

# **Zabezpieczanie konstrukcji budynków przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych**

**Anna Dąbek, Natalia Dyś, Katarzyna Wyszyńska,  
Ilona Zaniuk, Jerzy Szaferafin**

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Lubelska, e-mail: j.szaferafin@pollub.pl*

**Streszczenie:** Zgodnie z wymaganiami normowymi, obiekty budowlane powinny być projektowane z uwzględnieniem ich zabezpieczenia przed skutkami obciążeń wyjątkowych, takich jak np. wybuch gazu czy uderzenie samochodem. Istniejące przepisy są w dużej mierze niejednoznaczne i dość enigmatyczne, brak jest również opracowań literaturowych szerzej opisujących to zagadnienie. W artykule przedstawiono podstawowe zasady projektowania budynków żelbetowych z uwzględnieniem zapisów normy PN-EN 1991-1-7:2008. Zaprezentowano wyniki obliczeń i ich analizę dla przykładowego stropu płaskiego, którego konstrukcja spełnia wymogi zabezpieczenia przed wystąpieniem zjawiska katastrofy postępującej.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje żelbetowe, strop płaski, obciążenia wyjątkowe.

## **1. Wstęp**

Bombowe zamachy terrorystyczne, wybuchy gazu w budynkach czy uderzenia w elementy konstrukcyjne budynków podczas wypadków drogowych i lotniczych przyczyniły się do śmierci wielu ludzi w wyniku katastrof budowlanych. Wzrost świadomości społecznej w kwestii bezpieczeństwa wymógł konieczność projektowania obiektów budowlanych na obciążenia wyjątkowe, tak by ograniczyć skutki ich działania, zakładając ewentualnie możliwość uszkodzenia jedynie stosunkowo niewielkiej powierzchni obiektu a wykluczając zniszczenie całego budynku.

Podstawowym dokumentem jest norma PN-EN 1991-1-7:2008 [9], w której zawarto zasady klasyfikacji budynków pod względem bezpieczeństwa oraz podstawowe reguły zabezpieczenia budynków przed działaniem obciążeń wyjątkowych. Obecnie trwają prace nad opracowaniem metod minimalizujących skutki wystąpienia obciążeń wyjątkowych, prowadzone także i w Polsce. W dalszym ciągu jednak dostępne dane literaturowe są mało wyczerpujące. W niniejszym artykule przedstawiono ogólne zasady projektowania konstrukcji budynków z uwzględnieniem zaleceń normy [9] oraz efekty uwzględnienia obciążeń wyjątkowych dla przykładowego żelbetowego stropu płaskiego.

## **2. Postępujące zawalenie**

Przywołane we wstępie zdarzenia, oddziaływujące początkowo na jeden z elementów konstrukcyjnych budynku, niejednokrotnie kończyły się katastrofą całego obiektu, gdyż rozpoczynały zjawisko postępującego zawalenia. Zjawisko to

jest najgroźniejszym skutkiem zadziałania na konstrukcję obciążeń wyjątkowych gdyż początkowe uszkodzenie niewielkiego obszaru konstrukcji może przyczynić się do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej, która przekazując nieprzewidziane w obliczeniach konstrukcyjnych obciążenia uszkadza kolejne elementy konstrukcyjne obiektu.

Główne czynniki ryzyka, mogące przyczynić się do postępującego zawalenia budowli betonowych, zostały zestawione w tabeli 1.

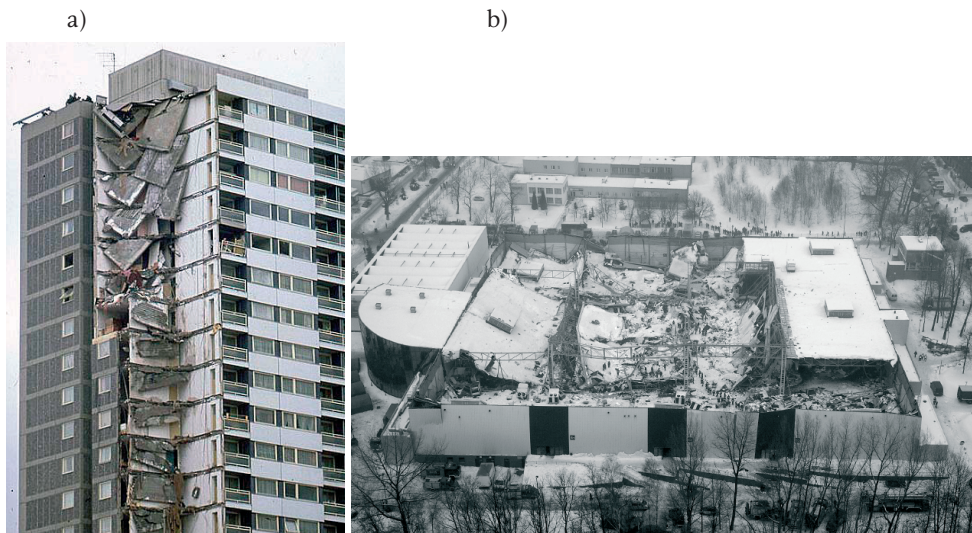
Tabela 1. Czynniki ryzyka wpływające na postępujące zawalenie konstrukcji żelbetowych i sprężonych, za Kobiela [1]

Rodzaj ustroju lub elementu nośnego	Czynniki ryzyka
Rama żelbetowa -zaprojektowana dla 1 strefy sejsmicznej wg [6] -zaprojektowana dla 4 strefy sejsmicznej wg [6]	słupy mogą mieć za małą nośność na ścinanie słupy mogą ulec rozkruszeniu w połowie wysokości
Ściana żelbetowa przejmująca obciążenia poziome	powiązanie ściany ze stropem
Strop płytowy żelbetowy	brak sztywności/ciągłości węzła wymaganego w ustrojach szkieletowych, przebiecie przez ścinanie w obrębie słupów
Rygle/podciągi strunobetonowe i kablobetonowe oparte na stalowych lub żelbetowych słupach	brak ciągłego połączenia elementów
Ściana nośna: -zbrojona -niezbrojona -o znacznej grubości	braki w ciągłości może ulec rozkruszeniu lub rozdrobnieniu niepewność co do dopuszczalnej strefy uszkodzenia

Zapobieganie zjawisku postępującego zawalenia się konstrukcji, możliwe jest dzięki wytworzeniu się wtórnego ustroju nośnego. Podczas projektowania zaleca się przyjąć jedną z metod projektowych: bezpośrednią lub pośrednią, które dokładniej opisane zostaną w podpunkcie 4 niniejszego opracowania.

Przykładem zjawiska postępującego zawalenia jest np. katastrofa budynku mieszkalnego w Ronan Point w Anglii (Rys. 1a), w którym w mieszkaniu na 18 piętrze 23-kondygnacyjnego prefabrykowanego, żelbetowego budynku wybuchł gaz. Eksplozja wyrzuciła na zewnątrz fragment zewnętrznej ściany nośnej, w wyniku czego 5 powyżej położonych pięter uległo zawaleniu, niszcząc dolne kondygnacje. W przypadku głośnej w Polsce katastrofy budowlanej hali w Chorzowie z 2006r. (rys. 1b), wystąpił efekt postępującego zawalenia konstrukcji w wyniku przekroczenia nośności tylko w jednym z elementów przekrycia dachowego. W tym przypadku czynnikiem sprawczym nie były wprawdzie obciążenia wyjątkowe, jednak o rozmiarach katastrofy zadecydował brak możliwości wytworzenia się ustroju wtórnego w konstrukcji, zdolnego do częściowego przejęcia funkcji uszkodzonych elementów.

Skutki tych katastrof są niewspółmierne do kosztów, które należy ponieść w celu odpowiedniego zaprojektowania i zabezpieczenia konstrukcji na działanie obciążeń wyjątkowych, dlatego należy dążyć do udoskonalania metod projektowania w sferze takich oddziaływań, a przede wszystkim odpowiednio je wykorzystywać przy projektowaniu obiektów.



Rys. 1. Skutki katastrof postępujących: a) budynek mieszkalny w Ronan Point (fot. wyk. przez Derek Voller: [www.geograph.org.uk](http://www.geograph.org.uk)), b) hala Międzynarodowych Targów Katowickich w Chorzowie [3].

W dalszej części artykułu przedstawiono metody uwzględniania obciążeń wyjątkowych w zależności od rodzaju zdarzenia wywołującego.

### 3. Metody zabezpieczania obiektów

W niniejszym opracowaniu skupiono się na zagadnieniu konstruowania ustrojów szkieletowych. Takie konstrukcje narażone są na uszkodzenie w następstwie utraty jednego z elementów składowych tzn. belki, słupa lub płyty stropowej. Przyступając do projektowania konstrukcji ramowych w celu zabezpieczenia ich przed działaniem obciążeń wyjątkowych, *Kobielak i Tatko* [1, 2] oraz *Starosolski* [5] proponują uwzględniać następujące wymagania i warunki:

- odpowiednia wytrzymałość betonu i stali, aby sprostać wymaganiom ze względu na obciążenie wyjątkowe,
- wystarczająca sztywność do ograniczenia międzypiętrowego przechylenia,
- niezbędna ciągłość węzłów rygiel-słup do przejęcia obrotów, którym są poddane,
- możliwość wytworzenia plastycznych przegubów, w wyniku jednoczesnego działania obciążenia grawitacyjnego i obciążenia spowodowanego obciążeniem wyjątkowym,
- wystąpienie w pierwszej kolejności przegubów plastycznych w ryglach, przed pojawieniem się ich w słupach, w konstrukcji zaprojektowanej według koncepcji mocne słupy/słabe rygle,
- konieczność przeanalizowania zmiany charakteru pracy elementów składowych konstrukcji wokół elementu usuniętego, w sytuacji wystąpienia bardzo dużych odkształceń.

Jako podstawowe środki zabezpieczeń konstrukcji przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych zalecane jest:

- stosowanie stężeń poziomych na każdej kondygnacji w poziomie stropu: obwodowych oraz wewnętrznych w dwóch prostopadłych kierunkach, w sposób zapewniający bezpieczne związanie słupów i ścian z konstrukcją budynku. Mają one uniemożliwić oderwanie i przemieszczenie się pionowych elementów nośnych. W każdej z norm [9], [10] czy [7] wymagane jest projektowanie stężeń na przeniesienie nieco innej siły, przy czym są one co do wartości zbliżone. Jednakże, jak słusznie zauważono w [5], żadna z nich nie precyzuje ściśle, gdzie zaprojektować należy zbrojenie stężające;
- zabezpieczenie strefy przypodporowej poprzez uciąglenie zbrojenia nad słupem, tak by w momencie pojawienia się obciążeń wyjątkowych mogło się ono jedynie urwać a nie wyrwać. Zgodnie z normą [10] bez względu na sposób obliczenia zbrojenia w płycie wymagane jest zastosowanie minimum dwóch prętów dolnych przeprowadzonych w sposób ciągły przez słup na każdym kierunku;
- prawidłowe zabezpieczenie strefy przęsłowej i podporowej w ustrojach płytowo – słupowych. Zgodnie z sugestiami przedstawionymi przez *Starsolskiego* [5], w sytuacji zastosowania jako rodzaj zabezpieczenia układów ciągnowych, szczególną uwagę należy skierować na sposób układania zbrojenia. W strefie przęsłowej na samym dole powinno się znaleźć zbrojenie przechodzące ponad słupami, a dopiero powyżej pozostałe zbrojenie dolne. W tym przypadku aby nie zwiększać niepotrzebnie grubości otuliny należy odgiąć zbrojenie jednej warstwy. Ponieważ nie jest to szczególnie łatwe rozwiązanie, częściej stosuje się zbrojenie krzyżowe w dwóch warstwach, co z kolei wiąże się z ryzykiem utraty nośności zbrojenia w jednym kierunku w sytuacji odprysnięcia otuliny. Z uwagi na taką możliwość zaleca się takie projektowanie zbrojenia, by uwzględnić przekaz obciążeń wyłącznie na ciągna jednego kierunku.

#### 4. Zasady projektowania budynków ze względu na postępujące zawalenie

Do obciążeń wyjątkowych zaliczamy między innymi uderzenia pojazdów, wybuchy wewnętrzne gazu, błędy ludzkie czy też najbardziej niebezpieczne bombowe zamachy terrorystyczne. Każde z tych obciążeń jest obciążeniem dynamicznym, dlatego też w każdym przypadku należy założyć nieliniową odpowiedź konstrukcji. Zniszczenia miejscowe są dopuszczalne jedynie pod warunkiem, że nie zagrażają one stateczności oraz nośności całej konstrukcji i istnieje możliwość podjęcia akcji ratowniczej. W rozumieniu działań ratowniczych dla konstrukcji wspomniana norma przytacza bezpieczną ewakuację z budynku i jego otoczenia.

Strategie, które dotyczą wyjątkowych sytuacji obliczeniowych można opierać na klasach konsekwencji zniszczenia wg normy [9], w której wyróżnia się:

**Klasę konsekwencji CC1** (niskie konsekwencje zniszczenia) – w przypadku tej klasy nie są konieczne żadne szczególne rozważania co do działania obciążeń wyjątkowych, muszą być jedynie spełnione ogólne zasady stateczności oraz warunki wymienione w normach konstrukcyjnych. Zaliczane są tu przede wszystkim domy prywatne nieprzekraczające 4 kondygnacji oraz budynki rolne.

**Klasę konsekwencji CC2** (średnie konsekwencje zniszczenia) – rozpatruje się określone okoliczności dla konkretnej konstrukcji i w zależności od nich przyjmuje się uproszczoną analizę na podstawie modeli oddziaływania równoważnego lub stosuje projektowanie normatywne i reguły szczegółowe. W przypadku klasy CC2 rozróżnia się dwie grupy:

- CC2a - grupa niższego ryzyka (np. hotele, biura, budynki mieszkalne nieprzekraczające 4 kondygnacji, jednokondygnacyjne budynki oświatowe, budynki przemysłowe do 3 kondygnacji itp)
- CC2b - grupa wyższego ryzyka (jw. ale w zakresie 4-15 kondygnacji, szpitale, część budynków publicznych, parkingi do 6 kondygnacji itp)

**Klasę konsekwencji CC3** (wysokie konsekwencje zniszczenia) – rozpatrywany przypadek badany jest w zakresie poziomu niezawodności i potrzeby przeprowadzania analiz konstrukcyjnych. Może zaistnieć konieczność przeprowadzenia analizy ryzyka, jak również wykorzystanie bardziej szczegółowych i udoskonalonych metod jak analiza dynamiczna czy też interakcja między obciążeniem a konstrukcją.

Wyróżnia się dwa rodzaje metod projektowania: metody pośrednie i bezpośrednie. Metoda pośrednia to metoda więzi łączących, natomiast do metod bezpośrednich zaliczamy metodę ścieżki zastępczej i elementu kluczowego.

Zasady tych metod oparte są na przesztynieniu konstrukcyjnym, zapewnieniu minimalnego poziomu ciągłości czy też ciągłości odpowiednich elementów nośnych w konstrukcji. Najczęściej stosowaną jest metoda więzi łączących. Przytaczana jest ona między innymi w amerykańskich wytycznych [6]. Wytyczne dla budynków żelbetowych oparte są na normie brytyjskiej, wprowadzono je także do Eurokodów. Metoda ta polega na wytworzeniu w ustroju nośnym budynku więzi, które łączą poszczególne jego elementy nośne. Taki ustrój możemy osiągnąć poprzez zapewnienie ciągłości zbrojenia oraz ciągłości konstrukcji. Głównym zadaniem tych więzi jest ułatwienie redystrybucji sił wewnętrznych w momencie uszkodzenia jednego z elementów nośnych konkretnego budynku. Jako łączone elementy wykorzystywane są typowe rozwiązania konstrukcyjne, projektowane według standardowych procedur. Prawidłowe zastosowanie powyższej metody sprawia, że w efekcie zniszczenia jednego z elementów konstrukcji, powstaje alternatywny ustrój nośny, co zapewnia budynkowi ochronę przed postępującym zawaleniem.

Metoda ścieżki zastępczej jest dopuszczalna przez normę [9] jako alternatywna do metody więzi łączących. Istotą metody jest poddanie analizie zachowanie się budynku w konsekwencji usunięcia jednego z głównych elementów nośnych. Analiza jest przeprowadzana dla różnych lokalizacji wybranego elementu. Lokalizacje te w [6] zaleca rozszerzać na każdą kondygnację, natomiast norma [9] nakazuje przeprowadzenie takich analiz dla każdej kondygnacji i dla każdego słupa, każdej belki podpierającej słup lub dla każdego fragmentu ściany nośnej budynku.

W metodzie elementu kluczowego typowany jest element nośny, którego zniszczenie może spowodować przekroczenie dopuszczalnego zakresu zniszczeń. Element taki zgodnie z normą [9] musi być zaprojektowany na przeniesienie obciążenia  $34\text{kN/m}^2$  działające na niego w dowolnym kierunku.

W obliczeniach przyjmuje się obciążenia wynikające z kombinacji oddziaływań dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Wartości współczynników  $\psi_{1,1}$  i  $\psi_{2,1}$  dobiera się na podstawie normowej tablicy A1.1 [8], natomiast wyboru pomiędzy nimi dokonuje się odpowiednio do miarodajnej sytuacji obliczeniowej.

Przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności w sytuacji wyjątkowej, można stosować podane w Załączniku Krajowym do normy [10] zmniejszone wartości współczynników materiałowych dla betonu ( $\gamma_c = 1,2$ ) i stali ( $\gamma_s = 1,0$ ).

## 5. Przykład obliczeniowy

Konsekwencje wymogu uwzględniania w projektowaniu obciążeń wyjątkowych prześledzono na przykładzie żelbetowego budynku o konstrukcji szkieletowej ze stropami płaskimi, którego schemat konstrukcyjny przedstawiono na rys. 2. Założono klasę konsekwencji CC2b typową dla dużej grupy obiektów, takich jak większość budynków oświatowych, szpitali, biurowców czy parkingów wielopiętrowych. Konstrukcja powinna zostać tak zaprojektowana, aby uszkodzenie dowolnego ze słupów na kondygnacji nie spowodowało zawalenia się stropu o powierzchni większej niż dopuszczalny zasięg uszkodzenia miejscowego, który w normie [9] został określony jako 15% powierzchni podłogi. W analizowanym przykładzie oznacza to powierzchnię ok. 50m<sup>2</sup>, odpowiadającą wielkości dwóch pól płyty łącznie.

Do obliczeń stropu przyjęto:

- obciążenie stałe (łącznie z ciężarem płyty)  $g_k = 6,5 \text{ kN/m}^2$ ,
- obciążenie zmienne  $q_k = 4,25 \text{ kN/m}^2$ .

W sytuacji eksploatacyjnej obciążenie obliczeniowe po zastosowaniu bardziej niekorzystnej kombinacji obciążeń (zalecanej w [8]) wyniosło

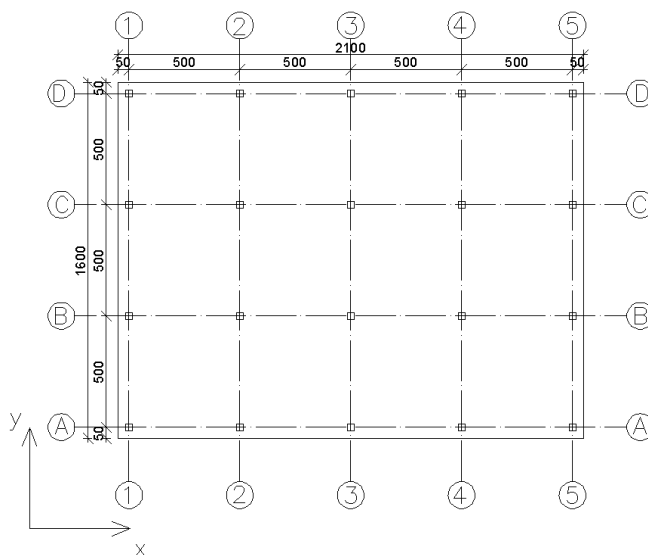
$$p_{eks} = g_k \cdot \gamma_G \cdot \xi + q_k \cdot \gamma_Q = 13,9 \text{ kN/m}^2, \quad (2)$$

natomiast w sytuacji wyjątkowej płytę obliczano pod obciążeniem

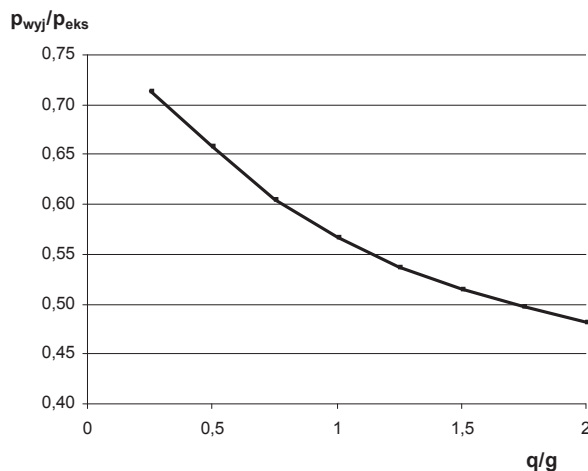
$$p_{wyj} = g_k + q_k \cdot \psi_1 = 8,7 \text{ kN/m}^2. \quad (3)$$

Warto zauważyć, że zgodnie z powyższymi kombinacjami, obciążenie przyjmowane do wymiarowania w sytuacji poawaryjnej jest zawsze mniejsze niż w sytuacji eksploatacyjnej, przy czym różnica zależy od poziomu obciążeń zmiennych w stosunku do stałych, jak przedstawiono na z rys. 3.

Obliczenia statyczne przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego. W wyniku usunięcia słupa nośnego następuje zmiana rozkładu sił wewnętrznych w płycie, charakteryzująca się przede wszystkim powstaniem rozciągania dolnych włókien w płycie nad usuwanym słupem oraz zwiększeniem momentów zginających ponad słupami znajdującymi się w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca awarii, co zilustrowano na rys. 5 i 6. Wzrost wartości momentów nadpodporowych okazuje się stosunkowo niewielki, na co wpływ ma mniejsza wartość obciążenia przyjmowana w sytuacji wyjątkowej.



Rys. 2. Schemat konstrukcyjny stropu płaskiego w analizowanym budynku.

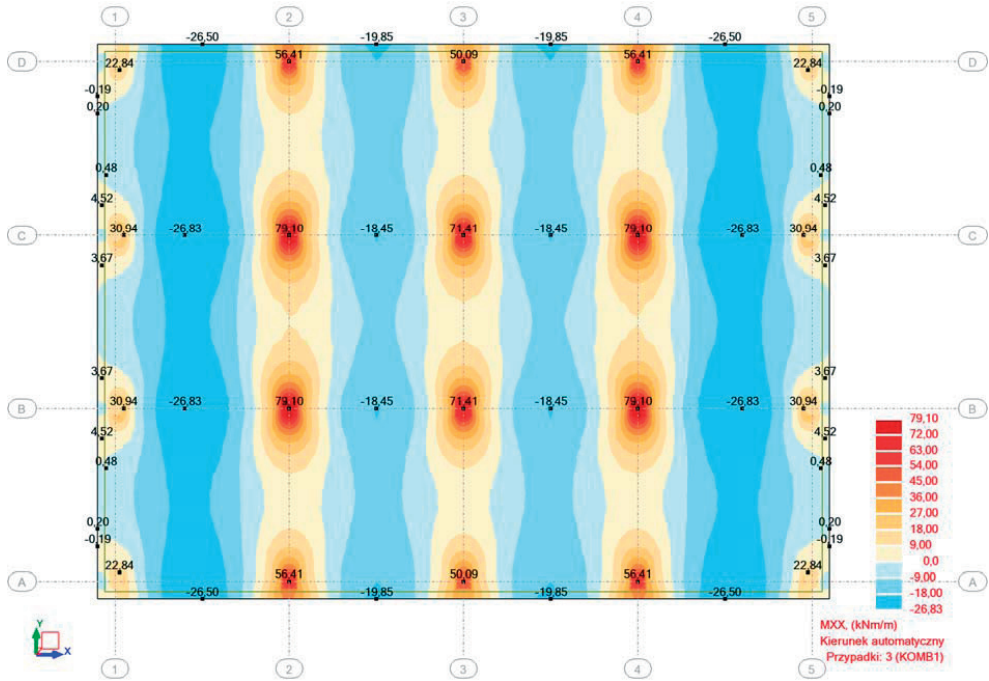


Rys. 3. Relacja obciążeń obliczeniowych przyjmowanych w sytuacji eksploatacyjnej i wyjątkowej.

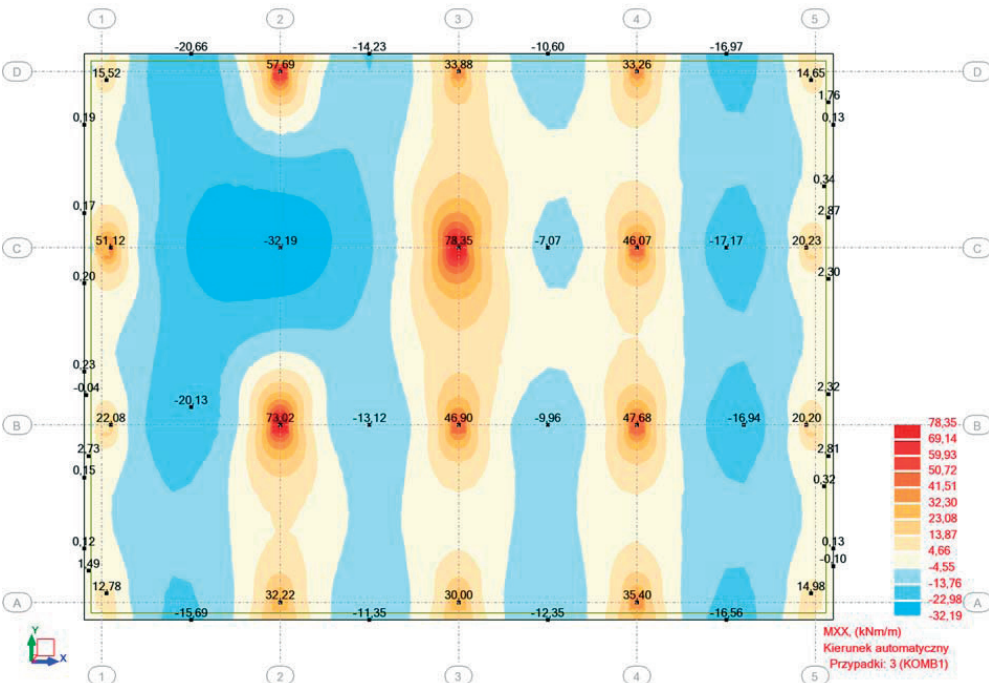
Rozważając pracę konstrukcji z uwzględnieniem obciążeń wyjątkowych należy wziąć pod uwagę możliwość awarii dowolnego ze słupów, co w efekcie wiąże się z koniecznością wielokrotnego powtarzania obliczeń, aby uzyskać najbardziej niekorzystne wartości sił wewnętrznych we wszystkich punktach płyty stropowej.

Przy założeniu niedopuszczenia do zawalenia się jakiegokolwiek fragmentu stropu, można przyjąć koncepcję odpowiedniego wzmocnienia płyty w miejscach, gdzie nastąpił wzrost wartości sił wewnętrznych. Biorąc pod uwagę rys. 4 i 5, sposób ten wiązać się będzie z częściowym dozbrojeniem pasm słupowych górą oraz uciążleniem i ewentualnie również zwiększeniem ilości zbrojenia dolnego w tych strefach.

W tab. 2 zamieszczono przykładowe wyniki obliczeń ilości stali zbrojeniowej niezbędnej w sytuacji eksploatacyjnej oraz wyjątkowej, w strefie jednego z centralnych słupów analizowanego przypadku.



Rys. 4. Sytuacja eksploatacyjna. Mapa momentów zginających  $M_x$



Rys. 5. Sytuacja wyjątkowa. Mapa momentów zginających  $M_x$  po usunięciu słupa C2



Tabela 2. Wyniki obliczeń ilości zbrojenia przy słupach B3 i C3

strefa (szerokość)	zbrojenie dla kie- runku x	schemat	sytuacja eks-	sytuacja
			ploacyjna $A_{s,req}$	wyjatkowa $A_{s,req}$
			[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]
$a$ (1,25m)	dolne		2,17	1,91
$b$ (1,25m)	dolne		1,8	1,27
$a_1$ (0,625m)	górne		8,91	8,83
	dolne		-	5,74
$a_2$ (0,625m)	górne		4,32	4,29
	dolne		-	2,8
$b$ (1,25m)	górne		2,13	2,12
	dolne		-	1,4

Jak wynika z zestawionych danych obliczeniowych, w strefie słupów centralnych konieczne jest umieszczenie dodatkowego zbrojenia dolnego w paśmie słupowym. Zakładając, że zbrojenie dolne ze strefy „a” w całości zostanie doprowadzone do słupa, należy umieścić w strefach „a1” i „a2” dodatkowe pręty o łącznym przekroju 2,36 cm<sup>2</sup>/m. W przybliżeniu oznacza to dwukrotne zagęszczenie tego zbrojenia (w obu kierunkach). Ponadto, jak wynika z porównania rys. 4 i 5, dozbrojenia górą przekroju wymagają również słupy skrajne.

## 6. Wnioski

Wyniki obliczeń statycznych przykładowego stropu płaskiego wskazują na fakt, że wzrost wartości sił wewnętrznych w sytuacji wyjątkowej obejmuje jedynie rejony płyty bezpośrednio sąsiadujące z założonym miejscem awarii, a więc zasięg miejscowych zniszczeń nie powinien przekraczać wielkości dopuszczalnej, ustalonej w normie [8]. Jednak w analizowanym przypadku można uzyskać pełniejszy sposób zabezpieczenia stropu, wiążący się głównie z dozbrojeniem dołem stref podparcia płyty na słupach, co oznacza jednakże wyższy koszt wykonania konstrukcji. Decyzja o stopniu zabezpieczenia konstrukcji budynku przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych wynikać więc powinna nie tylko z konieczności spełnienia wymogów normowych, ale również z indywidualnych ustaleń pomiędzy projektantem a inwestorem. W przypadku niektórych inwestycji, takich jak np. budynki oświatowe, społeczne skutki (dopuszczalnego normowo) zawalenia się fragmentu stropu mogłyby okazać się wyższe, niż to wynikałoby z przyjęcia przewidzianej normowej klasy konsekwencji.

## Literatura

- [1] Kobielał S. *Współczesne betonowe budowle ochronne*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2005.
- [2] Kobielał S., Tatko R. *Metody projektowania budynków żelbetowych o zwiększonej odporności na obciążenia wyjątkowe*. Czasopismo Techniczne B Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej nr 2-B/2007.

- [3] Mendera Z. *Analiza przyczyn katastrofy hali wystawowej w Katowicach*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje budowlane”, Szczecin Międzyzdroje, 2007.
- [4] Moore D.B. *The UK and European Regulations for Accidental Actions*. 2002.
- [5] Starosolski W. *Zabezpieczenie ustrojów żelbetowych przed obciążeniami wyjątkowymi*. Materiały seminaryjne, 2012.
- [6] Unified Facilities Criteria (UFC): *Design of buildings to Resist Progressive Collapse*. Department of Defense USA, UFC 4-023-03, 25 January 2005.
- [7] PN-B-03264:2002. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [8] PN-EN 1990. *Podstawy projektowania konstrukcji*.
- [9] PN-EN 1991-1-7. *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-7: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wyjątkowe*.
- [10] PN-EN 1992-1-1. *Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.

## **Protection of constructions of the buildings against accidental actions**

**Anna Dąbek, Natalia Dyś, Katarzyna Wyszyńska,  
Ilona Zaniuk, Jerzy Szerafin**

*Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, e-mail: j.szerafin@pollub.pl*

**Abstract:** In accordance with the requirements of construction standards, building structures should be designed taking into account their protection against accidental actions, such as gas explosions or car accidents. The current standards are largely inconclusive and quite enigmatic, there is also a deficiency in literature studies describing the issue. The article presents the basic procedures of design of the reinforced concrete buildings, including the requirements of the PN-EN 1991-1-7:2008 and the results of the calculations and analysis for a sample flat slab, whose structure meets the requirements of protection against the phenomenon of progressive collapse.

**Keywords:** reinforced concrete structures, flat slab, accidental actions.