

st. kpt. dr inż. Tomasz Drzymała*
bryg. dr inż. Jerzy Gałaj*

Podstawowe problemy związane z bezpieczeństwem pożarowym w budynkach mieszkalnych

Basic problems connected with fire safety in residential buildings

Streszczenie. W artykule zaprezentowano podstawowe problemy mające wpływ na bezpieczeństwo użytkowników budynków mieszkalnych wielorodzinnych w warunkach pożaru. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom dotyczącym rozwoju pożaru w tego typu budynkach, jego dynamiki, podstawowych parametrów charakteryzujących środowisko pożarowe z uwagi na miejsce powstania (kuchnia, pokój dzienny, sypialnia, przedpokój) oraz wymaganiom polskich przepisów związanych z ewakuacją ludzi z budynków mieszkalnych wielorodzinnych, a w szczególności dotyczących dróg ewakuacyjnych. Omówiono wymagania, jakie muszą spełniać takie budynki w zakresie zagadnień związanych z ewakuacją ludzi. Większość przepisów dotycząca ewakuacji została zawarta w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Na końcu zamieszczono podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, pożar, ewakuacja, budynki mieszkalne, bezpieczeństwo pożarowe w budynkach mieszkalnych.

Abstract. Basic problems connected with fire safety of occupants in residential buildings are presented in the paper. Particular attention was given to issues relating to the development of the fire in this type of buildings, its dynamics, the basic parameters characterizing the fire environment due to the location of fire source (kitchen, living room, bedroom) and the requirements of Polish legislation concerning the evacuation of people from residential and apartment buildings, especially escape routes. The requirements which must be met by such buildings related to the evacuation of people are discussed. Most of the regulations concerning the evacuation has been included in the government order of Ministry of Infrastructure dated 12 April 2002, on the technical specifications, which should correspond the buildings and their location. Conclusions and final remarks can be found at the end of the work.

Keywords: fire safety, fire, evacuation, residential buildings, fire safety in residential buildings.

Bezpieczeństwo użytkowników (mieszkańców) budynków wielorodzinnych ZL IV uzależnione jest m.in. od rodzaju konstrukcji, zastosowanych rozwiązań architektonicznych, wysokości budynku i liczby kondygnacji, liczby mieszkańców, rozwiązań zamiennych i zastępczych, możliwości dojazdu służb ratowniczych. W przypadku tego typu budynków szczególnie istotne są możliwości dotarcia służb ratowniczych oraz ewakuacji ludzi. Przepisy z dziedziny ochrony przeciwpożarowej budynków mają wspólny mianownik, którym jest zapewnienie bezpieczeństwa ludziom znajdującym się w danym obiekcie. W przepisach określa się dokładne wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego ze wskazaniem sposobu ich realizacji.

W artykule zaprezentowane zostaną dwa zagadnienia dotyczące wielorodzinnych budynków mieszkalnych, a mianowicie rozwój pożaru oraz podstawowe wymagania, których spełnienie zapewnia bezpieczną ewakuację z tego typu budynków.

W tabeli przedstawiono dane o budynkach, w których powstał pożar, ze względu na ich przynależność do określonej kategorii wysokości, określonej w rozporządzeniu [1].

Główne zagrożenia wpływające na bezpieczeństwo ludzi podczas pożaru

Z najnowszych badań wynika, że ludziom przebywającym w zasięgu pożaru zagrażają najbardziej dym oraz toksyczne gazy. Ponad 90% wszystkich ofiar pożarów budynków umiera na skutek

Dane o budynkach, w których powstał pożar

Rok	Rodzaj budynku			
	niski (N)	średniowysoki (SW)	wysoki (W)	wysokościowy (WW)
2007	25 608	4113	2717	31
2008	26 807	4017	2509	35
2009	27 697	3805	2462	26
2010	28 209	3742	2318	35
2011	28 628	3691	2223	28
2012	29 947	3759	2247	43
2013	28 300	3663	1974	23

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [25].

zatrucia gazami. Dzieje się tak dlatego, że dym jest głównym nośnikiem ciepła, silnie trujących gazów toksycznych, a także w znaczny sposób ogranicza widzialność i zawartość tlenu w pomieszczeniu. Wszystkie te czynniki mają ogromny wpływ na bezpieczną ewakuację z płonącego budynku [2, 3, 4]. Dodatkowo należy liczyć się ze stratami materialnymi powstałymi na skutek dymienia.

Główne zagrożenia, jakie niesie pożar, a przede wszystkim dym, to: toksyczność; promieniowanie cieplne; wysoka temperatura; ograniczenie widzialności; ograniczenie stężenia tlenu.

Toksyczność. Głównymi produktami toksycznymi występującymi podczas pożaru są na ogół: tlenek węgla CO, chlorowodor HCl, dwutlenek azotu NO₂, cyjanowodor HCN i dwutlenek węgla CO₂. Substancje szkodliwe powstałe podczas spalania z ła-

* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

twością przedostają się do organizmu ludzkiego przez drogi oddechowe.

Wartości stężeń śmiertelnych przy ekspozycji 30 min wynoszą odpowiednio [5]:

- **CO – 3,75 g/m³**. Tlenek węgla jest silnie trujący i bardzo niebezpieczny dla organizmów żywych. Stężenie CO w powietrzu na poziomie 6000 – 8000 ppm powoduje już po ok. 5 min znaczące zmiany w organizmie człowieka (najczęściej utratę świadomości), a stężenie 12 000 – 16 000 ppm śmierć po 5 min. Szacuje się, że zawartość CO w gazach pożarowych wynosi 0,1 – 0,5% objętości [6].

- **HCN – 16 g/m³**. Stężenie 150 – 200 ppm prowadzi po ok. 5 min do obezwładnienia, natomiast 250 – 400 ppm jest przyczyną śmierci [7]. Intensywne wydzielanie cyjanowodoru występuje zazwyczaj w początkowym okresie pożaru.

- **CO₂ – 196,4 g/m³**. Podczas pożaru w pomieszczeniach zamkniętych gaz ten może bardzo szybko osiągnąć niebezpieczne stężenie. W przypadku stężenia wyższego niż 7% następuje po 30 min wyraźne szkodliwe oddziaływanie CO₂ na organizm, natomiast stężenie powyżej 9% prowadzi do śmierci. Szacuje się, że podczas pożaru stężenie dwutlenku węgla wynosi 0,1 – 2,5% objętości [6].

- **NO₂ – 0,205 g/m³**. Stężenie mniejsze niż 1,5 ppm nie wywołuje na ogół żadnych objawów. Przy wyższym stężeniu, w zależności od czasu ekspozycji, powstają zaburzenia oddychania prowadzące do niedotlenienia organizmu, uszkodzeń płuc i zgonu.

- **HCl – 1,0 mg/m³**. Chlorowódz powstaje np. podczas spalania tworzyw sztucznych wykonanych z polichlorku winylu. Gaz ten działa drażniąco na spojówkę oczu, błony śluzowe i układ oddechowy. Stężenie niebezpieczne wynosi 140 mg/m³.

Podczas pożaru może wydzielać się również wiele innych związków, takich jak np.: fosgen COCl₂, który jest bardzo trującą substancją działającą drażniąco na układ oddechowy; tlenki siarki SO₂ i SO₃, które wywołują skurcze i obrzęki krtani; fosforowódz, będący silną trucizną o zapachu czosnku, działającą drażniąco na błony śluzowe i powodującą uszkodzenie układu nerwowego; fenol C₆H₅OH; formaldehyd oraz węglowodory aromatyczne.

Czas krytyczny τ_{kr}^{CO} przekroczenia poziomu dopuszczalnego tlenu węgla w pomieszczeniu można wyznaczyć z następującej zależności:

$$\tau_{kr}^{CO} = \frac{V_p \cdot \rho_g}{\dot{m}_1} \ln \frac{\dot{m}_f \cdot Y_{CO}}{\dot{m}_f \cdot Y_{CO} - \dot{m}_1 \cdot x_{kr}^{CO}} \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m}_f – masowa szybkość spalania [kg/s];
 V_p – całkowita kubatura pomieszczenia [m³];
 ρ_g – średnia gęstość górnej warstwy (dymu) [kg/m³];
 Y_{CO} – emisja tlenu węgla dla danego typu budynku i pomieszczenia przyjmowana zazwyczaj z przedziału 0,024 – 0,063 [kg/kg];
 x_{kr}^{CO} – średnie dopuszczalne stężenie objętościowe CO, dla którego jest liczony czas krytyczny (zazwyczaj przyjmuje się wartość 0,000125) [kg/kg];
 \dot{m}_1 – strumień masy gorących gazów (dymu) wypływających przez otwór(y) wentylacyjny(e) z pomieszczenia [kg/s].

Promieniowanie ciepłe. Podczas pożaru wewnętrznego głównym nośnikiem promieniowania ciepłego i energii jest dym. W pomieszczeniach zamkniętych promieniowanie ciepłe powoduje szybki wzrost temperatury otaczających obiektów, nawet w znacznej odległości od ogniska pożaru. Jego źródłem są płomienie i żar. W wyniku oddziaływania ciepła na organizm człowieka mogą wystąpić zaburzenia temperatury ciała. Podwyższenie tem-

peratury ciała do 39 °C może spowodować nagłą utratę przytomności. Podobny skutek może nastąpić przy intensywnym napromieniowaniu głowy. Gdy temperatura ciała przekracza 43 °C następuje udar cieplny (nadmierne nagromadzenie się ciepła w organizmie przy intensywnym doprowadzaniu go z zewnątrz i utrudnionym oddawaniu do otoczenia) [2, 5, 8, 9, 10].

Przybliżony czas przekroczenia wartości krytycznej temperatury górnej warstwy w pomieszczeniu τ_{kr}^T , która ma bezpośredni wpływ na wartość strumienia promieniowania, można wyznaczyć z następującej zależności:

$$\tau_{kr}^T = \left[\frac{(T_{kr}^g - T_0) \cdot 3 \cdot c_p \cdot (H - Z) \cdot \rho_g \cdot S_p}{\alpha} \right]^{1/3} \quad (2)$$

gdzie:

T_{kr}^g – krytyczna temperatura górnej warstwy (zazwyczaj 200°C) [°C];
 T_0 – temperatura otoczenia [°C];
 c_p – izobaryczne ciepło właściwe powietrza [J/(kg K)];
 H – wysokość pomieszczenia [m];
 Z – położenie górnej warstwy nad poziomem podłogi [m];
 S_p – całkowita powierzchnia pomieszczenia [m²];
 α – bieżąca wartość współczynnika intensywności pożaru [kW/s²].

Ograniczenie widzialności. Zasięg widzialności definiuje się jako maksymalną odległość, z jakiej obserwowany w danym ośrodku rozpraszającym światło przedmiot jest widoczny, co oznacza, że kontrast luminancji obserwowanego w tym ośrodku przedmiotu jest równy progowej czułości kontrastowej dla oka ludzkiego [5]. Ograniczenie widzialności bardzo utrudnia bezpieczną ewakuację budynku. Czas przebywania w strefie niebezpiecznej znacznie się wydłuża, a tym samym wydłuża się też czas oddziaływania toksyn i wysokiej temperatury na człowieka. Dzieje się tak nawet pomimo stosowania w obiekcie znaków bezpieczeństwa wskazujących kierunek ewakuacji [2, 7, 11].

W przypadku zasięgu widzialności za wartości krytyczne przyjmuje się:

- 10 m – dla dużych pomieszczeń (długość przejścia ewakuacyjnego przekracza 10 m);
- 5 m – dla pomieszczeń małych.

Przybliżony czas przekroczenia krytycznej wartości zasięgu widzialności τ_{kr}^{ZW} może być wyznaczony z następującego wzoru:

$$\tau_{kr}^{ZW} = \frac{V_p \cdot \rho_g}{\dot{m}_1} \ln \frac{\dot{m}_f \cdot Y_S}{\dot{m}_f \cdot Y_S - \frac{\dot{m}_1 \cdot 0,000375}{ZW_{kr}}} \quad (3)$$

gdzie:

Y_S – emisja cząstek dymu (sadzy) dla danego typu budynku i pomieszczenia [kg/kg];
 ZW_{kr} – krytyczna wartość zasięgu widzialności (zazwyczaj 5 m) [m].

Z tym samym kryterium jest związany przybliżony czas przekroczenia krytycznej wartości wysokości górnej warstwy τ_{kr}^Z , który może być wyznaczony ze wzoru:

$$\tau_{kr}^Z = \left\{ \frac{32,72 \cdot S_p}{\alpha^{1/3}} \cdot \left[(Z_{kr} - a)^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right] \right\}^{3/5} \quad (4)$$

gdzie:

$$a = \frac{\dot{m}_1 \cdot \Delta t}{S_p \cdot \rho_g}$$

Z_{kr} – wartość krytyczna wysokości górnej warstwy (zazwyczaj 1,8 m) [m];
 Δt – czas liczony od momentu tworzenia się strefy podsufitowej [s].

Ograniczenie stężenia tlenu. Minimalne stężenie tlenu, przy którym człowiek ma możliwość przeżycia, wynosi ok. 7%, a za wartość graniczną przyjmuje się 13% objętościowych [12].

Przybliżony czas przekroczenia krytycznej wartości stężenia tlenu τ_{kr}^{ZW} może być wyznaczony z następującego wzoru:

$$\tau_{kr}^{O_2} = \left[\frac{3 \cdot V_p \cdot \rho_g \cdot \Delta H_c \cdot (x_{O_2,p} - x_{O_2}^{otw} - x_{kr}^{O_2})}{\beta \cdot Y_{O_2} \cdot \alpha} \right]^{1/3} \quad (5)$$

gdzie:

$$x_{O_2}^{otw} = \frac{\dot{m}_{O_2} \cdot x_{O_2,p} \cdot \Delta \tau_{otw}}{V_p \cdot \rho_g}$$

$$\dot{m}_{O_2} = 0,4666 \cdot W_0 \cdot \rho_g \sqrt{\frac{2g(\rho_o - \rho_g)}{\rho_o}} \cdot h_i^{3/2}$$

W_0 – szerokość otworu wentylacyjnego [m];

ρ_o – gęstość powietrza chłodnego [kg/m³];

h_i – wysokość warstwy chłodnej [m];

Y_{O_2} – zapotrzebowanie tlenu do spalania materiałów dla danego typu budynku i pomieszczenia [kg/kg];

$\Delta \tau_{otw}$ – czas, przez który jest otwarte okno lub drzwi w pomieszczeniu ze źródłem pożaru [s];

$x_{O_2,p}$ – początkowe stężenie objętościowe tlenu [kg/kg];

$x_{kr}^{O_2}$ – stężenie krytyczne tlenu (zazwyczaj 0,12) [kg/kg];

β – współczynnik efektywności spalania;

ΔH_c – ciepło spalania [MJ/kg].

Dostosowanie dróg ewakuacyjnych, zarówno poziomych, jak i pionowych, do wymagań wpływających na bezpieczeństwo użytkujących je ludzi stanowi podstawę zapewniającą bezpieczeństwo i możliwość ewakuacji z budynku [1, 13, 14 – 17, 18].

Szczegółowe wymagania techniczne dla budynków, których spełnienie zapewnia bezpieczną ewakuację, szczegółowo omówiono w Rozporządzeniu [1].

Podsumowanie i wnioski

Do głównych przyczyn pożarów w budynkach mieszkalnych, zgodnie z danymi statystycznymi Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, należy zaliczyć: nieostrożność osób dorosłych przy posługiwaniu się ogniem otwartym, w tym papierosy, zapalaki; nieprawidłową eksploatację urządzeń ogrzewczych na paliwo stałe oraz wady urządzeń i instalacji elektrycznych, a przede wszystkim przewody, osprzęt oświetlenia itp. Z zamieszczonych danych statystycznych wynika, że w budynkach średniowysokich (SW), wysokich (W) i wysokościowych (WW) w latach 2007 – 2013 liczba pożarów zmniejszała się z roku na rok, natomiast w budynkach niskich (N) odnotowano wzrost liczby pożarów. Z najnowszych badań wynika, że ponad 90% wszystkich ofiar (podczas pożarów budynków) umiera na skutek zatrucia gazami. Obszar objęty pożarem (środowisko pożarowe) jest opisywany następującymi parametrami pożaru: wysokość płomienia; powierzchnia strefy spalania; temperatura gazu w warstwie gorącej w pomieszczeniu; położenie górnej warstwy nad poziomem podłogi; stężenie O₂; stężenie CO; zasięg widzialności w dymie; czas trwania poszczególnych faz pożaru (pojawienia się różnych efektów pożaru). Dodatkowo bardzo istotne znaczenie będzie miało miejsce powstania pożaru (kuchnia, pokój dzienny, sypialnia, przedpokój).

Niezwykle ważnym elementem, o który należy zadbać już na etapie projektowania budynku, jest zapewnienie zgodnych z przepisami warunków do ewakuacji. Niektórych zaniechań konstrukcyjnych nie można bowiem łatwo dostosować do obowiązujących wymagań w fazie jego użytkowania, np. szerokości biegu schodów, czy wysokości stopni itp. W takim przypadku konieczna jest pomoc rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych polegająca na zaproponowaniu rozwiązań zamiennych bądź zastępczych dostosowujących budynek do obowiązujących wyma-

gań. Rozwiązania takie na etapie oddania do użytkowania mogą się okazać jednak bardzo kosztowne. Graficzne schematy określania konkretnych wymagań z dziedziny bezpieczeństwa ewakuacji mogą okazać się pomocne dla osób niezajmujących się na co dzień zagadnieniami bezpieczeństwa pożarowego, np. inwestorowi. Graficzne schematy (algorytmy), dzięki jasno sformułowanym pytaniom, pozwalają w jednoznaczny sposób na określenie wymagań związanych z bezpieczeństwem ewakuacji dla danego obiektu [14, 19, 20, 21, 22]. Mogą one posłużyć jako podstawa do stworzenia programu komputerowego i na podstawie wprowadzonych przez użytkownika danych wejściowych, takich jak kategoria zagrożenia ludzi, wysokość, liczba osób przebywających na danej kondygnacji itp. doprowadzić automatycznie do wygenerowania wszystkich wymagań związanych z bezpieczeństwem ewakuacji.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.).
- [2] Klote J. H. Smoke control. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 1995.
- [3] PD 7974-6:2004, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings, Human factors: Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition, 2004.
- [4] PN-EN 13501-1:2008 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków.
- [5] Borkowski R., Jaskółowski W., Piechocka E., Półka M., Fizykochemia spalania i wybuchów. Ćwiczenia laboratoryjne, SGSP, Warszawa 1996.
- [6] Sawicki T., Tworzywa sztuczne a zagrożenie pożarowe, „Bezpieczeństwo Pracy” nr 7 – 8/2003.
- [7] Mizieliński B., Systemy oddymiania budynków, WNT, Warszawa 1999.
- [8] Hockey S. M., Rew P. J. Review of human response to thermal radiation. Health and Safety Executive, 87, 1996.
- [9] Kaiser K.: Wentylacja pożarowa, projektowanie i instalacja, Warszawa 2012.
- [10] PN-B-02852 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
- [11] BS 7974:2001 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice.
- [12] Konecki M., Król B., Wróblewski D., Nowoczesne metody działań ratowniczo-gaśniczych, SGSP, Warszawa 2003.
- [13] Korzeniowski W., Warunki techniczne dla budynków i ich usytuowanie z komentarzem i 145 rysunkami, Wydanie 8. Uaktualnione i rozszerzone, Warszawa 2009.
- [14] PN-EN 1838:2005 Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- [15] PN-EN 50172:2005 Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego.
- [16] PN-N 01256-02:1992 P Znaki bezpieczeństwa – Ewakuacja.
- [17] PN-N 01256-02:1992 Znaki bezpieczeństwa. Zasady umieszczenia znaków bezpieczeństwa na drogach ewakuacyjnych i drogach pożarowych.
- [18] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. 2010 nr 109 poz. 719 z późn. zm.).
- [19] Aho A., Hopcroft J., Ullman J., Algorytmy i struktury danych, tłum. A. Grażyński, Gliwice 2003.
- [20] Klama, T., Ogólna koncepcja optymalizacji obowiązujących w Polsce przepisów dotyczących ewakuacji ludzi z budynków. Praca magisterska, SGSP, Warszawa 2013.
- [21] Pońska P., Ogólna koncepcja budowy algorytmu wyboru polskich przepisów z zakresu bezpieczeństwa pożarowego budynków dla wybranego zagadnienia. Praca magisterska SGSP, Warszawa 2013.
- [22] www.sgsp-podrecznik.x-code.pl, 03.06.2014.