeczywistego układu warstw posadzkowych i dodatkowych obciążeń nie uwzględnionych w projekcie konstrukcyjnym (ściany działowe i podwieszone obciążenie instalacyjne), nośność płyty stropowej nad piwnicą poziomu -1 obszaru 22–23/I–Ł jest przekroczona o około 30%.

Z kolei maksymalne ugięcia płyty stropowej w analizowanym obszarze wynoszą 39,8 mm i są przekroczone w stosunku do dopuszczalnych wartości granicznych o około 33%.

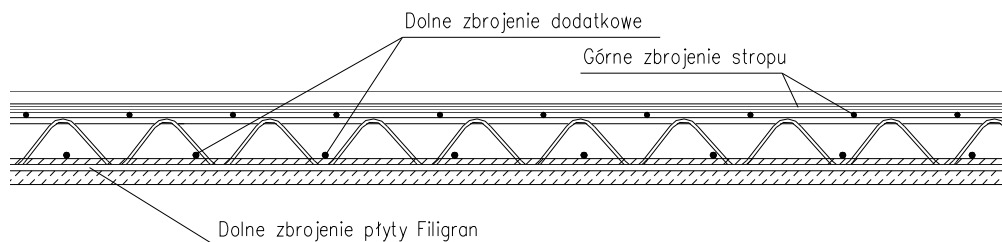


Rys. 5. Model obliczeniowy stropu w programie ABC Płyta

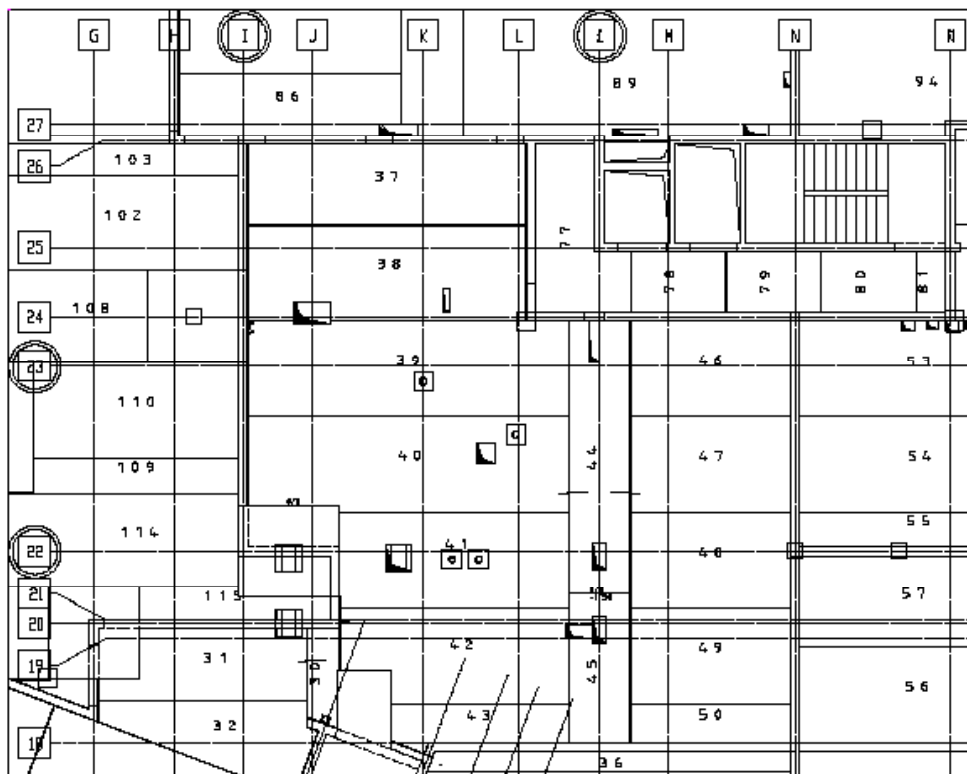
W przeprowadzonej analizie obliczeniowej [2] uwzględniono zastosowane zbrojenie wraz z jego lokalizacją na wysokości przekroju płyty stropowej prowadzące do zmniejszenia ramienia sił wewnętrznych. Zmniejszenie wysokości obliczeniowej przekroju wynikało z ułożenia prętów dla drugiego kierunku pracy na prefabrykowanej płycie stropowej Filigran.

Obliczenia dla stanu (2) czyli po odciążeniu stropu wykazały, że ugięcie tak obciążonej płyty wyniosłoby 25,3 mm. Jest to wartość znacznie mniejsza od dopuszczalnej wartości granicznej. Nie należy jednak oczekiwać, że wartość ta zostanie osiągnięta po odciążeniu stropu, gdyż w betonie płyty stropowej nastąpiły już nieodwracalne odkształcenia reologiczne, związane przede wszystkim ze zjawiskiem pełzania betonu.

Tak znaczne odciążenie stropu osiągnięto poprzez zmianę konstrukcji ściany działowej ze ściany typu ciężkiego na systemową ścianę typu lekkiego oraz przez odciążenie stropu z obciążeń instalacyjnych. Niezbędne było zaprojektowanie niezależnej konstrukcji wymiadowej pod wszystkie instalacje bezpośrednio obciążające konstrukcję stropu analizowanego obszaru.



Rys. 6. Dolne dozbrojenie płyty stropowej Filigran



Rys. 7. Układ prefabrykowanych płyt stropowych Filigran

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza dokumentacji projektowej, wykonane badania makroskopowe i odkrywki inwentaryzacyjne, sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe w zakresie stanów granicznych nośności i użyteczności oraz dokonane oceny i analizy uzyskanych wyników badań i obliczeń sprawdzających pozwoliły na sformułowanie poniższych wniosków końcowych.

Bezpośrednią przyczyną zaistniałych zarysowań i spękań „ciężkiej” ściany działowej o grubości 24 cm oraz przyległych do niej gipsowych ścianek działowych zlokalizowanych na stropie nad piwnicą poziomu -1 (w obszarze osi konstrukcyjnych 22–23/I–Ł) jest nad-

mierne ugięcie płyty stropowej. Analiza budowlanej dokumentacji projektowej oraz sprawdzające obliczenia wykazały, że ugięcie płyty stropowej od aktualnych obciążeń długotrwałych kształtuje się na poziomie 40 mm, znacznie przekraczając wartość graniczną  $a_{lim} = 30$  mm. Nadmierne ugięcie płyty stropowej w obszarze awaryjnym spowodował przede wszystkim błąd projektowy. Nie uwzględniono zmniejszenia wysokości obliczeniowej drugiego kierunku przekroju zespolonego z prefabrykowaną płytą Filigran. Zbrojenie dla drugiego kierunku pracy ułożono na płytach prefabrykowanych zmniejszając w ten sposób ramię sił wewnętrznych z projektu pierwotnego, gdzie przewidziano strop monolityczny.

Dodać należy, że nie bez wpływu na wielkość ugięcia jest również wykonanie przerwy technologicznej w miarodajnym przekroju płyty stropowej.

Oczywiście podwieszenie dużej liczby instalacji rurowych zgrupowanych w najbardziej niekorzystnym miejscu z punktu widzenia pracy statycznej płyty stropowej stanowiło istotne obciążenie wpływające na zwiększenie wyężenia i ugięcia stropu, którego wielkość nie została ujęta w konstrukcyjnym projekcie budowlanym.

W istniejących uwarunkowaniach, w celu zapewnienia wymaganych przepisami normowymi rezerw bezpieczeństwa, zalecono odciążenie konstrukcji stropu. W pierwszej kolejności rozebranie „ciężkiej” ściany działowej grubości 0,24 m wykonanej z cegły silikatowej i zastąpienie jej lekką, systemową konstrukcją ścienną, spełniającą wymagania konstrukcyjne, architektoniczne i funkcjonalne.

Drugim elementem prowadzącym do odciążenia stropu nad piwnicą poziomą -1 było przekazanie obciążeń od instalacji rurowych (podwieszonych do stropu) na odpowiednio zaprojektowane wymiany, których zadaniem było przekazanie dodatkowych obciążeń poza krytyczny obszar stropu.

Niezależnie od wykonania powyższych wskazań konstrukcyjnych, zalecono prowadzenie przez okres 1 roku precyzyjnego monitoringu przemieszczeń stropu w analizowanym obszarze od aktualnie istniejącego stanu obciążeń, poprzez stany pośrednie, do stanu końcowego (po odciążeniu stropu ścianą i podwieszonymi instalacjami rurowymi).

## Literatura

1. Grajek K.: ABC Płyta wersja 6, Pro-Soft, Gliwice 2005.
2. Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN: Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
3. Starosolski W.: Komputerowe modelowanie betonowych ustrojów inżynierskich, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.