

STAN TECHNICZNY ŻELBETOWEJ KONSTRUKCJI BUDYNKU MAGAZYNOWEGO ORAZ JEJ PRZYDATNOŚĆ DO UŻYTKOWANIA PO POŻARZE

PRZEMYSŁAW BODZAK, e-mail: pbodzak@p.lodz.pl

ŁUKASZ SOWA

Politechnika Łódzka

Katedra Budownictwa Betonowego

Streszczenie: Kryterium zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji, w świetle obowiązujących przepisów, ogranicza się jedynie do czasu trwania pożaru. W trakcie jego trwania konstrukcja ma zapewniać bezpieczną ewakuację osób przebywających we wnętrzu budynku oraz bezpieczną pracę ekip ratowniczych. Wśród polskich norm i obowiązujących przepisów brakuje tych odnoszących się do stanu konstrukcji po pożarze. Brakuje również tych regulujących kwestię możliwości wyremontowania uszkodzonego w trakcie trwania pożaru obiektu i przywrócenia jego elementom konstrukcyjnym właściwości, które zapewnią bezpieczeństwo całej konstrukcji. Błędy popełnione na etapie projektowania i wykonywania konstrukcji, mogą się ujawnić dopiero w trakcie pożaru. Ich istnienie może mieć decydujący wpływ na stan techniczny i bezpieczeństwo całej konstrukcji w sytuacji pożarowej a także na możliwość wyremontowania obiektu. Świadomość wagi tych problemów oraz analiza stanu technicznego konstrukcji po pożarze pozwala na uniknięcie popełnienia błędów projektowych i wykonawczych przy wznoszeniu budynków.

Słowa kluczowe: konstrukcje żelbetowe, bezpieczeństwo pożarowe, pożar, odporność ogniowa, stan żelbetowej konstrukcji po pożarze

1. Wstęp

W myśl ustawy Prawo budowlane [1] obiekt budowlany zarówno jako całość jak również jego poszczególne części, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie podstawowych wymagań stawianych obiektom budowlanym dotyczących:

- nośności i stateczności konstrukcji,
- bezpieczeństwa pożarowego,
- higieny, zdrowia i środowiska,
- bezpiecznego użytkowania i dostępności obiektów,
- ochrony przed hałasem,
- oszczędności energii i izolacyjności cieplnej,
- zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych.

W nawiązaniu do powyższego obowiązku, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2], w odniesieniu do kryterium bezpieczeństwa pożarowego, wymaga aby:

- budynek i urządzenia z nim związane zostały zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający w razie pożaru:

- 1) nośność konstrukcji przez czas wynikający z rozporządzenia,

- 2) ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku,
- 3) ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie budynki,
- 4) możliwości ewakuacji ludzi, a także uwzględniający bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Powszechnie spotykaną praktyką, zarówno ze strony projektanta obiektu jak i Inwestora, jest na etapie projektowania i realizacji obiektu skupianie się, jedynie na spełnieniu kryterium zachowania bezpieczeństwa konstrukcji w czasie trwania pożaru. Nikt nie zadaje sobie pytania, jak będzie wyglądał obiekt oraz jego konstrukcja po ewentualnym pożarze – czy jego stan będzie dawał możliwość przeprowadzenia prac remontowych przywracających bezpieczeństwo konstrukcji i przydatność do użytkowania, czy raczej będzie nadawał się wyłącznie do rozbiórki. Takie podejście jest słuszne zarówno z ekonomicznego punktu widzenia (większa odporność elementów na działanie ognia pociąga za sobą wyższe koszty realizacji obiektu) jak i zgodne z obowiązującymi przepisami prawa, które odnoszą się wyłącznie do konieczności zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji w czasie niezbędnym do bezpiecznej ewakuacji ludzi w nim przebywających oraz bezpieczeństwa ekip ratowniczych.

W trakcie pożaru, ujawnić się mogą jednak wady konstrukcji, wynikające z usterek powstałych zarówno na etapie jej projektowania jak i już samej realizacji. Ich istnienie, w normalnych warunkach użytkowania obiektu, ze względu na zastosowane liczne współczynniki bezpieczeństwa, nie musi wpływać na bezpieczeństwo użytkowników. W tych warunkach błędy te mogą nawet nie zostać ujawnione. Jednak w trakcie pożaru, ze względu na występowanie oddziaływań wyjątkowych, mogą one nabrać nieporównywalnie większego znaczenia. Obserwacja konstrukcji w trakcie pożaru oraz jej szczegółowe oględziny po pożarze pozwalają wyciągnąć wnioski i ustrzec się przed popełnieniem błędów w przyszłości.

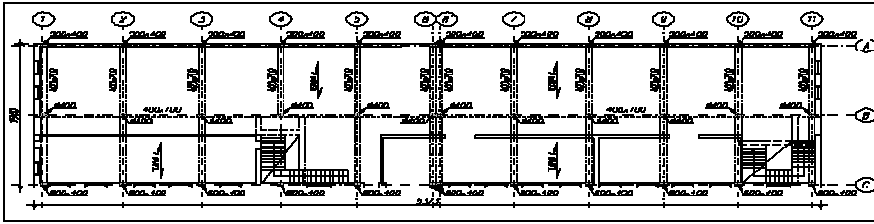
2. Opis konstrukcji budynku, który uległ pożarowi

Rozpatrywany obiekt to dwukondygnacyjny budynek magazynowy, wybudowany na planie prostokąta o wymiarach zewnętrznych ok. 53,73×16,40 m. Główną konstrukcję nośną budynku (rys. 1) stanowią trzy żelbetowe, monolityczne, dwukondygnacyjne ramy, biegnące wzdłuż osi podłużnej całego obiektu. Na konstrukcję ramy składają się żelbetowe słupy (S2) o przekroju okrągłym i średnicy 400 mm, na których, zarówno w poziomie stropu nad parterem jak i stropodachu, oparto żelbetowy, wieloprzęsłowy rygiel o przekroju 400×700 mm. Prostopadle do płaszczyzny ramy (równolegle do osi cyfrowych), wykonano w osiach słupów żelbetowe belki poprzeczne, które pełniły funkcję usztywniającą. W ścianie zewnętrznej, w miejscach oparcia belek poprzecznych na ścianach murowanych, wykonano żelbetowe rdzenie. Strop międzykondygnacyjny wykonano w technologii stropów TERIVA II (pustaki wysokości 300 mm oraz płyta nadbetonu grubości 40 mm).

Stropy zaprojektowano na obciążenia użytkowe o wartości 6,0 kN/m². Zbrojenie dolne belek stropowych wykonano z czterech prętów średnicy #12. Dwa skrajne pręty belki stanowią pas dolny stalowej kratowniczkowej przestrzennej (pręty przyspojone do skratowania kratowniczkowej) stanowiącej jednocześnie zbrojenie poprzeczne. Pozostałe dwa pręty zostały rozmieszczone równomiernie na szerokości stopki dolnej belki. Pręty te nie zostały w żaden sposób powiązane ze zbrojeniem poprzecznym ani podłużnym zebra.

Zbrojenie główne słupów wykonano ze stali żebrowanej średnicy #16 (klasa stali określona na podstawie użebrowania pręta AIII-N) natomiast strzemiona ze stali gładkiej ϕ 8.

Wszystkie ściany parteru, wydzielające poszczególne pomieszczenia nie stanowią funkcji nośnej. Ściany zewnętrzne, wykonane zostały z pustaków gazobetonowych grubości 240 mm i ocieplone od zewnątrz styropianem.



Rys. 1. Schemat głównej konstrukcji nośnej budynku

3. Opis konstrukcji po pożarze

W trakcie eksploatacji obiektu, 6 kwietnia 2016 roku, na parterze budynku wybuchł pożar, który w krótkim czasie objął przestrzeń całego parteru a także piętra. Ogólny stan pomieszczeń po pożarze, pokazano na rys. 2. Powodem tak dużego zakresu zniszczeń był brak podziału obiektu na odrębne strefy pożarowe, w wyniku czego doszło do znacznego rozprzestrzenienia się ognia. W wyniku działania wysokiej temperatury znacznemu uszkodzeniu uległa żelbetowa konstrukcja nośna budynku. Największe zniszczenia zaobserwowano w elementach żelbetowych zlokalizowanych na parterze budynku. Całkowitemu zniszczeniu i odspojeniu uległa betonowa otulina większości elementów konstrukcyjnych co spowodowało odsłonięcie zbrojenia. Na rys. 3 pokazano zniszczenie otuliny słupów parteru. Pręty zbrojenia głównego uległy wydłużeniu termicznemu, co skutkowało ich wyboczeniem. W jednym ze słupów (rys. 3b) zaobserwowano zerwanie strzemion obwodowych.



Rys. 2. Ogólny stan pomieszczeń po pożarze na parterze i piętrze budynku

W części słupów zniszczenie betonu nie ograniczało się jedynie do grubości betonowej otuliny. Sięgało ono znacznie głębiej, nawet do głębokości ponad 40 mm (rys. 4) w głąb przekroju żelbetowego za prętami zbrojenia głównego. Na tej głębokości, powierzchnię betonu ostukano młotkiem. Na podstawie rodzaju odgłosu powstałego przy ostukiwaniu, można stwierdzić, że na tej głębokości beton miał cechy betonu litego (niespękanego) i nie wykazywał tendencji do odspojen, łuszczeń itp.



Rys. 3. Zniszczenie betonowej otuliny słupa



Rys. 4. Uszkodzenie otuliny słupa

Zniszczeniu uległ również tynk na spodniej płaszczyźnie płyty stropowej oraz na znacznym obszarze płaszczyzn bocznych i płaszczyźnie spodniej belek (rys. 5). Na zdjęciu widać również ubytki dolnych półek betonowych pustaków wypełniających przestrzeń pomiędzy żebrawi.



Rys. 5 Uszkodzenie otuliny belek stropu Teriva, dolnych półek pustaków oraz belek

Z uwagi na brak powiązania dodatkowych prętów zbrojenia podłużnego (dwa środkowe pręty #12 na szerokości żebra Teriva) ze zbrojeniem poprzecznym, w wyniku ubytku otuliny betonowej pręty te odspoiły się i „zwisły” pod własnym ciężarem (rys. 6). Odspojenie otuliny w obszarze rygla ujawniło wadę konstrukcji, popełnioną na etapie jej realizacji. Polega ona na przyjęciu niewłaściwej długości zakotwienia zbrojenia dolnego żeber stropowych na ryglu ramy (rys. 6). W wyniku tego, w części belek pręty, które nie zostały powiązane ze zbrojeniem poprzecznym wysunęły się z rygla.



Rys. 6 Wysunięcie prętów zbrojenia podłużnego w wyniku niewystarczającej długości zakotwienia na ryglu ramy

W przypadku elementów belkowych najmocniej zniszczona została otulina w obszarze narożników oraz spodniej płaszczyzny (rys. 7). Stan betonowej otuliny, która jeszcze nie uległa odspojeniu jest na tyle zły, że ulega ona wykruszaniu i łuszczeniu nawet w wyniku dotknięcia ręką. Na podstawie dźwięków powstających podczas ostukiwania metalowym narzędziem stwierdzono, że po odspojeniu luźnych warstw otuliny, beton wewnątrz przekroju nie wykazuje tendencji do łuszczeń, odspojen itp.



Rys. 7 Uszkodzenie otuliny belki poprzecznej (w osiach cyfrowych)

Awarii uległy również miejsca oparcia żelbetowych nadproży wykonanych nad otworami okiennymi i drzwiowymi. Oprócz wysokiej temperatury panującej w trakcie pożaru, przyczyną awarii były również błędy wykonawcze polegające na wykonaniu zbyt małego oparcia nadproży na ścianie.



Rys. 8 Miejsce oparcia na ścianie nadproża nad otworem drzwiowym

Odspojenie w wyniku pożaru otuliny w belkach uwidoczniło niewłaściwe wbudowanie strzemion w elementach. Wszystkie łączenia strzemion były zlokalizowane na dolnej krawędzi belki (rys. 9), co w sytuacji awaryjnej mogło doprowadzić do zmniejszenia nośności na ścinanie w skutek wyłączenia z udziału w przenoszeniu sił poprzecznych zewnętrznych strzemion.



Rys. 9 Połączenie strzemion w belkach głównych

4. Opis przeprowadzonych badań oraz wynikające z nich wnioski

W trakcie przeprowadzania wizji lokalnych pobrano próbki zbrojenia głównego słupów i belek, na których przeprowadzono badanie wytrzymałości stali na rozciąganie. Celem badania było określenie wpływu wysokiej temperatury na wartość granicy plastyczności stali wykorzy-

stanej w konstrukcji. Na podstawie dokumentacji projektowej ustalono, że do wykonania konstrukcji przewidziano stal klasy AIII. Na podstawie układu żeberek na bocznej powierzchni prętów zbrojeniowych (rys. 10) ustalono, że w konstrukcji użyto prętów ze stali AIII-N.



Rys. 10 Próbkki stali pobrane z konstrukcji do określenia wytrzymałości na rozciąganie

Do badania stali na rozciąganie pobrano:

- zbrojenie słupa – odcinek pręta średnicy #16
- zbrojenie żebra stropu Teriva – odcinek pręta średnicy #12

Badanie wykonano w akredytowanym Laboratorium Materiałów i Konstrukcji Budowlanych przy Katedrze Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej. Próby rozciągania stali wykazały:

- w przypadku prętów średnicy #12, pobranych z żeber stropu Teriva, charakterystyczna wartość granicy plastyczności stali nie uległa obniżeniu i wynosi ok 500 MPa,
- w przypadku prętów średnicy #16, pobranych ze słupów, charakterystyczna granica plastyczności stali uległa obniżeniu i wynosi ok 350 MPa.

5. Wnioski i zalecenia dotyczące możliwości dalszej eksploatacji obiektu

Na podstawie przeprowadzonych oględzin obiektu, analiz dostępnej dokumentacji projektowej, wyników własnych analiz obliczeniowych oraz przeprowadzonych badań stali pobranej z konstrukcji stwierdzono, że w obecnym stanie obiekt nie może być dalej eksploatowany. Istnieje jednak możliwość przeprowadzenia gruntownego remontu obiektu, który doprowadzi jego stan techniczny do stanu zapewniającego jego dalszą bezpieczną eksploatację.

Główne wady konstrukcji stwierdzone w trakcie analizy budynku polegały na:

- braku powiązania dodatkowego zbrojenia podłużnego żeber stropu Teriva z kratowniczkami oraz wykonaniu zbyt małej długości zakotwienia zbrojenia podłużnego belek w miejscu ich oparcia na ryglu,

- wykonaniu niewystarczającej głębokości oparcia nadproży nad otworami okiennymi i drzwiowymi,
- zastosowanie jako elementy dystansowe drewnianych klocków, które w trakcie pożaru całkowicie się wypaliły odsłaniając zbrojenie
- łączeniu strzemion przy dolnej krawędzi belek.

Literatura

1. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo Budowlane Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

TECHNICAL CONDITION OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF A WAREHOUSE AND ITS SUITABILITY FOR USE AFTER A FIRE

Abstract: According to the current regulations, the fire safety of the structure is only limited to the time of its duration. Safe evacuation of people and safety of the rescue teams is necessary during the time of fire and must be considered when the structure is being designed. But there aren't any regulations which give designers the obligation to consider the condition of the structure after the fire. Mistakes committed during designing process might be invisible during ordinary use of the structure but will be having crucial importance during the fire. Awareness of the importance of these issues and the analysis of the technical condition of the building structure after the fire will protect us against committing mistakes both during designing process and workmanship.

Keywords: reinforced structures, fire safety, fire, fire resistance