XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Międzyzdroje 24-27 maja 2011
awarie budowlane 2011

JACEK ŚLUSARCZYK, *jaceks@tu.kielce.pl*
ARTUR WÓJCICKI, *wojcickia@wp.pl*
Politechnika Świętokrzyska

SKUTKI WYBUCHU GAZU W BUDYNKU O KONSTRUKCJI ŻELBETOWEJ WIELKOPŁYTOWEJ

THE EFFECTS OF A GAS EXPLOSION IN LARGE-PANEL PRECAST REINFORCED CONCRETE BUILDING

Streszczenie W referacie przedstawiono przypadek awarii budynku spowodowanej wybuchem gazu w jednym z mieszkań. Budynek został wykonany jako sześciokondygnacyjny z trzema klatkami schodowymi. Konstrukcja ścian prefabrykowana z wielkopłytowych elementów żelbetowych. Wybuch nastąpił w mieszkaniu najwyższej kondygnacji skrajnej klatki schodowej. Przedstawiono skutki obciążenia konstrukcji budynku nadciśnieniem wewnętrznym powstałym po wybuchu.

Abstract Consequences of a gas explosion in one of the flats of the building were presented in this paper. The building had been build from a large-panel prefabricated concrete (main walls), as a six-storey with three stairwells. The explosion took place in one of the flats at the highest storey of the building. The flat was just to the left side of a stairwell. The effects of the loading caused by the explosion were researched and presented in this paper.

1. Wprowadzenie

Eksploatowany obiekt budowlany może zostać poddany oddziaływaniu nie przewidzianemu jednoznacznie przy wymiarowaniu konstrukcji. W warunkach użytkowania jako sytuacji trwałej spektrum klasycznych obciążeń jak i właściwy sposób ich uwzględniania są znane. Nie jest prostym zadaniem, natomiast, wyznaczanie sił wewnętrznych w sytuacjach wyjątkowych typu eksplozja, pożar, lokalne uszkodzenie. Ponadto racjonalność i ekonomia rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych skłania do zastąpienia warunków nośności wymaganiem zaprojektowania konstrukcji w taki sposób, aby nie uległa uszkodzeniom nieproporcjonalnym do wywołującej jej przyczyny [1].

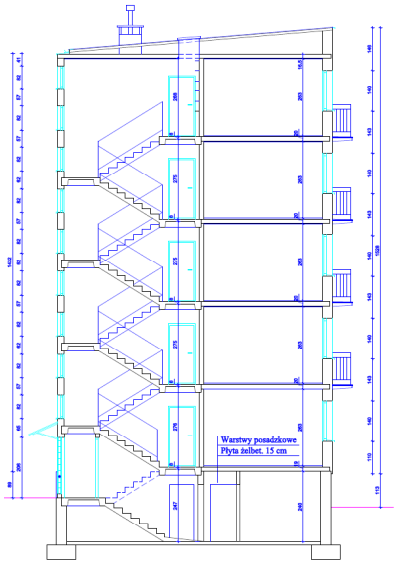
Niemniej ważnymi zagadnieniami po wystąpieniu sytuacji wyjątkowej stają się działania zabezpieczające, kompleksowa ocena stanu konstrukcji obiektu wraz ze sformułowaniem wytycznych i zaleceń odnośnie możliwości dalszej eksploatacji.

W niniejszym referacie autorzy, na przykładzie budynku mieszkalnego poddanego działaniu nadciśnienia wewnętrznego po wybuchu gazu [2] oraz lokalnie obciążenia ogniowego, opisują niezbędne roboty zabezpieczające, rodzaje i stopień uszkodzeń oraz ich wpływ na stan techniczny oraz możliwości dalszej eksploatacji obiektu.

2. Ogólna charakterystyka obiektu

Przedmiotowy obiekt to czteropiętrowy, podpiwniczony budynek mieszkalny wielorodzinny. Znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie innych budynków osiedla o podobnym układzie konstrukcyjnym i geometrii. Został wybudowany około 1964 roku.

Budynek wykonano z kondygnacją piwniczną oraz pięcioma kondygnacjami mieszkalnymi o wysokościach w świetle odpowiednio 2,4 m oraz 2,63 m (rys. 1). W rzucie budynek ma wymiary po obrysie ścian zewnętrznych ~8,9×37,4 m. Funkcjonalnie budynek składa się z trzech wydzielonych segmentów czyli jest tzw. trzyklatkowy. Każdy segment jest praktycznie identyczny i ma dwa mieszkania w obrębie jednej kondygnacji mieszkalnej (rys. 2). Wobec tego łączna ilość mieszkań wynosi trzydzieści.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przez klatkę schodową

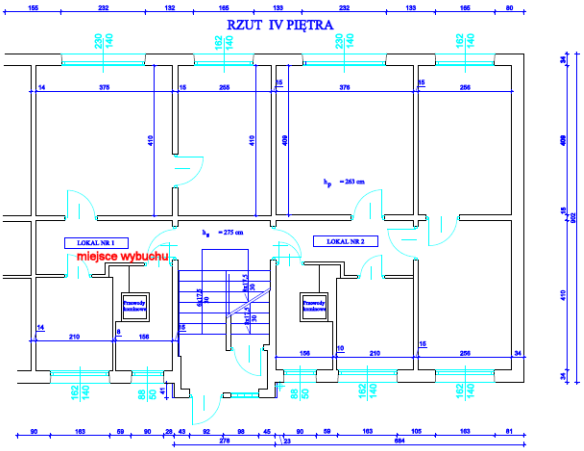
Konstrukcja budynku mieszkalnego została wykonana w technologii uprzemysłowionej wielkopłytowej i częściowo tradycyjnej [3]. Technologia tradycyjna dotyczy przede wszystkim stropów żelbetowych wylewanych. Płyty stropowe mają grubość 15 cm a największe pole w świetle ścian 3,75×4,12 m. Konstrukcję nośną podziemną stanowią ściany wylewane zewnętrzne i wewnętrzne o grubościach odpowiednio 30 i 20 cm posadowione na ławach betonowych. Układ ścian konstrukcyjnych składa się ze ścian poprzecznych i podłużnej wewnętrznej biegnącej przez całą długość budynku. Daje to podparcie na trzech krawędziach dla każdego prostokątnego pola płytowego stropu. Zarówno ścianę podłużną środkową jak i ściany poprzeczne wykonano z prefabrykatów żelbetowych o grubości 15 cm. Taki układ konstrukcyjny zapewnia jednocześnie dużą sztywność przestrzenną budynku. Podłużne ściany zewnętrzne, osłonowe wykonano również jako żelbetowe, prefabrykowane.

Konstrukcja szkieletu klatki schodowej złożona jest wyłącznie z elementów prefabrykowanych.

Ściany działowe budynku wykonano jako murowane z elementów drobnowymiarowych. Stropodach jednospadowy, wentylowany, kryty papą. Budynek w trakcie eksploatacji został poddany termomodernizacji. Obiekt wyposażono w instalację: elektryczną, gazową, wodociągową, kanalizacji sanitarnej i centralnego ogrzewania.

3. Niezbędne działania zabezpieczające po wystąpieniu wybuchu gazu

W okresie zimowym w mieszkaniu na ostatniej kondygnacji, w segmencie skrajnym nastąpił wybuch gazu powodujący silne obciążenie konstrukcji nadciśnieniem wewnętrznym oraz ogniowe w obrębie IV piętra. Lokal mieszkalny, w którym nastąpiła eksplozja przylega bezpośrednio do ściany poprzecznej rozgraniczającej segment klatki środkowej i skrajnej (rys. 2). Przyczyną zaistniałej sytuacji była kumulacja ulatniającego się gazu wyłącznie w tym mieszkaniu. Bezpośrednio po wybuchu wystąpił pożar, który rozprzestrzenił się jednak tylko na sąsiednie mieszkanie tego samego segmentu skrajnego.



Rys. 2. Rzut czwartego piętra segmentu skrajnego z oznaczonym miejscem wybuchu

Wynikiem akcji ratunkowej było między innymi ewakuowanie na stałe mieszkańców wszystkich mieszkań w obrębie segmentu skrajnego i mieszkania segmentu środkowego przylegającego do strefy wybuchu. W związku ze stwierdzonym naruszeniem konstrukcji nośnej wykonano następujące prace zabezpieczające segment skrajny:

– stałe odcięcie wszystkich mediów zasilających,
– odpowiednie wygrodzenie terenu,
– podstemplowanie tymczasową konstrukcją drewnianą stropów od piwnic do ostatniej kondygnacji w rejonach zagrożonych (rys. 3a),
– zabezpieczenie wypchniętych ścian osłonowych z użyciem prętowych ściągów stalowych zaopatrzonych w śruby rzymskie (rys. 3b),
– termoizolację poprzecznej ściany wewnętrznej, która stała się przegrodą termiczną.

Rys. 3. Konstrukcje zabezpieczające: a) stropów, b) ścian osłonowych

4. Ogólny zakres badań i sprawdzeń

Przy prognozowaniu zachowania się konstrukcji poddanej obciążeniu od wybuchu wewnętrznego może być pomocne modelowanie komputerowe [4]. W opisywanym przypadku brak było źródłowej dokumentacji technicznej. Jest to dość skuteczne utrudnienie uniemożliwiające w zasadzie wykonanie nawet najprostszych sprawdzeń statyczno-wytrzymałościowych prognozujących stan dla normalnych założeń projektowych obiektu. Oczywiście o decyzji dotyczącej możliwości dalszej eksploatacji obiektu decyduje głównie określenie, przeanalizowanie i zinterpretowanie rzeczywistego stanu konstrukcji [5] ze względu chociażby na znane fakty wykonawstwa niezgodnego z projektem.

Podstawą określenia stanu konstrukcji po wybuchu było badanie wszystkich trzech funkcjonalnych segmentów budynku. W ramach ustalenia stanu faktycznego wykonano:

– niezbędną inwentaryzację architektoniczno-konstrukcyjną,
– dokładne oględziny elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych,
– inwentaryzację i pomiary wielkości uszkodzeń elementów konstrukcyjnych,
– porównywanie stanu elementów konstrukcyjnych, technicznie identycznych pomiędzy segmentami obiektu,
– lokalne przewierty oraz odkrywki ścian i stropów w miejscach reprezentatywnych,
– miejscowe badanie wytrzymałości betonu młotkiem Schmidta typu NR.

Określenie szczegółów nieistotnych dla bezpieczeństwa konstrukcji pozostawiono do określenia na podstawie badań organoleptycznych oraz wiedzy, doświadczenia i intuicji inżynierskiej.

5. Analiza uszkodzeń i ich wpływ na stan konstrukcji nośnej

Zaobserwowane uszkodzenia budynku mieszkalnego można podzielić na dwie zasadnicze grupy dotyczące:

– części niekonstrukcyjnych, elementów związanych z wykończeniem i wyposażeniem,
– konstrukcji nośnej oraz obszarów ich połączeń czyli tzw. węzłów.

W grupie pierwszej znalazły się elementy charakteryzujące się zarówno możliwością łatwej jak i trudnej naprawy ale przede wszystkim o pomijalnym wpływie na bezpieczeństwo konstrukcji nośnej. Można także nadmienić w tym miejscu, że zniszczenie przez wybuch pewnych elementów niekonstrukcyjnych jest nawet jak najbardziej wskazane [6]. Chodzi tu o możliwość wytworzenia się tzw. naturalnych otworów dekompresyjnych, w miejscach takich jak okna, drzwi a nawet ściany osłonowe. Elementy te należałoby przewidywać jako rozwiązania techniczne mogące stworzyć niezbędne powierzchnie odprężające w celu zmniejszenia obciążenia ciśnieniem gazów po wybuchu na konstrukcję nośną. Do uszkodzeń grupy pierwszej można przykładowo zaliczyć:

– wybite szyby, wyrwane okna (rys. 4), wyrwane drzwi do lokali w tym nawet przeciwwłamaniowe razem z futryną,
– wypchnięte i zdeformowane ściany osłonowe (rys. 4),
– zniszczone elewacje i tynki wewnętrzne,
– pęknięcia ścianek działowych,
– przełamanie stropodachu wraz z pokryciem papowym – po wypchnięciu do góry (rys. 5),
– zniszczenia szachtów i prefabrykowanych bloków spalinowo-wentylacyjnych itp.

Rys. 4. Uszkodzenia zewnętrznych elementów niekonstrukcyjnych

Rys. 5. Przełamanie stropodachu wraz pokryciem papowym w poprzek budynku

Druga grupa uszkodzeń obejmowała nośne płyty ścienne, stropy monolityczne, prefabrykowane konstrukcje nośne klatek schodowych oraz obszary ich złącz – zapewniające spójność przestrzenną obiektu.

Wyodrębniono następujące rodzaje uszkodzeń: szczeliny, spękania, rysy, deformacje, przemieszczenia sąsiednich elementów względem siebie, wychylenia elementów z pionu lub poziomu (o charakterze płaskim bądź przestrzennym). Wyszczególnione uszkodzenia dotyczyły elementów bądź węzłów.

Największe uszkodzenia odnotowane w strefie wybuchu to:

– ugięcie płyty pola stropowego rzędu 4 cm (rys. 6),
– rysy w polu stropowym szerokości rzędu 5 mm (rys. 6),
– szczeliny w płycie ściennej, poprzecznej nośnej rzędu 2 cm zmierzone w mieszkaniu sąsiadującym z miejscem wybuchu (rys. 7),
– wichrowatość położenia płaszczyzny płyty ściennej od strony klatki schodowej dochodząca do 5 cm.

Rys. 6. „Zapadnięte” pole stropowe

Rys. 7. Pęknięcia ściany nośnej

Część elementów stropowych i ściennych uległa przeciążeniu z jednoczesnym wystąpieniem zmian w warunkach podparcia. W niektórych złączach wystąpiło rozwarcie z przemieszczeniem. Dodatkowo, zaistniały pożar, spowodował złuszczenia powierzchniowe betonu. Uszkodzenia tego typu są fizycznym zniszczeniem (przekroczeniem stanu granicznego nośności).

W lokalach mieszkalnych położonych w dalszych odległościach w poziomie czy pionie od źródła obciążenia pozostawał zanikająco jeden rodzaj uszkodzenia dotyczący zarysowania poziomych złącz podstropowych lub pionowych ściennych. Wiadomo, że podatność złączy przy siłach rozciągających i ścinających wywołanych wybuchem jest wielokrotnie mniejsza od podatności samych płyt. W związku z tym koncentracja odkształceń i zarysowań wystąpiła w tych miejscach. Podczas badań starano się także wyselekcjonować zarysowania wyłącznie powierzchniowe czy też pierwotne występujące przed wybuchem. Są one bowiem specyficzną cechą budynków wielkopłytowych [7]. Praktycznie występowanie samych śladów zarysowania przy braku innych objawów uznawano jako nieistotne, nie osłabiające możliwości nośnych układu przy normalnych obciążeniach eksploatacyjnych.

Istotnemu uszkodzeniu, praktycznie na wszystkich kondygnacjach, uległ układ komunikacyjny klatki schodowej złożony z żelbetowych, prefabrykowanych spoczników i płytowych biegów schodowych. Podniebienia wszystkich biegów klatki schodowej zostały zarysowane wskutek zginania (rys. 8). Szerokość rys nie wskazywała, że doszło do uplastycznienia stali. Nie zauważono wydzielenia bryły zmiażdżonego betonu w postaci klina w zarysowanych przekrojach. Jednakże, ze względu na zasięg rys, uznano wszystkie biegi schodowe za fizycznie zniszczone.

Rys. 8. Zarysowane poprzecznie podniebienie płyty biegu schodowego

Żebrowane spoczniki biegów okazały się odporniejsze na zginanie. Jednakże w płaszczyznach podparcia i połączeń wystąpiły zarysowania rozdzielające poszczególne elementy konstrukcyjne jak i przemieszczenia zmieniające warunki podparcia. Nie doszło do uszkodzeń samych krótkich wsporników płytowych spoczników na których opierają się zniszczone biegi. Szczegół ten jest bardzo istotny ze względu na zagrożenie tzw. katastrofą „lawinową” postępującą w przypadkach „luźnego” oparcia biegu. Na szczęście efekty tego typu nie wystąpiły.

Procentowe oszacowanie stopnia zniszczenia konstrukcji wymaga zdefiniowania jego miary. W tym celu wprowadzono najprostsze kryterium skali ocen inwentaryzowanych uszkodzeń na niszczące i nieniszczące element bądź węzeł. Odniesienie liczby zniszczonych elementów lub złącz do ich liczby w obrębie jednej kondygnacji rozpatrywanego segmentu przyjęto jako pewną ilościową miarę stopnia uszkodzenia konstrukcji. Tak rozumiany stopień uszkodzenia elementów i złącz konstrukcji dla ostatniej kondygnacji segmentu skrajnego wynosił od około 20 do 30%. W kondygnacji niższej od 4 do 15%.
Szacowany stopień uszkodzenia układu nośnego klatki schodowej w segmencie skrajnym wyniósł od 25 do 30%. W pozostałych strefach budynku stopień uszkodzeń konstrukcji był zerowy jak dla katastrof o zasięgu lokalnym.

Na ograniczenie skutków korzystnie wpłynął układ złożony ze ścian nośnych poprzecznych i podłużnej środkowej przez cały budynek. Dodatkowym istotnym czynnikiem zapewniającym spójność przestrzenną budynku był płytowy strop monolityczny.

Oceniono, że konstrukcja kondygnacji ostatniej i przedostatniej skrajnego segmentu budynku powinny zostać rozebrane i odbudowane. Natomiast likwidacja skutków wybuchu dla niższych pięter z przynależnym układem klatki schodowej wymaga naprawy oraz wzmocnień np. z użyciem żywicy epoksydowej i taśm kompozytowych.

6. Podsumowanie

Wybuch gazu w budynku omawianego typu ograniczony do jednego pomieszczenia lub mieszkania stanowi relatywnie małe zagrożenie dla konstrukcji całego obiektu. Czynnikami wpływającymi na stopień uszkodzenia konstrukcji budynku są: położenie miejsca wybuchu oraz powiązanie całej konstrukcji budynku. Z punktu widzenia zapewnienia naturalnych otworów dekompresyjnych istotnego znaczenia nabiera kształtowanie układu nośnego budynku bez udziału ścian podłużnych zewnętrznych.

Literatura

1. PN-EN 1992-1-1:2004+AC:2008: Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne dla budynków.
2. Wójcicki A., Ślusarczyk J. Ekspertyza stanu technicznego konstrukcji nośnej budynku mieszkalnego po wybuchu gazu zlokalizowanego przy…, KWMiKB WBiIŚ PŚk. Kielce 2010.
3. Lewicki B.: Budynki mieszkalne z prefabrykatów wielkowymiarowych. Arkady, Warszawa 1964.
4. Chyży T.: Komputerowy model efektu "spadających stropów" o konstrukcji belkowej w strefie wewnętrznego wybuchu gazu, LII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Gdańsk-Krynica, 2006 r., Zeszyt Naukowy PG, BL nr 59 (2006).
5. Runkiewicz L. i inni: Błędy i uszkodzenia budowlane oraz ich usuwanie, WEKA, Warszawa 2000.
6. Kobielak S.: Współczesne betonowe budowle ochronne. Wybrane zagadnienia projektowania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
7. Lewicki B.: Rysy w ścianach i stropach budynków wielkopłytowych. Prace ITB, Kwartalnik nr 2-3, Warszawa 2000.