

# Awarie w budynkach spowodowane błędnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi

Dr inż. Marek Wesołowski, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

Współczesne wymagania w zakresie zapewnienia odpowiedniej niezawodności obiektów budowlanych są w sposób obszerny opisane w literaturze technicznej, zwłaszcza w normach projektowania konstrukcji oraz powszechnie znanych podręcznikach i poradnikach. Precyzują one te wymagania zarówno na etapie projektowania, jak i realizacji, a także dają podstawowe wytyczne w zakresie eksploatacji. Pomimo tego w praktyce budowlanej obserwuje się zaskakująco dużo różnego rodzaju usterek i niedociągnięć, które stwarzają szereg problemów eksploatacyjnych dla użytkowników. Jednym z najczęściej spotykanych mankamentów w tym zakresie jest niedocenywanie przez projektantów efektów niespełnienia warunków stanu granicznego użyteczności w zakresie ugięć. Ma to zapewne swoją pierwotną genezę w fakcie, że przekroczenie granicznych wartości ugięć nie stwarza bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji i dlatego podchodzi się niekiedy do tej problematyki dość powierzchownie, zadowolając się ogólnie znanymi procedurami w zakresie wyznaczania wielkości ugięć dopuszczalnych. Tymczasem w podstawowym akcie normatywnym dla projektantów, jakim jest PN-EN 1990 [1], podano wyraźnie, że kryteria użyteczności powinny być każdorazowo dostosowane do specyfiki obiektu i uzgodnione z inwestorem. Wskazuje na to także europejska norma projektowania konstrukcji z betonu PN-EN 1992 [2], gdzie wskazano,

iż przy obliczaniu ugięć należy upewnić się, czy nie występują inne, specjalne wymagania, wykraczające ponad ograniczenia standardowe. Podobnego typu uwaga zawarta jest także w polskiej normie projektowania konstrukcji z betonu PN-B-03264 [3].

W artykule na dwóch przykładach pokazano, jakie skutki przyniosło niedocenywanie problematyki analizy ugięć przez projektantów dwóch nowych obiektów.

## 2. Opis i analiza stanu istniejącego

### 2.1. Budynek mieszkalno-usługowy

Rozpatrywany budynek mieszkalno-usługowy jest dwukondygnacyjnym obiektem murowanym, całkowicie podpiwniczonym, z poddaszem użytkowym, wykonanym w technologii tradycyjnej na początku XXI wieku (rys. 1). W części piwnicznej zlokalizowano halę garażową na potrzeby mieszkańców (rys. 2). Dach budynku ma charakter mansardowy, z więźbą drewnianą, jest kryty papą termozgrzewalną.

Fundamenty przyjęto w postaci rusztu z ław żelbetowych o szerokości od 50 cm do 60 cm i wysokości 30 cm, zespolonych z żelbetową płytą posadzkową w części podziemnej.

Ściany nośne o grubości 25 cm do wysokości 1,00 m nad terenem wymurowano z bloczków betonowych wielotworowych oraz z cegły ceramicznej pełnej, natomiast w części nadziemnej ściany wymurowano z bloczków gazobetonowych grubości 24 cm. Ściany działowe



Rys. 1. Widok budynku mieszkalno-usługowego



Rys. 2. Ogólny widok budynku mieszkalno-usługowego od strony podwórza (strzałką zaznaczono wjazd do hali garażowej)

w mieszkaniach wykonano z gazobetonu o grubości 12 cm, natomiast w pomieszczeniach o zwiększonej wilgotności wykonano ściany z cegły dziurawki. Strop nad piwnicą przyjęto w postaci żelbetonowych płyt prefabrykowanych kanałowych typu szkolnego (wzmocnionego) o rozpiętości 6,00 m. Nad parterem dano płyty kanałowe zwykłe o rozpiętości 6,00 m. Celem wzmocnienia ww. stropów, co drugi kanał został na długości około 1,00 m zabetonowany. Nad piętrem dano z kolei stropy drewniane rozpiętości 3,00 m.

Układ nośny obiektu w części piwnicznej i parterowej przyjęto w postaci zespołu ram nośnych oraz ścian konstrukcyjnych, natomiast w wyższych partiach budynku jedynymi elementami nośnymi były ściany murowane. Zasadniczą siatkę słupów w części piwnicznej (mieszczącej halę garażową) i parterowej (gdzie usytuowano sklep spożywczy) oparto na regularnej siatce kwadratowej, o module 6,00 × 6,00 m. Jedynym wyjątkiem było jedno skrzyżowanie osi od strony wjazdu do hali garażowej, gdzie na obu w/w kondygnacjach zrezygnowano z jednego słupa, dając w zamian na całej długości 12,00 m podciągi stalowe (rys. 3).

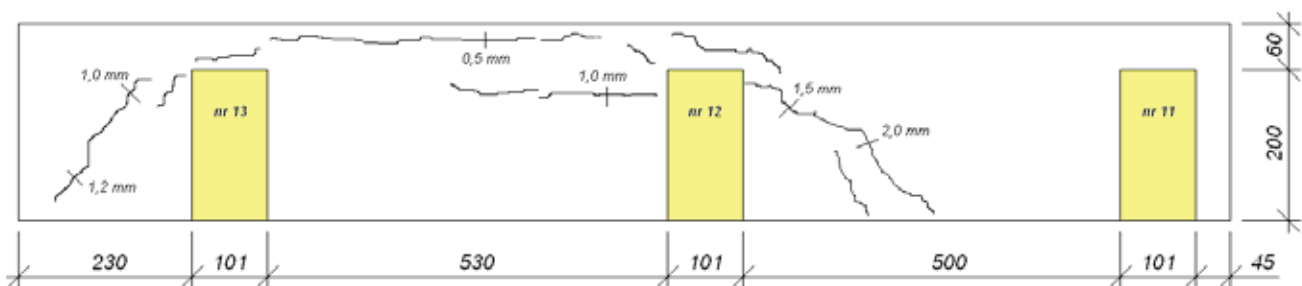
W czasie wizji lokalnych dokonano szczegółowych oględzin budynku w obrębie garażu, sklepu i klatki schodowej. W odniesieniu do hali garażowej (poziomu piwnic) stwierdzono, że nie występowały tam żadne niepokojące zjawiska, które mogłyby wskazywać na niewłaściwą pracę głównych elementów konstrukcyjnych budynku. Stalowy dźwigar o rozpiętości 12,00 m był dobrze zabezpieczony antykorozyjnie, a jego miejsca oparcia na słupach żelbetowych były w dobrym stanie, bez śladów zarysowań.



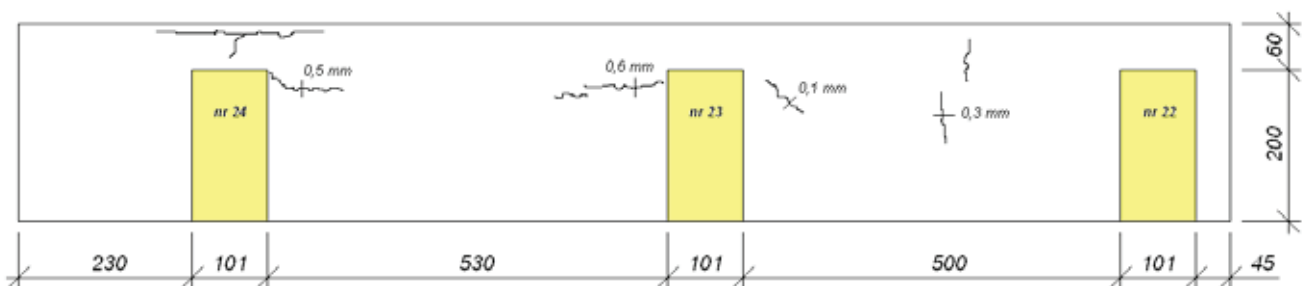
**Rys. 3.** Widok wnętrza hali garażowej od strony wjazdu (strzałką zaznaczono podciąg stalowy w miejscu, gdzie zrezygnowano ze słupa)

Podobnie korzystna sytuacja została zaobserwowana na poziomie parteru, w sklepie spożywczym, w obrębie którego przebiegał stalowy podciąg pod stropem I piętra: również i tam podciąg stalowy był dobrze zabezpieczony antykorozyjnie i nie było żadnych niepokojących objawów destrukcyjnych w jego obrębie.

Na poziomie I piętra istotne zastrzeżenia wzbudzał stan ściany korytarzowej od strony zaplecza budynku, która była znacznie zarysowana, przy czym zarysowania te przebiegały miejscowo przez jej całą grubość, świadcząc o rysach przelotowych. Morfologia zarysowań tejże ściany ukształtowała się w charakterystyczny sposób



**Rys. 4.** Morfologia rys ściany korytarzowej I piętra



**Rys. 5.** Morfologia rys ściany korytarzowej II piętra

łukowy, świadczący o niestabilności oparcia ściany na stropie, co pokazano na rysunku 4.

Wspomniane łukowe zarysowania obejmowały swoim zasięgiem głównie obszar dwóch mieszkań, przy czym pomierzona szerokość głównych rys wynosiła maksymalnie od 0,5 mm do 2,0 mm. Oględziny w mieszkaniach nie mogły być w pełni miarodajne do opisu procesu zarysowania, gdyż lokatorzy wykonali już remont pomieszczeń przylegających do korytarza, naprawiając powstałe wcześniej zarysowania. Tym niemniej pojawiały się już nowe, odnawiające zarysowania.

Znacznie mniej intensywne zarysowania stwierdzono na drugiej ścianie korytarzowej I piętra, przy czym rysy w tym obszarze były o charakterze lokalnym, miejscowo uszkodzającym ścianę.

Na poziomie II piętra najistotniejsze uszkodzenia wystąpiły w ścianie korytarzowej usytuowanej bezpośrednio nad omawianą wcześniej ścianą korytarzową I piętra. Należy jednakże podkreślić, że intensywność tych zarysowań była znacznie mniejsza od tych na I piętrze, co pokazuje ich morfologia, przedstawiona na rysunku 5.

Jak widać, zarysowania na tej kondygnacji koncentrowały się w obszarach przylegających do mieszkania nr 23 oraz nr 24, mając głównie przebieg poziomy i poziomo-skośny, przy czym pomierzone maksymalne rozwarcia rys wyniosły tu od 0,1 mm do 0,5 mm. Także i na tej kondygnacji druga ze ścian korytarzowych wykazywała znacznie mniejsze uszkodzenia w stosunku do sąsiedniej.

Na podstawie analizy zarysowań ścian obu kondygnacji można mówić o nasuwającej się prawidłowości polegającej na koncentracji uszkodzeń w obrębie ścian korytarzowych położonych bezpośrednio jedna nad drugą, w obszarach położonych nad podciągami stalowymi, przy czym intensywność tych zarysowań miała charakter malejący wraz z oddalaniem się ścian od tychże podciągów stalowych.

Szukając bezpośrednich przyczyn powstałych zarysowań, koncentrujących się głównie na jednej ze ścian korytarzowych I oraz II piętra, należy zwrócić uwagę na rozwiązania przyjęte na etapie kształtowania projektu konstrukcyjnego. Jak wspomniano wcześniej, w obszarze wjazdu do hali garażowej postanowiono zrezygnować z jednego ze słupów (co powtórzono na kondygnacji parterowej), przy czym obciążenia przekazano na dźwigary stalowe o rozpiętości modularnej 12,00 m. Rozwiązanie to, formalnie poprawne z punktu widzenia konstrukcyjnego, mogło zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa obiektu, czyli wymogi stanu granicznej nośności. Nie można jednakże zapominać, że odpowiednio zaprojektowany obiekt budowlany musi spełniać równolegle wymogi stanu granicznego użytkowności. Wprawdzie wymogi te nie wpływają na ogólne bezpieczeństwo konstrukcji, jednakże mają bezpośrednie przełożenie na odpowiednią eksploatację obiektów.

W tym kontekście należy zadać sobie podstawowe pytanie: jak powinny być sformułowane wymogi stanu

granicznej użytkowności w tym konkretnym przypadku? Otóż przy usunięciu w ramach regularnej siatki słupów jednego z nich i zastąpieniu go podciągami stalowymi, należało sformułować wymogi stanu granicznej użytkowności w sposób następujący: jakie maksymalne ugięcia podciągu stalowego można dopuścić, aby nie doszło do zarysowania położonych nad nim ścian murowanych? Morfologia zarysowań ściany I piętra (pokazana na rysunku 4) jednoznacznie wskazuje na fakt nadmiernego ugięcia (w stosunku do możliwości bezrynowego odkształcania się ściany) podciągu stalowego na parterze, co spowodowało ukształtowanie się charakterystycznego, łukowego przebiegu rysunku. Wynika to z faktu, że uginający się dźwigar stalowy niejako „pociągnął” za sobą pasma ściany tuż przy podłodze, w części środkowej, a te nie mogąc poddać zwiększonym odkształceniom, jako elementy o cechach materiału kruchego, pękały w relatywnie najsłabszych miejscach. Natomiast fragmenty ściany położone wyżej przesklepiały się, pracując na ściskanie w formie ukrytego łuku i nie podlegały w ten sposób wymuszonym odkształceniom.

Przyjmując standardowo, że ugięcie dopuszczalne podciągu stalowego może wynosić 1/300 rozpiętości, to dla analizowanej sytuacji otrzymuje się  $12000/300 = 40$  mm. Przyjmując z kolei zaostrzone wymagania co do ugięcia dopuszczalnego wynoszące tylko 1/600 rozpiętości, otrzymuje się ugięcie równe 20 mm. Jak wykazały geodezyjne pomiary kontrolne, maksymalne ugięcie podciągu stalowego nad garażem wynosiło 25 mm, natomiast nad sklepem spożywczym – 29 mm, co pokrywało się z wyżej podanymi oszacowaniami.

Należy zdawać sobie jednak sprawę z istotnego w tym kontekście faktu, że ugięcia tego rzędu, choć od strony podciągów stalowych są formalnie dopuszczalne, jednak dla ściany murowanej spoczywającej na podciągu są na tyle znaczne, że – jak dowodzi rozpatrywany przypadek – spowodowały niedopuszczalne z punktu widzenia użytkowego zarysowanie ściany korytarzowej I piętra (obserwowane zarysowanie ściany korytarzowej II piętra było już tylko bezpośrednim skutkiem osłabionej sztywności ściany I piętra).

Widać więc, że przyjęcie rozwiązania konstrukcyjnego polegającego na usunięciu jednego ze słupów i przejęciu obciążeń ze ścian na podciągi stalowe było błędne: na etapie projektowania należało zachować przyjęty regularny układ podpór słupowych. Byłoby to także potwierdzeniem znanej zasady konstrukcyjnej mówiącej o tym, że wszystkie siły w obiekcie budowlanym należy sprowadzić możliwie najprostszą i najkrótszą drogą do podłoża gruntowego. Nie wystarczyło bowiem zapewnienie tylko wymogów stanu granicznej nośności, bo wprawdzie obiekt był przez to w pełni bezpieczny, jednakże trudny (delikatnie mówiąc) w użytkowaniu. Trudno bowiem uznać (jak w omawianym przypadku), że dopuszczalna i akceptowalna przez użytkowników może być eksploatacja mieszkań, w których

pomimo przeprowadzania okresowych prac remontowo-naprawczych regularnie odnawiają się zarysowania ścian od strony korytarza i to jeszcze o charakterze przelotowym.

W zaistniałej sytuacji jednym z najprostszych rozwiązań naprawczych było odtworzenie brakujących słupów w poziomie hali garażowej i na parterze budynku, poprzez wykonanie dodatkowych dwóch słupów stalowych (usytuowanych jeden nad drugim), według wykonanego już zresztą wcześniej projektu technicznego. Z punktu widzenia użytkowników hali garażowej nie wprowadzało to istotnych zmian, gdyż wprowadzenie dodatkowego słupa nie utrudniało manewrów pojazdami w tym obszarze hali. Tak samo akceptowalne mogło być wstawienie dodatkowego słupa na parterze, w obrębie sklepu spożywczego, co nie zakłócało jego funkcjonalności.

Krótką analiza obliczeniowa pozwalała na szacunkową ocenę spodziewanej redukcji ugięć po dodatkowym podparciu podciągów stalowych: zmniejszając bowiem rozpiętość przeszła dwa razy, otrzymuje się redukcję ugięć sprężystych wynoszącą  $2^4 = 16$  razy (nie licząc dodatkowego zmniejszenia ugięcia z uwagi na zmianę schematu statycznego z jednoprzęsłowej belki na dwuprzęsłową belkę ciągłą). Jedynie w taki sposób można było uzyskać radykalną poprawę sytuacji, gdyż działania takiego typu likwidowały główną przyczynę niekorzystnych deformacji ścian, skutkujących ich zarysowaniem.

## 2.2. Budynek mieszkalny

Budowa rozpatrywanego obiektu rozpoczęła się w sierpniu 2004 roku, natomiast oddanie do eksploatacji nastąpiło około roku później. Jest to podpiwniczony obiekt wolno stojący, trzykondygnacyjny, o dachu stromym, z użytkowym poddaszem, wykonany w technologii tradycyjnej (rys. 6). Główną część kondygnacji piwnicznej przewidziano jako pomieszczenie garażowe na użytek mieszkańców (rys. 7).



Rys. 6. Ogólny widok rozpatrywanego budynku mieszkalnego

Konstrukcję dachu drewnianego zaprojektowano w formie krokwiowo-jętkowej, z elementami stalowymi (płacie, krokwie grzbietowe).

Ściany w części podziemnej wykonano jako żelbetowe monolityczne grubości 20 cm (z warstwą styropianu grubości 5 cm). Na kondygnacjach nadziemnych wszystkie ściany przyjęto jako murowane z pustaków na zaprawie cementowo-wapiennej, przy czym ściany zewnętrzne o grubości 18,8 cm (z ocieplającą warstwą styropianu o grubości 12 cm), ściany nośne wewnętrzne – o grubości 25 cm, natomiast ściany działowe – o grubości 8 cm, co dawało ich ciężar jednostkowy wynoszący 1,80 kN/m<sup>2</sup>.

Stropy międzykondygnacyjne przyjęto w postaci żelbetowych płyt monolitycznych, pracujących dwukierunkowo, o grubości 20 cm. Strop nad halą garażową ocieplono od spodu wełną mineralną o grubości 10 cm. Podciągi, słupy, nadproża oraz elementy klatki schodowej wykonano także z betonu monolitycznego.

Z uwagi na ocenę warunków gruntowo-wodnych jako średnio korzystnych, przyjęto w części podziemnej szczelną żelbetową wannę, z płytą denną o grubości 40 cm (lokalnie pod słupami pogrubioną do 55 cm). Pod płytą przewidziano warstwę chudego betonu o grubości 10 cm, na którym ułożono izolację przeciwwodną.

W czasie przeprowadzonych wizji lokalnych dokonano szczegółowych oględzin budynku i stwierdzono, że jedynie istotne uszkodzenia wystąpiły w ścianach w obrębie mieszkań nr 2 i nr 3 na parterze, usytuowanych bezpośrednio nad halą garażową. Szczególnie intensywne zarysowania wystąpiły w ścianie rozgraniczającej wspomniane dwa mieszkania parteru, co pokazano na rysunku 8.

Analizując stan istniejący i przyjęte rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne, można było dojść do wniosku, że głównych przyczyn obserwowanych uszkodzeń ścian parteru należy upatrywać w błędach popełnionych na etapie projektowania obiektu.



Rys. 7. Widok wnętrza hali garażowej w miejscu usytuowanym bezpośrednio pod ścianą rozdzielającą mieszkania nr 2 i nr 3 na parterze



**Rys. 8.** Zarysowanie poziome ściany korytarza przy drzwiach wejściowych do mieszkania nr 2 (z lewej) i mieszkania nr 3 (z prawej)

Pierwszym ważnym spostrzeżeniem był fakt, że pierwotne obliczenia statyczno-wytrzymałościowe nie przewidywały ścian działowych trójwarstwowych, tzn. takich, jakie ostatecznie przyjęto pomiędzy mieszkaniami nr 2 i nr 3 (dwie ścianki z pustaków o grubości 8 cm każda, z wewnętrzną warstwą izolacji akustycznej w postaci wełny mineralnej grubości 10 cm). Konsekwencje takiego stanu rzeczy były znaczące: o ile dla ściany jednowarstwowej (przewidzianej pierwotnie) o ciężarze  $1,80 \text{ kN/m}^2$  było uprawnione przyjęcie zastępczego obciążenia od ww. ścian jako równomiernie rozłożonego na stropie, o tyle w przypadku ściany trójwarstwowej (jaką przyjęto w rzeczywistości) o ciężarze  $3,04 \text{ kN/m}^2$  takie założenie było niedopuszczalne. Z faktu tego zapewne zdano sobie sprawę już po wzniesieniu obiektu, dlatego sporządzono skorygowane obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, które dołączono do dokumentacji archiwalnej. Przyjęto tam właściwe obciążenie liniowe, usytuowane w miejscu omawianej ściany działowej między mieszkaniami nr 2 i nr 3. Uzyskane rezultaty podsumowano informacją o pełnym bezpieczeństwie stropu od strony wytrzymałościowej, a także, że maksymalne ugięcie stropu wynoszące 6 mm, było mniejsze od dopuszczalnych, które oszacowano na poziomie 25 mm. Jednak ten ostatni wynik wzbudzał istotne zastrzeżenia: opisywał on bowiem ugięcia sprężyste, bez uwzględnienia zarysowania i reologii betonu. Należało się zatem spodziewać rzeczywistych ugięć kilkakrotnie większych od wyliczonych.

Drugie ważne spostrzeżenie dotyczyło rozwiązania konstrukcyjnego stropu nad piwnicą. Otóż z uwagi na funkcję garażową, nie było możliwe przyjęcie tam funkcjonalnie odpowiedniego układu ścian nośnych, więc zaprojektowano słupy oraz kilka podciągów (w miejscu klatki schodowej na parterze). Z niewiadomych względów zrezygnowano jednak z analogicznych podciągów w miejscu usytuowania rozpatrywanej ściany działowej między mieszkaniami nr 2 i nr 3 na parterze. Przyjęcie takie spowodowałoby znaczne zwiększenie sztywności stropu w tym obszarze i zabezpieczyłoby skutecznie ww. ścianę przed zarysowaniami. Zamiast

tego zadowolono się płytą płaską, jak w pozostałej części stropu, natomiast była łatwa możliwość wykonania wzmiankowanych podciągów, opuszczonych poniżej dolnej powierzchni stropu, tak, jak zrobiono to w miejscu klatki schodowej.

Skutek takich błędów projektowych był oczywisty: strop wprawdzie spełniał wymogi stanu granicznego nośności, jednak nie spełnił (wbrew intencjom projektantów) wymogów stanu granicznego użyteczności. Ten ostatni bowiem powinien być odpowiednio zdefiniowany do wymogów konstrukcji: winien był uwzględniać możliwość zarysowania ściany spoczywającej na stropie. Nie można było w tym kontekście bezkrytycznie interpretować wymogów ograniczenia ugięć podanych w normach projektowania konstrukcji żelbetonowych w sytuacjach standardowych. W omawianym przypadku nie tyle było istotne ugięcie stropu jako wielkość bezwzględna, ale ugięcie w aspekcie możliwości zarysowania ściany na nim spoczywającej. W tym kontekście dość kuriozalnie brzmiała jedna z prób interpretacji istniejącego stanu rzeczy o hipotetycznym wypłukaniu zaprawy spod ściany, co miało rzekomo spowodować jej zarysowanie.

W zaistniałej sytuacji ewidentnie zbyt małej sztywności stropu nad parterem w obszarze ściany działowej między mieszkaniami nr 2 i nr 3, celem stabilizacji ugięć stropu (a tym samym stabilizacji zarysowań ścian), wskazane było lokalne podparcie stropu, najlepiej konstrukcją stalową, w niczym nie utrudniającą funkcjonowania garażu.

### 3. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionej analizy dwóch zaistniałych sytuacji awaryjnych można sformułować oczywisty wniosek o konieczności bardzo wnikliwego rozpatrywania już na etapie projektowania szczegółowych wymagań użytkowych w aspekcie stanu granicznego ugięć stropów. W dzisiejszych czasach jednak, choć nie ma żadnych utrudnień obliczeniowych w tym zakresie, zadziwiająco często występują zastrzeżenia co do nadmiernych ugięć stropów, skutkujących zarysowaniami spoczywających na nich ścian. Problem ten jest tym bardziej wyrazisty w kontekście sytuowania ścian działowych bezpośrednio na stropach, co stwarza dla architektów swobodę kształtowania przestrzeni mieszkalnej. W tej sytuacji konstruktorzy powinni być bardzo wyczuleni na problematykę właściwego definiowania wymogów stanu granicznego ugięć, co – jak dowodzą podane powyżej przykłady – nie jest jednak dla niektórych inżynierów-praktyków tak oczywiste.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1990. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004
- [2] PN-EN 1992-1-1. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
- [3] PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002