

dr inż. Paweł Sulik¹⁾
 dr inż. Grzegorz Kimbar¹⁾
 dr inż. Bartłomiej Papis¹⁾

Wybrane aspekty bezpieczeństwa pożarowego budynków wysokich

Selected aspects of fire safety of high-rise buildings

Artykuł przeglądowy

DOI: 10.15199/33.2015.11.18

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane aspekty dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budynków wysokich. Opiszano zarówno zagadnienia związane z bezpieczeństwem ludzi (ewakuacja, prowadzenie akcji ratunkowej), jak i bezpieczeństwem konstrukcji budynku, które powinny zostać zachowane przez czas wymagany przepisami. Ponadto przedstawiono statystykę pożarów w budynkach wysokich w Polsce.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, budynki wysokie, ewakuacja, odporność ogniowa, rozprzestrzenianie ognia.

Abstract. The paper presents selected aspects of fire safety of high-rise buildings. It describes both issues related to the safety of people (evacuation, rescue operation) and safety structure of the building, which should be retained for the required time according to regulations. In addition, the paper presents the statistics of fires in high-rise buildings in Poland.

Keywords: fire safety, high-rise buildings, evacuation, fire resistance, spread of fire.

Bezpieczeństwo pożarowe budynków powszechnie uważanych za wysokie, ze względu na liczbę kondygnacji i rozlokowanych na nich ludzi oraz usytuowanie zazwyczaj w gęstej zabudowie miast, wymaga szczególnego podejścia zarówno przez projektantów, jak i jednostki straży pożarnej, która musi być wyposażona w specjalistyczny sprzęt ratunkowy dostosowany do ponadstandardowych wysokości budynków. Zgodnie z warunkami technicznymi [1] do takich budynków należą obiekty o wysokości 25 – 55 m (oznaczenie W), a w przypadku budynków mieszkalnych (ZL IV) o liczbie kondygnacji 10 – 18 włącznie. Budynki wyższe określane są w przepisach jako wysokościowe (WW). Łącznie problem dotyczy ok. 11 000 budynków w Polsce, przy czym jeżeli z tej statystyki odrzucimy typowe budynki mieszkalne z wielkiej płyty, a więc niewiele przekraczające 30 m, pozostanie ok. 1500 budynków. Rozważając obiekty wyższe niż 70 m, mamy do czynienia w Polsce z niecałą setką takich budynków. Sukcesywnie się to zmienia i przybywa budynków wysokości ponad 40 m, jednakże w porównaniu z miastami, które przyjęły model budownictwa wysokiego jako strategię ich rozwoju: Hongkong > 7500, Nowy Jork > 5500, Singapur > 3600, São Paulo > 3500, Seul > 2800 czy Tokio > 2500, nawet najbardziej rozwinięta pod tym względem Warszawa jest daleko w tyle.

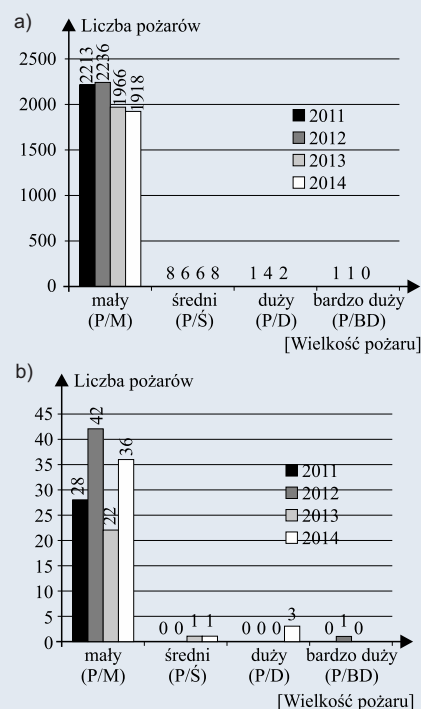
Zagrożenia pożarowe budynków wysokich związane są przede wszystkim z ich

ukształtowaniem, które sprzyja rozprzestrzenianiu się ognia zgodnie z kierunkiem działania konwekcji podczas pożaru. Ma to bezpośredni wpływ na warunki ewakuacji i prowadzenia akcji ratowniczej oraz wysokie wymagania stawiane konstrukcji takich budynków, związane z koniecznością wydzielenia zazwyczaj każdej kondygnacji jako oddzielnej strefy pożarowej, co ma zapobiec m.in. rozprzestrzenianiu ognia na wyższe kondygnacje.

Publikowane co roku przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej opracowania statystyczne dotyczące pożarów [2] pokazują, że w 2014 r. w Polsce wybuchło zaledwie 2,28% pożarów w przypadku budynków wysokich i 0,05% w przypadku budynków wysokościowych, przy łącznej liczbie odnotowanych pożarów 84756 (rysunek 1).

Ewakuacja w budynkach wysokich

W odróżnieniu od budynków niskich, gdzie w większości przypadków ewakuować się można w ostateczności przez okna na zewnątrz, w przypadku budynków wysokich jest to niemożliwe, w szczególności z wyższych pięter. W zasadzie jedyną drogą ewakuacyjną są dostępne klatki schodowe, które służą do ewakuacji zazwyczaj z wszystkich kondygnacji stanowiących oddzielne strefy pożarowe. Polskie przepisy dopuszczają do ewakuacji w bezpieczne miejsce na zewnątrz budynku lub do innej strefy pożarowej, co w przypadku omawianych budynków oznacza inne piętro. W przypadku ewakuacji na inne piętro, bardzo często stosuje się przejście w z góry określone miejsce, np. kilka kondygnacji



Rys. 1. Liczba pożarów w Polsce, w latach 2011 – 2014, w budynkach W (a) i WW (b) w zależności od wielkości pożaru: P/M ≤ 70 m²; ≤ 350 m³; P/S 71-300 m²; 351-1500 m³; P/D 301-1000 m²; 1501-5000 m³; P/BD > 1000 m²; > 5000 m³

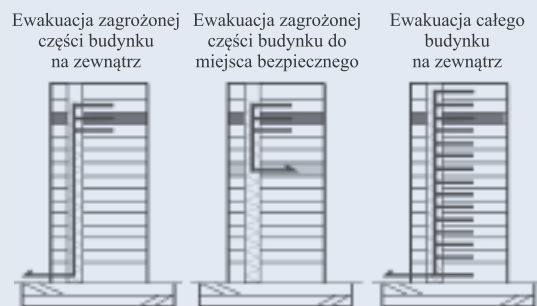
Fig. 1. The number of fires in Poland in 2011-2014, in buildings W (a) and WW (b) depending on the size of the fire: P/M ≤ 70 m², ≤ 350 m³; P/S 71-300 m², 351-1500 m³; P/D 301-1000 m², 1501-5000 m³; P/BD > 1000 m², > 5000 m³

cji niżej. Ewakuacja najczęściej dotyczy kondygnacji, na której rozwinął się pożar, a także dwóch kondygnacji sąsiednich: górnej i dolnej. W niektórych budynkach stosuje się tzw. kondygnacje bezpieczne, o podwyższonych standardach bezpieczeń-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych

^{*} Autor do korespondencji: e-mail: fire@itb.pl

stwa pożarowego, rozlokowane np. co kilkanaście pięter (rysunek 2). W praktyce spotyka się również scenariusze pożarowe, w których ewakuację przeprowadza się z całego budynku.



Rys. 2. Trzy strategie ewakuacji w budynkach (W) i (WW)

[Archiwum ITB] [Archive of ITB]

Kluczowym elementem ewakuacji jest ASET (ang. Available Safe Egress Time – dostępny czas bezpiecznej ewakuacji) oraz RSET (ang. Required Safe Egress Time – wymagany czas bezpiecznej ewakuacji). Pierwszy z nich określa czas, w którym możliwa jest jeszcze ewakuacja ze względu na warunki środowiska (zadymienie, nośność konstrukcji, temperaturę itp.), natomiast drugi powiązany jest z możliwościami osób ewakuujących się i określa czas od chwili powstania pożaru do przymieszczenia się w bezpieczne miejsce ostatniej ewakuującej się osoby. Oczywiście pierwszy czas powiększony o margines bezpieczeństwa musi być większy od czasu drugiego, co daje szansę na prawidłową i bezpieczną ewakuację. Na czas bezpiecznej ewakuacji składają się m.in. czas detekcji (w budynkach W i WW zazwyczaj są zainstalowane nowoczesne systemy wykrywania zagrożenia pożaru) i alarmowania; czas rozpoznania i reakcji, bardzo uzależniony od indywidualnych cech ewakuujących się osób, np. wg [3] czas reakcji prawie 85% ocalałych z WTC1 po zamachu z 2001 r. nie przekraczał 8 min; czas przejścia osób z pojedynczej kondygnacji, który związany jest z szybkością poruszania się. W przypadku budynków (W) i (WW) określenie czasu przejścia wszystkich osób jest znacznie bardziej skomplikowane, co jest związane ze sprawnością osób ewakuujących się, które poruszają się różnym tempem, ale i z możliwościami przestrzennymi klatek schodowych, które przewidziane są zazwyczaj na ewakuację jednego piętra, podczas gdy w skrajnych przypadkach może dojść do ewakuacji całego budynku jednocze-

śnie. Tego typu sytuacja wywołuje spiętrzenie ludzi i korkowanie się, a w efekcie nawet panikę i tratanie. Dużo rozsądniej jest więc w takich przypadkach rozważyć zastosowanie ewakuacji selektywnej

zamiast niekontrolowanej, czyli dawanie sygnału do ewakuacji na różnych piętrach z odpowiednim przesunięciem czasowym, co umożliwiłoby zazwyczaj ewakuację bardziej spokojną. Optymalny czas ewakuacji należy określić w każdym przypadku, najczęściej na drodze numerycznej.

Klatki schodowe w budynkach wysokich i wysokościowych są najczęściej chronione przez utrzymywanie podwyższonego ciśnienia, które uniemożliwia przedostawanie się produktów spalania do strefy chronionej. Służą do tego coraz bardziej skomplikowane systemy różnicowania ciśnienia, które potrafią zarówno rozpoznać otwarcie drzwi na klatkę, jak również kontrolować prędkość powietrza w przejściu, co pośrednio wiąże się z siłą, jaką należy przyłożyć do klamki drzwi na klatkę schodową.

Bezpieczeństwo pożarowe elewacji

Bezpieczeństwo pożarowe elewacji związane jest z kilkoma elementami. Najważniejsze z nich to nierozprzestrzenianie ognia przez ściany, odporność ogniowa oraz odpadanie fragmentów elewacji, co może być szczególnie niebezpieczne podczas prowadzenia ewakuacji i akcji ratowniczej. Elewacje współczesnych budynków (W) i (WW) najczęściej wykonane są jako: przeszklone ściany osłonowe o konstrukcji aluminiowej lub stalowej; elewacje wentylowane z różnego typu okładzinami, np. płytami kamiennymi lub w budynkach o gorszym standardzie wykończenia w formie ocieplenia ETICS.

Rozprzestrzenianie ognia dotyczy najczęściej ociepleń ETICS oraz elewacji wentylowanych z zewnętrznymi elementami innymi niż metalowe lub mineralne. O ile w przypadku ociepleń ETICS na przestrzeni lat sytuacja diametralnie się zmieniła na korzyść i jedynie sporadycznie spotyka się przypadki, kiedy taka elewacja rozprzestrzeniła ogień, o tyle wykorzystanie różnego typu płyt kompozytowych w elewacjach wentylowanych ciągle stanowi zagrożenie. Dzieje się tak dlatego, że niezwykle trudno odróżnić element, w którym za-

stosowano uniepalniacze, od takiego, w którym tego nie zrobiono, co czasami wykorzystują nieuczciwi dostawcy. Należy jednak zauważyć, że polskie przepisy w tym zakresie są bardziej skuteczne niż wymagania obowiązujące w szczególności na Bliskim i Dalekim Wschodzie, o czym od czasu do czasu donoszą media światowe, np. pożar Mandarin Oriental Hotel w Pekinie w 2009 r. czy pożar elewacji 34-kondygnacyjnego budynku w Dubaju w 2012 r.

Oddzielne zagadnienie stanowi odpadanie elementów elewacji w trakcie pożaru. W polskich przepisach [1] zawarto wymaganie: *Elementy okładzin elewacyjnych powinny być mocowane do konstrukcji budynku w sposób uniemożliwiający ich odpadanie w przypadku pożaru w czasie krótszym niż wynikający z wymaganej klasy odporności ogniowej dla ściany zewnętrznej, określonej w § 216 ust. 1, odpowiednio do klasy odporności pożarowej budynku, w którym są one zamocowane.* Taki zapis oznacza konieczność zachowania integralności wszystkich elementów składowych elewacji, co ma szczególne znaczenie w przypadku budynków wysokich i wysokościowych, gdzie energia, jaką może osiągnąć odpadający element elewacji, może stanowić realne zagrożenie dla życia i zdrowia ewakuujących się osób oraz ratowników. Z uwagi na brak przepisów normalizacyjnych z tej dziedziny w całej Europie, w Zakładzie Badań Ogniowych ITB opracowano procedurę badawczą pozwalającą ocenić zagrożenie wynikające z odpadania poszczególnych elementów elewacji [4]. Uzyskane doświadczenia badawcze jednoznacznie wskazują, że nie jest to problem błahy czy pomijalny i w zasadzie dotyczy wszystkich rodzajów elewacji w budynkach wysokich i wysokościowych.

Ostatni aspekt bezpieczeństwa pożarowego elewacji budynków (W) i (WW) związany jest z zapewnieniem im wymaganej odporności ogniowej. W przypadku, kiedy mówimy o odporności ogniowej całych ścian zewnętrznych, oczekujemy, że uzyskają one klasę odporności ogniowej odpowiednio EI 60 (o→i) lub EI 120 (o→i) [1], gdzie „E” oznacza szczelność ogniową (ocenia się pęknięcia lub otwory przekraczające dopuszczalne wymiary, zapalenie tamponu bawełnianego przyłożonego do elementu próbnego, utrzymywanie się płomienia na powierzchni nienagrzewanej), a „I” – izolacyjność ogniową (kryterium stanowi przyrost temperatury śred-

niej ograniczony do 140K oraz przyrost temperatury maksymalnej w dowolnym punkcie badanej ściany osłonowej ograniczony do 180K powyżej temperatury początkowej). Jest to sytuacja rzadka i dotyczy ścian znajdujących się blisko siebie, np. mniej niż 8 m w przypadku budynków ZL. Najczęściej wymagane jest jedynie zapewnienie odporności ogniowej przez pas międzykondygnacyjny wraz z połączeniem ze stropem. Pas międzykondygnacyjny w budynkach (W) i (WW) powinien mieć wysokość nie mniejszą niż 0,8 m, przy czym za równorzędne rozwiązania uznaje się oddzielenia poziome w formie daszków, gzymsów i balkonów o wysięgu co najmniej 0,5 m lub też inne oddzielenia poziome i pionowe o sumie wysięgu i wymiaru pionowego co najmniej 0,8 m (nad strefą pożarową PM, o gęstości obciążenia ogniowego powyżej 1000 MJ/m², wysokość pasa międzykondygnacyjnego powinna wynosić min. 1,2 m). Stosowanie pasów międzykondygnacyjnych ma zapewnić powstrzymanie przejścia ognia na sąsiednie kondygnacje.

Ściany osłonowe klasyfikowane są zgodnie z PN-EN 13501-2 [5], a klasa odporności ogniowej przyznawana jest na podstawie badania przeprowadzonego wg PN-EN 1364-3 w przypadku kompletnego zestawu (fotografia) lub PN-EN 1364-4 w przypadku częściowej konfiguracji, np. samego pasa międzykondygnacyjnego.



Przed/Before

W trakcie/During

Po badaniu/After

Badanie ściany osłonowej [Archiwum ITB]
Test fire curtain wall [Archive of ITB]

Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji

W Polsce przepisy dotyczące odporności ogniowej konstrukcji nośnej, szczególnie budynków (WW), są znacznie bardziej restrykcyjne niż w wielu krajach europejskich. W odniesieniu do głównej konstrukcji nośnej, ścian i stropów wymaga się spełnienia kryteriów nawet

240 min odporności ogniowej, co zazwyczaj oznacza konieczność stosowania pasywnych izolacji ogniochronnych lub nieracjonalnego projektowania konstrukcji, w szczególności stropów, na normalne warunki użytkowania (duża, nawet 60 – 80 mm, otulina dolnego zbrojenia w przypadku konstrukcji żelbetowych, zamiast 20 – 30 mm). Główna konstrukcja nośna tego samego, 15-kondygnacyjnego budynku wzniesionego w Polsce powinna spełniać wymagania w klasie odporności ogniowej R 240, w Belgii czy Anglii – R 120, a w Holandii – R 90. Dosyć rozpowszechnioną procedurą w przypadku tego typu budynków, bardzo dobrze wyposażonych w różnego rodzaju instalacje i systemy przeciwpożarowe, jest więc wykorzystanie zapisów zawartych w Eurokodach oraz metod inżynierii bezpieczeństwa pożarowego do określenia równoważnego czasu oddziaływania ognia na konstrukcję konkretnego budynku, uwzględniając realne obciążenie ogniowe oraz wyposażenie budynku w liczne czynne środki ochrony przeciwpożarowej. Dzięki tej procedurze można bardzo drastycznie zredukować czas oddziaływania ognia na elementy i przy wykorzystaniu ekspertyzy technicznej wystąpić o odstępstwo. Należy jednakże pamiętać o konieczności wykonania również symulacji ewakuacji, gdyż zazwyczaj jej czas znacznie przekracza wyliczony równoważny

czas oddziaływania ognia na konstrukcję, chociaż jednocześnie jest niższy niż wymagania rozporządzenia [1]. Wydaje się więc zasadne, przy obecnym poziomie czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych, rozważenie obniżenia wymagań dotyczących konstrukcji głównej budynków wysokościowych do 180, a może nawet 120 min, co znacznie obniżyłoby koszty ich wybudowania.

Podsumowanie

Bezpieczeństwo pożarowe budynków wysokich, ze względu na ich układ konstrukcyjny, usytuowanie oraz ewentualne konsekwencje zniszczenia, wymaga spełnienia najwyższych wymagań stawianych przez polskie prawo. Dotyczą one zarówno konstrukcji budynku, jego elementów budowlanych, np. ścian osłonowych, warunków ewakuacji i wielu innych aspektów związanych z projektowaniem, wykonaniem i użytkowaniem takich budynków [7]. Obserwując tendencje światowe oraz ostatnie kilkanaście lat w Polsce, stwierdzono, że tego typu budynków powstaje coraz więcej, zazwyczaj w ścisłym centrum miast, dlatego też statystycznie możliwość wystąpienia zagrożenia pożarowego wraz z ich liczbą rośnie.

W artykule wykorzystano dane z badań zrealizowanych w ramach projektu 3979/E-104/SPUB/2015 pt. „Zespół wielkogabarytowych pieców do badań odporności ogniowej wraz z oczyszczalnią spalin”, zadanie: utrzymanie specjalnego urządzenia badawczego.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12 kwietnia 2002, Dziennik Ustaw 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami.
- [2] Dane statystyczne KG PSP. Dane o budynkach/pomieszczeniach, w których powstało zdarzenie w rozbiciu na rodzaj i wielkość zdarzenia. www.kgpsp.gov.pl.
- [3] McConnell N. C., Boyce K. E., Shields J., Galea E. R., Day R. C., Hulse L. M. The UK 9/11 evacuation study: Analysis of survivors' recognition and response phase in WTC1.
- [4] Kinowski J., Sulik P., Bezpieczeństwo użytkowania elewacji. Materiały Budowlane, 2014, nr 9, s. 38 – 39.
- [5] PN-EN 13501-2+A1:2010. Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej.
- [6] PN-EN 1991-1-2: 2006/NA:2010 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-2. Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [7] Sulik P., Sędkak B., Turkowski P., Węgrzyński W. (2014): Bezpieczeństwo pożarowe budynków wysokich i wysokościowych. [W:] A. Halicka, Budownictwo na obszarach zurbanizowanych, Nauka, praktyka, perspektywy, Politechnika Lubelska 2014, pp. 105 – 120.

Przyjęto do druku: 08.10.2015 r.