

Najczęściej popełniane błędy w projektowaniu konstrukcji budowlanych

Prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska,
mgr inż. Jan Sieczkowski, Instytut Techniki Budowlanej

1. Wprowadzenie

Każda działalność człowieka, w tym także związana z budownictwem, obarczona jest możliwością popełnienia błędów. Istotne jest, aby skutki popełnionych błędów oraz częstotliwość ich występowania były minimalne, a wnioski z nich płynące zostały wykorzystane w sposób umożliwiający zapobieganie ich powstawania w przyszłych działaniach.

Awarie i katastrofy budowlane występowały „od zawsze”, tzn. od początku działalności budowlanej człowieka i niekiedy pociągały za sobą wiele ofiar śmiertelnych i duże straty materialne. Wyjątek stanowi pochyła wieża w Pizie, która od wieków przynosi dochody z turystyki [12]. Budowę wieży, która miała stanowić konkurencję dzwonnicy św. Marka w Wenecji, rozpoczęto w 1155 r. Już w pierwszym okresie budowy, przed osiągnięciem wysokości 12 m, wieża zaczęła się przechylać w sposób widoczny. Pomimo tego, z przerwami, kontynuowano budowę i zakończono ją w 1350 r. Od samego początku podejmowano wysiłki w celu zahamowania przechylania się wieży, lecz nie znaleziono rozwiązania. Największe wychylenie wieży wynosiło ok. 5,5 m przy wysokości ok. 55 m. W 2011 r., po 20 latach zakończono prace konserwatorskie Krzywej Wieży, w wyniku których wzmocniono fundamenty, zmniejszono wychylenie i zabezpieczono przed dalszym przechyłem.

Informacje o zaistniałych awariach i katastrofach są od wielu lat gromadzone, klasyfikowane i analizowane, głównie w celu poszukiwania wspólnych przyczyn ich wystąpienia w danym typie obiektów budowlanych, co pozwoli w przyszłości unikać podobnych błędów. Można więc powiedzieć, że wnioski z awarii i katastrof są źródłem rozwoju wiedzy budowlanej [9], a stąd już prosta droga do innowacji [1].

Awarie i katastrofy mogą być spowodowane zarówno zdarzeniami losowymi (działania sił natury – silne wiatry, trąby powietrzne, powodzie, obfite śniegi, grad, uderzenia piorunów, wybuchy gazu itp.), jak i zdarzeniami nielosowymi (błędy ludzkie – projektowe, wykonawcze, materiałowe, niewłaściwe użytkowanie, złe stany techniczne, błędy w trakcie rozbiórek). W artykule skupiono się na nieprawidłowościach występujących na etapie projektowania i udziale projektantów w czasie wykonywania i eksploatacji [1–16].

2. Ogólne zasady projektowania konstrukcji

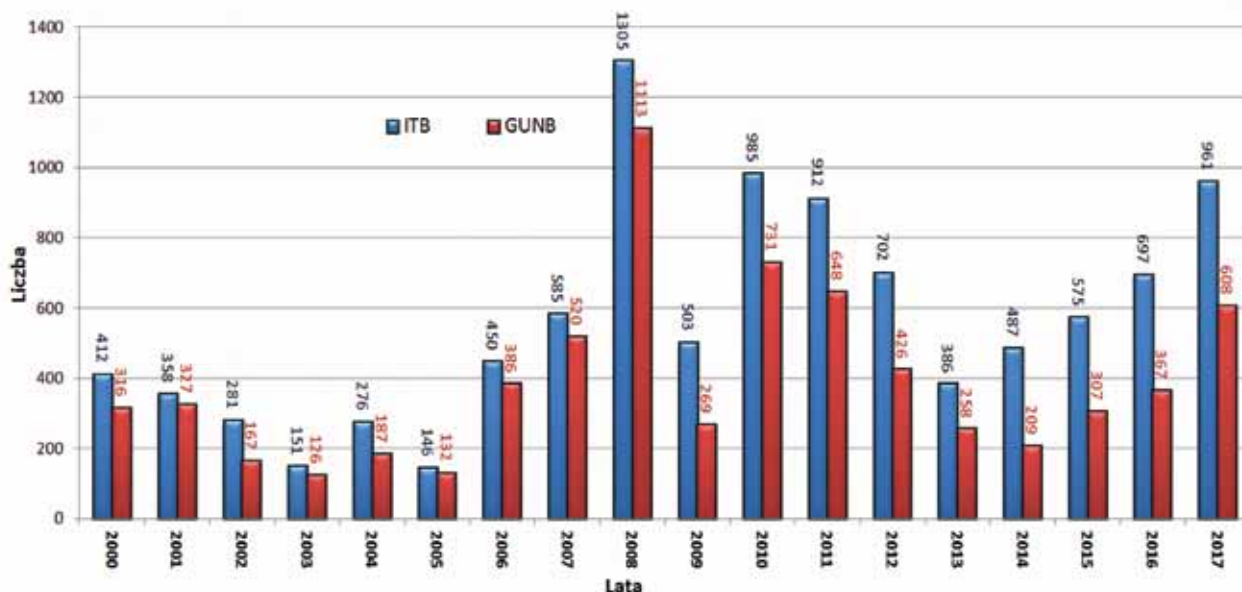
Projektowanie konstrukcji budowlanych zalicza się do procesów trudnych i odpowiedzialnych i z reguły prowadzone jest z wykorzystaniem polskich norm. Mogą tu być wykorzystywane eurokody, tj. grupa norm europejskich (EN) dotyczących projektowania konstrukcji budowlanych, wprowadzonych 1 kwietnia 2010 r. do zbioru polskich norm lub – zgodnie z [19] – PN-B z tego zakresu, którym nadano już status norm wycofanych [5]. Należy zwrócić uwagę, że wycofanie PN-B z zbioru norm aktualnych oznacza, że normy te nie podlegają żadnym pracom normalizacyjnym, czyli prezentują stan wiedzy z chwili ich opracowania.

Obie grupy norm, czyli PN-EN oraz PN-B, stosują koncepcję stanów granicznych w połączeniu z metodą współczynników częściowych. Oznacza to, że każda konstrukcja powinna spełniać zarówno stany graniczne nośności, jak również stany graniczne użyteczności.

Projekty budowlane będące jednymi ze składników dokumentacji budowlanej powinny być przygotowywane ze szczególną starannością, gdyż jak powszechnie wiadomo, czym projekty są lepsze, tym mniej jest poprawek i uzupełnień dokumentacji na etapie realizacji inwestycji. Aby projekty były dobrze opracowane, wymagają m.in. sprawdzenia i weryfikacji. Takie wymaganie wynika również z ustawy Prawo budowlane, gdzie w art. 20 ust. 2 nałożono na projektantów obowiązek zapewnienia sprawdzenia projektów architektoniczno-budowlanych pod względem zgodności z przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, przez osoby posiadające uprawnienia budowlane do projektowania bez ograniczeń w odpowiedniej specjalności lub rzeczoznawców budowlanych [14].

Sprawdzenie projektów niezbędne jest nie tylko w celu weryfikacji i usunięcia zamierzonych lub akceptowanych przez projektantów niezgodności z przepisami, lecz także ze względu na eliminację błędów i pomyłek, które – jak wykazuje praktyka – może zawierać każdy projekt.

Ustawa Prawo budowlane nie precyzuje jednak żadnych warunków ograniczających zależności służbowe pomiędzy projektantami i sprawdzającymi projekty oraz określających zakresy takich sprawdzeń. Oczywiście wskazane jest, aby były to tzw. strony trzecie, zapewniające niezbędne, realne niezależności i bezstronności osób sprawdzających projekty.



Rys. 1. Liczba zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych w Polsce w latach 1997–2017

Zapewnienie żądanego poziomu właściwości użytkowych obiektów budowlanych przez cały okres ich istnienia można osiągnąć przez stosowanie odpowiednich działań kontrolnych. Działania te powinny być prowadzone na każdym etapie „życia” obiektów. Opis metod i procedur kontroli stanowi przedmiot normy PN-ISO 15686-3 [18].

Według eurokodów wymagania dotyczące sprawdzenia obliczeń, rysunków i specyfikacji zostały uzależnione od przyjętych poziomów nadzorów przy projektowaniu i wykonywaniu, co z kolei zależy m.in. od klasy niezawodności RC projektowanych obiektów. Wymagania w tym zakresie podane są w PN-EN 1990 [17].

Norma PN-EN 1990 zaleca – w celu wykonania konstrukcji obiektów, odpowiadającej wymaganiom i założeniom przyjętym w projekcie – podjęcie odpowiednich środków zarządzania jakością, do których zalicza się również kontrole w stadium projektowania, wykonania i utrzymania. Kontrole te zależą od klas niezawodności RC, uwzględniających zróżnicowane wartości współczynników obciążenia, stosowanych w kombinacjach podstawowych lub stałych [6]. Przyjętym klasom niezawodności obiektów RC powinny odpowiadać określone poziomy inspekcji w trakcie wykonania obiektów. Przy wyborze klasy niezawodności dla poszczególnych obiektów budowlanych zaleca się uwzględnianie istotnych czynników obejmujących:

- możliwe przyczyny i/lub postacie stanów granicznych;
- możliwe konsekwencje zniszczenia, takie jak: zagrożenie życia, szkody, zranienie, potencjalne straty materialne;
- reakcje społeczne na zaistnienie zniszczenia;
- koszty i procedury oraz postępowanie niezbędne z uwagi na ograniczenie ryzyka zniszczenia.

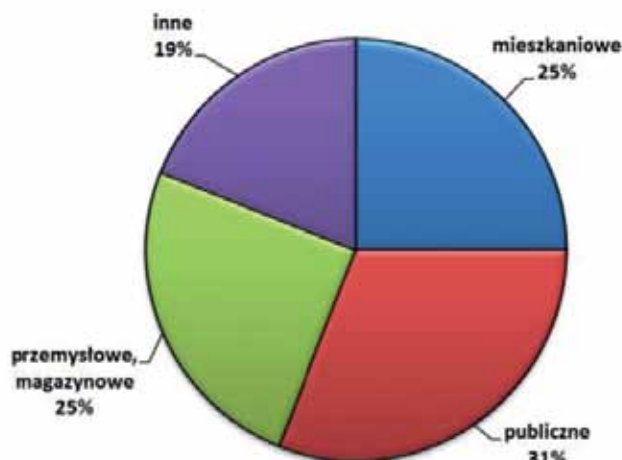
Warto w tym miejscu przypomnieć, że zróżnicowanie

wartości współczynników obciążenia stosowane jest od dawna w PN-B-02000 [16].

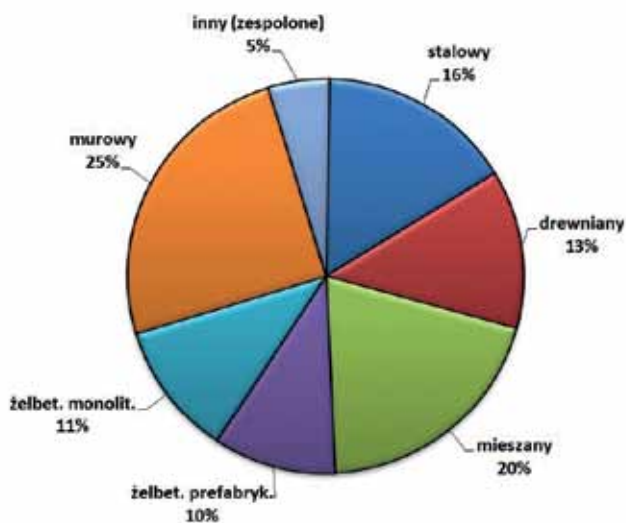
Nadzory zastrzone nad projektami, jak również inspekcje zastrzone wykonania obiektów, powinny być wykonywane przez strony trzecie.

3. Wieloletnie analizy zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych

Informacje o awariach i katastrofach obiektów budowlanych, gromadzone między innymi w Instytucie Techniki Budowlanej od 1962 r. [4–8] pozwalają na sformułowanie ogólnych wniosków dotyczących charakteru i przyczyn ich powstawania. Wnioski te mogą być wykorzystywane zarówno przy tworzeniu przepisów i zaleceń projektowych i wykonawczych, jak również do doskonalenia technik projektowania, realizacji i użytkowania obiektów budowlanych [9]. Łączną liczbę zagrożeń, awarii i katastrof, jakie miały miejsce w poszczególnych latach, według danych ITB (uwzględniających również dane zespołu rzeczoznawców PZITB i Izby Inżynierów Budownictwa) przedstawiono na rysunku 1, z zaznaczeniem liczby zgłoszeń do rejestru katastrof Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego (GUNB). Na rysunku tym widoczny jest wyraźny wzrost liczby zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych poczynając od roku 2008. Przyczyn tego wzrostu można upatrywać w obserwowanym w tym okresie zwiększeniu się liczby huraganów oraz występujących intensywnych i gwałtownych opadów atmosferycznych, które w wielu przypadkach spowodowały uszkodzenia, a często i zawalenia się szczególnie wyeksploatowanych obiektów budowlanych lub ich fragmentów. Charakterystykę oddziaływania wiatru na obiekty budowlane oraz związane z tym



Rys. 2. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych w latach 1962–2017 według podziału na rodzaje budownictwa



Rys. 3. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych w latach 1962–2017 wg podziału na technologie wykonanego obiektu

rodzaje uszkodzeń i zniszczeń przedstawiono w [15], gdzie również podano zalecenia, których zastosowanie może przyczynić się do ograniczenia szkód wyrządzanych przez wiatr. Udział katastrof w łącznej liczbie zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych szacuje się na ok. 16%.

Najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych występowało podczas eksploatacji obiektów budowlanych (w roku 2016 stanowiły 61% zarejestrowanych przypadków), a w kolejności podczas rozbiórki (20%), budowy (10%) oraz remontów (9%).

Podział obiektów, w jakich wystąpiły awarie i katastrofy, przedstawiono ze względu na:

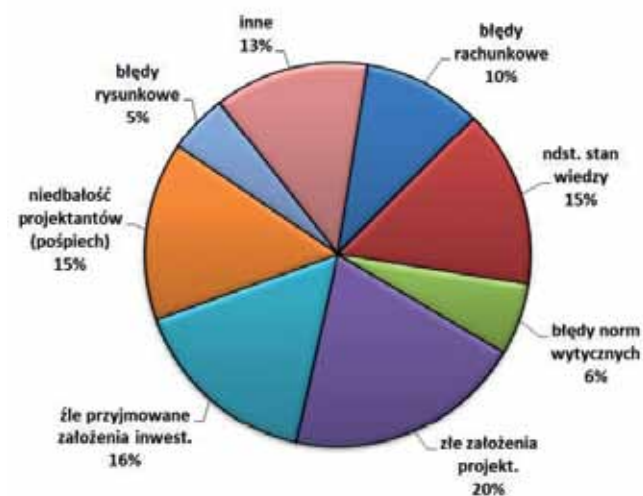
- rodzaje budownictwa – rysunek 2,
- technologie ich wykonania – rysunek 3.

Z rysunku 2 wynika, że najwięcej awarii i katastrof budowlanych dotyczyło budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej – ich łączny udział stanowił 56%. Znacznie mniej awarii i katastrof budowlanych dotyczyło obiektów przemysłowych i magazynowych.

Interesujący jest również udział technologii wykonania obiektu w całkowitej liczbie zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych – rysunek 3. Częstotliwość ich występowania w obiektach o konstrukcji żelbetowej (monolitycznej lub prefabrykowanej), murowej i mieszanej jest praktycznie taka sama – łącznie ok. 66%. Znacznie mniej zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych wystąpiło w obiektach o konstrukcji stalowej i drewnianej.

Udział błędów popełnionych podczas projektowania, wykonywania i użytkowania obiektów budowlanych w ogólnej liczbie zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych, jakie wystąpiły w 2017 r. przedstawia się następująco:

- błędy projektowe – 15%,



Rys. 4. Przyczyny projektowe występowania zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych w latach 1962–2017

- wadliwe wykonawstwo – 20%,
- błędy w trakcie rozbiórki – 13%,
- wadliwa eksploatacja – 16%,
- zły stan techniczny obiektów – 29%,
- inne – 7%.

Udział błędów projektowych popełnianych w każdym roku jest praktycznie stały w całym okresie rejestracji awarii i katastrof, tj. w latach 1962–2017, i waha się od 14 do 20%. Czynniki wpływające na powstanie błędów projektowych, stanowiących przyczyny zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych pokazano na rysunku 4. Istotnymi czynnikami – jak wynika z tego rysunku – są nieprawidłowo przyjmowane założenia inwestycyjne (16%) oraz założenia projektowe (16%).

Widoczny jest też duży udział braku wiedzy wśród projektantów (15%), co oznacza podejmowanie zadań przekraczających ich umiejętności.

4. Przyczyny techniczne powstawania zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych z powodów projektowych

Wiele zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych było wynikiem błędów popełnianych już na etapie programowania i projektowania. Dotyczy to zarówno nowych obiektów, jak i remontowanych oraz wzmacnianych konstrukcji istniejących. Do najczęściej występujących błędów projektowych można zaliczyć:

- błędne interpretacje przepisów i zaleceń norm, ocen technicznych, aprobat technicznych, wytycznych i instrukcji dla przewidywanych warunków technicznych w obiektach projektowanych, remontowanych, wzmacnianych lub modernizowanych,
- odstępstwa od norm, ocen technicznych, aprobat technicznych i wytycznych przy projektowaniu konstrukcji w warunkach nietypowych i specjalnych,
- niedostateczne lub błędne oceny podłoża gruntowych oraz aktualnych warunków wodno-gruntowych pod obiekty nowe lub modernizowane – brak aktualnych badań podłoża,
- błędne ustalenia dopuszczalnych obciążeń na grunty i dopuszczalnych osiadań dla danego rodzaju i typu konstrukcji – nowej, rozbudowywanej lub nadbudowywanej (rys. 5),
- złe rodzaje fundamentowania oraz niewłaściwe ich zaprojektowanie (bez uwzględnienia rzeczywistej współpracy konstrukcji obiektów z podłożem gruntowym, zwłaszcza przy rozbudowach, nadbudowach i wzmocnieniach),
- przyjęcie nieodpowiednich typów i modeli obliczeniowych konstrukcji obiektów budowlanych,
- błędne rozpoznanie pracy konstrukcji obiektów modernizowanych, rozbudowywanych, wzmacnianych (np. w przypadku występowania obciążeń parasejsmicznych),
- nieodpowiedni dobór materiałów i technologii wykonania obiektów,
- zła organizacja procesów projektowania obiektów,
- niedostateczne uwzględnienie opinii inwestorów i użytkowników przy realizacjach obiektów powtarzalnych lub podobnych do już wykonanych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz [4, 8] stwierdzono, że najczęściej popełnianymi błędami projektowymi, stanowiącymi przyczyny powstawania zagrożeń, awarii i katastrof było niewłaściwe projektowanie elementów stropów, dachów, ścian warstwowych, zamocowań elementów elewacyjnych do konstrukcji, sufitów podwieszanych, podłóg i dylatacji. Niedostateczna kontrola dokumentacji oraz nieprawidłowe wykonawstwo będące przyczynami ich powstawania dotyczyło głównie robót betonowych, połączeń elementów żelbetonowych i drewnianych, spajania i połączeń elementów

stalowych, rusztowań i usztywnień roboczych, izolacji wodnych i akustycznych, robót wykończeniowych i uzupełniających prowadzonych w obiektach plombowych, robót rozbiorczych i uzupełnień, remontów i modernizacji obiektów, nadbudów obiektów itp.

W czasie analiz zagrożeń, awarii i katastrof obiektów budowlanych stwierdzono występowanie błędów projektowych w liczbie od kilku do ponad 20 na obiekt.

5. Przykłady

Błędy popełniane na etapie projektowania obiektów budowlanych, nowych lub modernizowanych stanowią przedmiot wielu referatów wygłaszanych na konferencjach naukowo-technicznych i są prezentowane w literaturze technicznej. Poniżej przedstawiono wybrane, często popełniane błędy projektowe.

• Posadowienie budynku [10]

W budynku mieszkalnym wzniesionym w technologii wielkopłytowej (system W-70), wzniesionym w latach 70–80 ubiegłego wieku, wystąpiły nietypowe lokalne uszkodzenia jednego z narożników. Budynek ten to obiekt pięciokondygnacyjny, podpiwniczony, niedylatowany, trzyklatkowy, posadowiony bezpośrednio na ławach fundamentowych. W wyniku przeprowadzonych badań kontrolnych oraz analizy dokumentacji za zasadniczą przyczynę uszkodzeń uznano błędne posadowienie budynku. Jeden z narożników, w przeciwieństwie do pozostałej części budynku, został posadowiony pośrednio na soczewce silnie odkształcalnych gruntów organicznych.



Fot. Grażyna Furmańczyk-Ziemska

Rys. 5. Wieżowiec Warsaw Spire

Projektant nie uwzględnił tego faktu pomimo, że na istnienie zagrożenia wskazywało pierwotne ukształtowanie terenu z lokalnym jego obniżeniem, w którym zwykle zbierała się woda i rosła roślinność.

Pierwsze zarysowania i pęknięcia wystąpiły praktycznie z chwilą oddania budynku do użytku. Wyraźne ich nasilenie nastąpiło kilka lat później w wyniku szczególnie intensywnych opadów w roku 1997 oraz wykonania w roku następnym głębokich wykopów wzdłuż ściany szczytowej pod sieć kanalizacyjną. Prawidłowe przeprowadzenie przez projektanta rozpoznania podłoża mogłoby skutkować niewielką korektą lokalizacji projektowanego budynku lub dostosowaniem jego konstrukcji do spodziewanych nierównomiernych osiadań i uniknięciem uszkodzeń.

• Strop nad garażem w budynku mieszkalnym [11]

W budynku mieszkalnym o 12 kondygnacjach nadziemnych i 2 podziemnych kondygnacjach garażowych, o konstrukcji płytowo-słupowej, wystąpiły uszkodzenia ścian pomieszczeń na parterze. Płytę stropową nad garażem, w obszarze występujących uszkodzeń, zaprojektowano jako monolityczną o grubości 0,18 m. Nad słupami przewidziano głowice prostokątne o wymiarach 2,4×2,4 m. Głowice skonstruowano poprzez pogrubienie płyty stropowej do grubości 0,45 m. W trakcie realizacji zrezygnowano z projektowanej monolitycznej konstrukcji stropu i zastąpiono go elementami prefabrykowanymi typu Filigran. Spowodowało to zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej płyty stropowej w kierunku prostopadłym do zbrojenia podłużnego prefabrykatów. Zarysowaniom uległy ściany na parterze wykonane z cegły silikatowej oraz działowe gipsowe. Badania stropu od dołu wykazały, że w hali garażowej podwieszono do stropu dużą liczbę przewodów i rur instalacyjnych zlokalizowanych w kilku poziomach.

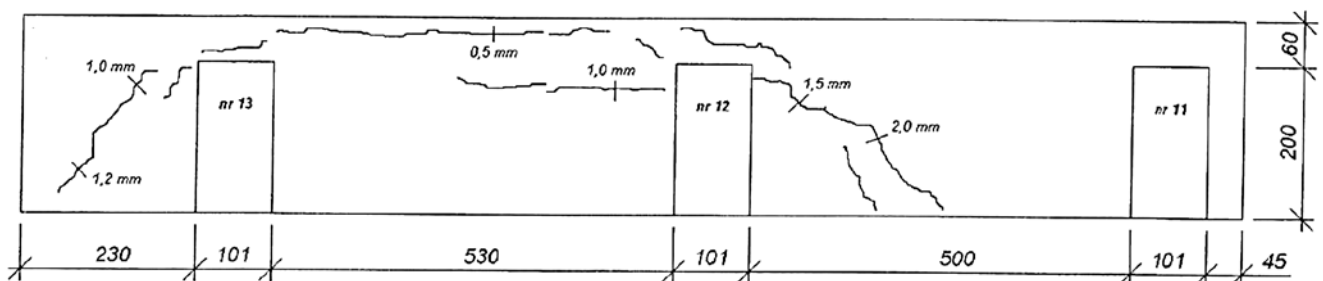
W wyniku przeprowadzonych obliczeń sprawdzających dla rzeczywistych parametrów stropu stwierdzono przekroczenie zarówno ugięć dopuszczalnych, jak i nośności płyty (ok. 30%). Zalecono odciążenie stropu poprzez rozebranie ścian silikatowych i zastąpienie ich lekkimi, systemowymi konstrukcjami ściennymi, a także przekazanie obciążeń od instalacji rurowych (podwieszonych do stropu w hali garażowej) na odpowiednio zaprojektowane wymiany.

Za bezpośrednią przyczynę stanu awaryjnego uznano błąd projektowy. Nie uwzględniono zmniejszenia wysokości obliczeniowej drugiego kierunku pracy zbrojenia ułożonego na prefabrykatach stropowych, w stosunku do założonego w projekcie dla stropu monolitycznego.

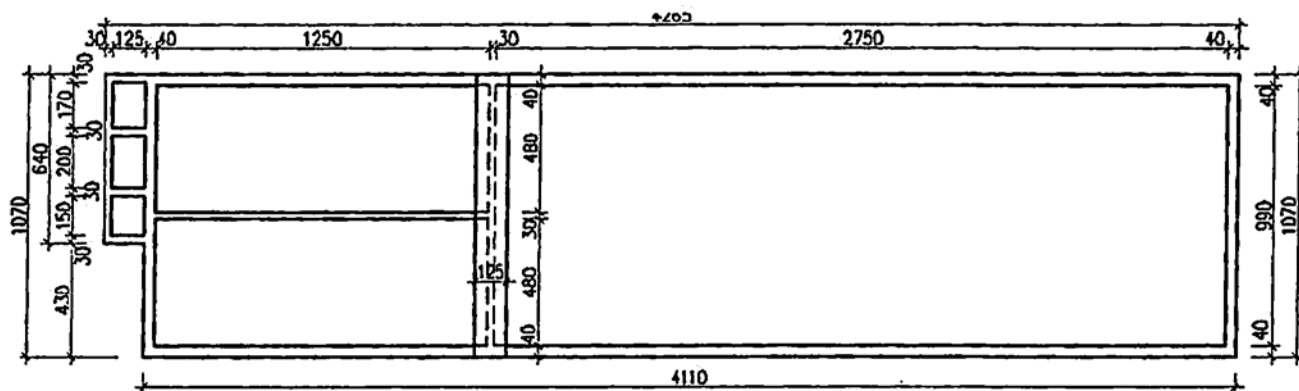
• Uszkodzenia ścian nad garażem w budynku mieszkalno-usługowym [13]

W projektowanym budynku dwupiętrowym, podpiwniczo-nym układ nośny 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. W części piwnicznej (hali garażowej) oraz parterowej (sklep spożywczy) siatkę słupów oparto na siatce kwadratowej o module 6,0×6,0 m, z wyjątkiem wjazdu do garażu i wejścia do sklepu, gdzie na obu kondygnacjach zrezygnowano z jednego słupa, dając w zamian podciąg stalowy o długości 12 m. Na poziomie I piętra wystąpiły znaczne zarysowania ściany korytarzowej (miejscowo przebiegały przez całą grubość ściany), odnawiające się po ich naprawie (rys. 6). Zarysowania drugiej ściany korytarzowej tej kondygnacji były znacznie mniej intensywne. Na poziomie II piętra najistotniejsze uszkodzenia wystąpiły w ścianie korytarzowej usytuowanej bezpośrednio nad bardziej zarysowaną ścianą korytarzową I piętra, ale o mniejszej intensywności.

Zrezygnowanie z jednego słupa w obszarze wjazdu do garażu (i powtórzenie tego rozwiązania na parterze) oraz przejście obciążeń przez podciągi stalowe było formalnie poprawne i spełniało wymagania stanu granicznego nośności. Ugięcia podciągów (podciągu nad garażem 25 mm, a nad parterem 29 mm) były również mniejsze niż standardowe ugięcia dopuszczalne wynoszące 1/300 rozpiętości, czyli w analizowanym przypadku 40 mm. Należy zwrócić uwagę, że ugięcia dopuszczalne dla podciągu stalowego okazały się zbyt duże dla ściany murowanej spoczywającej na tym podciągu. Jako środek naprawczy przyjęto odtworzenie brakujących słupów w poziomie hali garażowej i na poziomie parteru, co nie zakłócało ich użytkowania, a pozwoliło na znaczne zredukowanie ugięcia (zmniejszenie rozpiętości podciągu do połowy redukuje ugięcie sprężyste $2^4 = 16$ razy, a dodatkowa redukcja ugięcia następuje w wyniku przyjęcia schematu belki dwuprzęsłowej zamiast belki jednoprzęsłowej).



Rys. 6. Morfologia rys ściany korytarzowej I piętra [13]



Rys. 7. Schemat konstrukcji zbiornika (widok z góry)

• Uszkodzenia ścian międzymieszkaniowych [13]

W budynku murowanym trzykondygnacyjnym z częścią garażową w kondygnacji piwnicznej wystąpiły zarysowania ścian parteru. Zarysowaniu uległy ściany w mieszkaniach nad halą garażową, zwłaszcza w ścianie rozgraniczającej mieszkania. W wyniku analizy rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych stwierdzono zastosowanie ścian działowych trójwarstwowych o ciężarze $3,04 \text{ kN/m}^2$ zamiast ściany jednowarstwowej o ciężarze $1,80 \text{ kN/m}^2$. Ścianę lżejszą uwzględniono w obliczeniach jako obciążenie zastępcze równomiernie rozłożone na stropie. Przyjęcie takiego założenia w przypadku ściany trójwarstwowej byłoby nieprawidłowe. Po wzniesieniu obiektu i zauważeniu zagrożenia przeprowadzono obliczenia sprawdzające i stwierdzono maksymalne ugięcie stropu o wartości 6 mm (dopuszczalne 25 mm), ale było to ugięcie sprężyste, bez uwzględnienia zarysowania i reologii betonu. Jako środek zaradczy wskazano podparcie stropu w sposób nie utrudniający funkcjonowanie garażu.

• Otwarty wielokomorowy zbiornik żelbetowy w oczyszczalni ścieków [3]

Monolityczny trzykomorowy zbiornik żelbetowy, częściowo zagłębiony i dodatkowo obsypany gruntem (do ok. $2/3$ wysokości), otwarty, zaprojektowano z betonu B25, zbrojonego prętami ze stali AIII 34GS – rysunek 7.

Już w trakcie przekazywania zbiornika do użytkowania wystąpiły zarysowania i przecieki widoczne na zewnętrznych powierzchniach ścian. Po ich uszczelnieniu kompozytami żywicznymi zbiornik przekazano do użytkowania. Po krótkim okresie eksploatacji pojawiły się przecieki, również w zainiektowanych rysach. Na ścianach zbiornika występowały rysy pionowe o zróżnicowanej rozwartości i nierównomiernym rozstawie na długości ścian. Rozwartość rys w górnej części ścian była większa i zmniejszała się w kierunku dna zbiornika. Rysy pionowe przy narożach zbiornika przechodziły w rysy ukośne o mniejszej rozwartości.

W wyniku analiz stwierdzono, że zbrojenie ścian zbiornika nie spełniało wymagań normowych dla żelbetowych

zbiorników na cieczy, od których wymagana jest szczelność. Było to następstwem przyjęcia uproszczonych schematów statycznych i pominięciem sił osiowych w ścianach zbiornika, nie odwzorowujących rzeczywistej ich pracy oraz całkowite pominięcie oddziaływań termicznych.

• Zagrożenie popełnienia pomyłki układanego zbrojenia

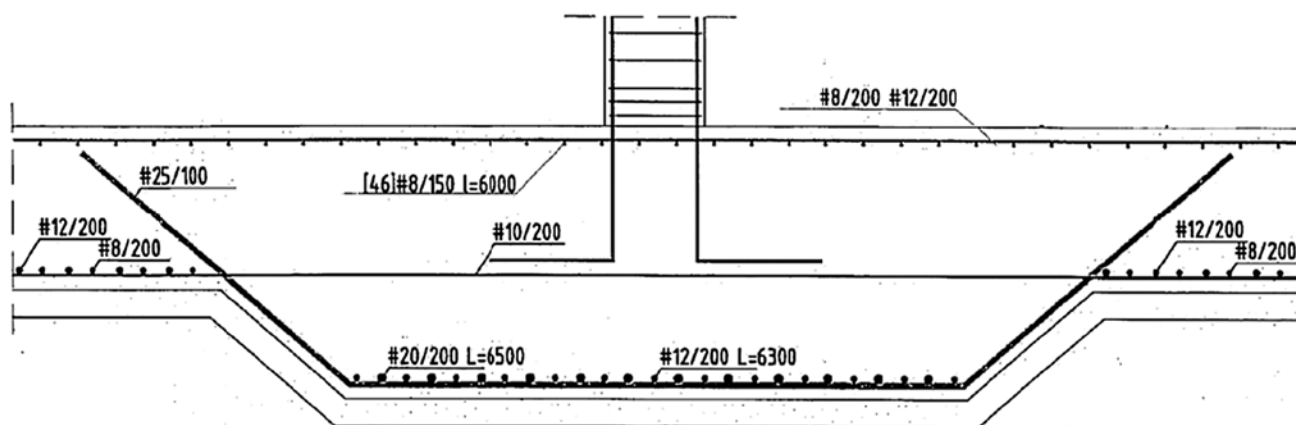
Przyjęcie w projekcie elementu żelbetowego kilku średnic zbrojenia, zwłaszcza kolejno występujących w szeregu średnic nominalnych, skutkowało pomyłkami na budowie, a w konsekwencji wystąpieniem awarii. Przykład nieprawidłowo zaprojektowanego zbrojenia płyty fundamentowej, gdzie przewidziano zastosowanie prętów o pięciu różnych średnicach pokazano na rysunku 8.

• Lekkie konstrukcje stalowe

Lekkie konstrukcje stalowe mają od wielu lat szerokie zastosowanie w budownictwie magazynowym oraz jako pawilony handlowo-usługowe. Obiekty te zazwyczaj projektowane są jako budynki wolno stojące, parterowe, niepodpiwniczone ze ścianami przeszklonymi lub warstwowymi wykańczanymi okładziną z blach. Dachy z reguły projektowane są jako lekkie konstrukcje z dźwigarami kratowymi.

Częstymi błędami popełnianymi na etapie projektowania są:

- stosowane bez szczególnej troski połączenia przegubowe dźwigarów kratowych ze słupami (bez oparcia bezpośredniego pasa górnego na słupie, np. na krótkim wsporniku); takie połączenia są niekorzystne ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji, gdyż utrata nośności zaledwie jednego połączenia dźwigara ze słupem powoduje awarię o znacznym zakresie zniszczenia konstrukcji,
- niezamieszczanie w projekcie obliczeń statycznych dla zasadniczych elementów konstrukcyjnych, zestawień obciążeń, powołań normowych oraz wskazania metod wymiarowania poszczególnych elementów,
- w projekcie wykonawczym – pomijanie zasad i wytycznych wykonania konstrukcji obiektu,



Rys. 8. Niewłaściwie zaprojektowane zbrojenie płyty fundamentowej

- przy płaskich dachach projektowanie ścian atykowych bez otworów przelewowych z małą liczbą wpustów na zamkniętej części połaci dachu (przy niedrożności odwodnienia dachu zastoiny wody mogą doprowadzić do przeciążenia konstrukcji, a w konsekwencji do awarii),
- niepodawanie grubości ścianek stosowanych profili stalowych.

6. Podsumowanie

Wiele uszkodzeń obiektów budowlanych jest wynikiem błędów popełnianych podczas programowania i projektowania konstrukcji, a niekiedy wcześniej, przy ustalania lokalizacji obiektu. Niedostateczne geotechniczne rozpoznanie podłoża pod projektowany obiekt budowlany zwykle prowadzi do występowania uszkodzeń spowodowanych nierównomiernym osiadaniem podłoża.

Przyjęcie w obliczeniach statycznych zbyt uproszczonego modelu konstrukcji, pomimo uwzględnienia wszystkich obciążeń, może prowadzić do nieprawidłowego jego zaprojektowania. Na problem ten należy zwracać szczególną uwagę przy projektowaniu obiektów o nietypowej formie. Projektowanie obiektów z wielokondygnacyjnymi częściami podziemnymi w warunkach gęstej zabudowy śródmiejskiej jest zagadnieniem bardzo złożonym, wymagającym profesjonalnego przygotowania dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika zabudowy sąsiedniej i istniejącej infrastruktury technicznej. Przed rozpoczęciem realizacji nowych budynków plombowych należy zawsze ocenić ich oddziaływanie na sąsiednie obiekty i zaprojektować odpowiednie zabezpieczenia.

Już na etapie projektowania konieczne jest wnikliwe rozpatrywanie szczegółowych wymagań użytkowych w aspekcie stanu granicznego ugięć, gdyż stosunkowo często występują zastrzeżenia dotyczące nadmiernych ugięć stropów, co skutkuje zarysowaniem spoczywających na nich ścian. Problem ten uwiadcza się w przypadkach sytuowania ścian działowych bezpośrednio na stropach, co stwarza swobodę kształtowania podziału wewnętrznego lokali mieszkalnych lub/i użytkowych [13].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kaszyńska M., Skibicki S., Awarie i katastrofy jako źródło innowacyjnych rozwiązań w budownictwie. Materiały 63. Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, Krynica, 2017
- [2] Kowalewski J., Naprawa konstrukcji żelbetonowych. Przykłady nieracjonalnych wzmocnień. Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce – Cezdyna, 2012
- [3] Krentowski J., Szelaż R., Błędy projektowe i wady wykonawcze oraz projekt i realizacja wzmocnienia trójkomorowego żelbetonowego zbiornika w oczyszczalni ścieków. Materiały XXV Konferencji Naukowo-Technicznej Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 2011
- [4] Runkiewicz L., Czynniki techniczne zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych. Temat naukowo-badawczy NK-45 (maszynopis), biblioteka ITB
- [5] Runkiewicz L. i in., Podstawy projektowania konstrukcji budowlanych, Polcen, Warszawa, 2016
- [6] Runkiewicz L., Lewiński P., Monitorowanie żelbetonowych zbiorników i silosów po wzmocnieniu. Materiały z XIII Konferencji Naukowo-Technicznej Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce – Cezdyna, 2014
- [7] Runkiewicz L., Lewiński P., Eksploatacja silosów z betonu sprężonego wzmocnionych po awariach. Materiały z XIV Konferencji Naukowo-Technicznej Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce – Cezdyna, 2016
- [8] Runkiewicz L., Wierzbicki S., System zbierania informacji technicznych o katastrofach i awariach budowlanych. Materiały z X Konferencji Naukowo-Technicznej Problemy Rzeczoznawstwa Budowlanego, Warszawa – Miedzeszyn, 2008
- [9] Runkiewicz L., Siczkowski J., Wnioski techniczne wynikające z zagrożeń, awarii i katastrof dla rzeczoznawców budowlanych. Materiały XIV Konferencji Naukowo-Technicznej Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce – Cezdyna, 2016
- [10] Sękowski J., Sternik K., Uszkodzenia budynku mieszkalnego w następstwie błędów w jego posadowieniu. Materiały z XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 2007
- [11] Słówek G., Scigała J., Błędy projektowe w analizie stropu płaskiego jako przyczyny stanu przedawaryjnego. Materiały z XXV Konferencji Naukowo-Technicznej Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 2011
- [12] Thomas H. McKaig, Katastrofy i awarie budowlane. Przykłady z budownictwa amerykańskiego w latach 1890–1960. Arkady, Warszawa, 1968
- [13] Wesołowski M., Awarie w budynkach spowodowane błędnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, Przegląd Budowlany 6/2017
- [14] Zieleniewski St., Siczkowski J., Kontrola projektu i nowa struktura przepisów techniczno-budowlanych, Przegląd Budowlany 6/2008
- [15] Żurański J. A., Gaczek M., Fiszler S., Sposoby ograniczania szkód wyrządzonych przez wiatr. Materiały z XXV Konferencji Naukowo-Technicznej Awarie budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 2011
- [16] PN-B-02000 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości
- [17] PN-EN 1990 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
- [18] PN-ISO 15686-3 Budynki i budowle. Planowanie okresu użytkowania. Cz. 3: Audyty i przeglądy właściwości użytkowych
- [19] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2015 r., poz. 1422)