

dr inż. Jadwiga Fangrat*

Ile bezpieczeństwa pożarowego w wyrobach budowlanych?

How much fire safety in building products?

Streszczenie. W artykule zaprezentowano podstawowe zagadnienia związane z rolą i znaczeniem materiałów/wyrobów budowlanych w strategii zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego budynków. Omówiono istotne elementy tej strategii ze szczególnym uwzględnieniem właściwości ogniowych wyrobów budowlanych i sposobu ich określania. W szczególności sposób podkreślono istotność problematyki spalania w zapewnieniu bezpieczeństwa pożarowego z wykorzystaniem modelowania pożaru.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, wyroby budowlane, spalanie.

Abstract. Basic aspects of the role and importance of building materials and products in the development of a strategy for ensuring fire safety in buildings are discussed. Key elements of such a strategy are presented including the fire properties of building materials/products and the procedure for their determination. Especially the importance of combustion research for fire modeling is underlined, because combustion is one of the fundamental processes in fire modeling.

Keywords: fire safety, building products, combustion.

Pisanie czy mówienie na temat pożarów na określonym poziomie ogólności jest trudnym zadaniem, ponieważ każdy pożar jest zdarzeniem jednorazowym i osadzonym w pewnym kontekście (budynek, tunel podziemny, pociąg, statek, las itd.). Można wręcz zaryzykować stwierdzenie, że bez tego kontekstu pożar nie istnieje, ponieważ właśnie kontekst tworzy problem. Kontekst może mieć charakter techniczny, socjologiczny i ekonomiczny. Te zmienne kontekstu powodują duże trudności w ustalaniu wymagań dotyczących bezpieczeństwa pożarowego. Nasuwa się pytanie: jak określamy bezpieczeństwo pożarowe budynku?

Strategia bezpieczeństwa pożarowego

Istotą strategii bezpieczeństwa pożarowego jest zapewnienie wpływu na rozwój pożaru oraz ograniczenie oddziaływania pożaru na ludzi (energia cieplna, toksyczne produkty rozkładu termicznego i spalania oraz sadza i dym). Ponadto strategia definiuje otoczenie w taki sposób, aby zredukować straty spowodowane pożarem do poziomu, przy którym całkowity ich koszt jest wielokrotnie mniejszy od nakładów poniesionych na bierne lub czynne zabezpieczenia przeciwpożarowe. **Środki bierne** ograniczają rozwój pożaru przez wydzielenie w przestrzeni budynku tzw. stref pożarowych oraz zastosowanie fizycznych barier ognia i dymu, którymi są specjalne przegrody budowlane (ściany, stropy, drzwi) o podwyższonej odporności ogniowej. **Środki czynne** to różnego rodzaju systemy gaszą-

ce, np. wodne, gazowe lub proszkowe. Do grupy środków czynnych zaliczamy również działania straży pożarnej. Osobną kategorią są systemy ostrzegawcze, np. DSO (Dźwiękowy System Ostrzegawczy), które również zwiększają bezpieczeństwo w budynku, przez podawanie sygnałów ostrzegawczych i komunikatów, np. głosowych, nadawanych automatycznie po otrzymaniu sygnału z systemu sygnalizacji pożarowej lub na żądanie operatora.

Budynki można zaprojektować i chronić w taki sposób, aby zoptymalizować ich reakcję na działanie pożaru. W wyniku oddziaływań pożarowych w budynku może nastąpić przekroczenie stanów granicznych nośności (niedopuszczalne przemieszczenia i odkształcenia), izolacyjności ogniowej, szczelności ogniowej, katastrofa postępująca itd. Ponadto materiały/wyroby budowlane można dobrać w taki sposób, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się ognia lub znacznie je zredukować. Rolę taką mogą pełnić np.: okładziny ścian wewnętrznych i zewnętrznych, pokrycia dachowe, obudowa kanałów wentylacyjnych itp.

Klasyfikacji wyrobów i złożonych z nich elementów budowlanych na potrzeby przepisów budowlanych dokonuje się na podstawie przyjętych reguł oraz norm klasyfikacyjnych i badawczych. W systemie europejskim [1 ÷ 2] stosuje się wyraźny podział na:

- **odporność ogniową dotyczącą elementów budowlanych** (ściany, stropy, słupy, drzwi itd.);
- **reakcję na ogień odnoszącą się do wyrobów.**

Elementy o podwyższonej odporności ogniowej są wykonywane najczęściej z materiałów niebiorących udziału w pożarze. Ist-

nieją wyjątki od tej reguły. Pierwszym jest drewno konstrukcyjne o odpowiednio dużych przekrojach poprzecznych, które osiąga dosyć dobre wyniki w badaniach odporności ogniowej, pomimo że ze swej istoty jest materiałem palnym. Drugim wyjątkiem są metalowe elementy konstrukcyjne, które pomimo że wykonane z materiałów klasyfikowanych jako niepalne bez konieczności badania (tabela), nie uzyskują odpowiedniej odporności ogniowej ze względu na uplastycznienie pod działaniem ciepła wydzielonego podczas pożaru. Obszar reakcji na ogień, to głównie palne materiały i wyroby, czyli takie, które biorą udział w pożarze.

Rola wyrobów w pożarze

Niektóre materiały/wyroby budowlane stanowią paliwo w pożarze, a pozostałe nie. Zależy to głównie od ich składu chemicznego, zwłaszcza od zawartości substancji organicznych [3]. Ponadto struktura i stan powierzchni mają wpływ na zachowanie się wyrobu w pożarze, ze względu na zmianę warunków wymiany ciepła w strefie reakcji. Materiały wchodzące w reakcje spalania określa się jako palne, a pozostałe jako niepalne. Fakt, że wyroby niepalne nie stają się paliwem w pożarze, nie oznacza, że zachowują swoje właściwości pod jego wpływem. Najczęściej następuje utrata wytrzymałości, pęknięcia, zarysowania, odpadanie fragmentów, głównie w wyniku początkowo odparowania wody, a następnie odgazowania pod wpływem wysokiej temperatury. W przypadku nośnych elementów konstrukcyjnych, nawet wykonanych z materiałów niepalnych, możliwa jest utrata nośności zagrażająca całej konstrukcji, ewakuacji użytkowników budynków i akcji

* Instytut Techniki Budowlanej, Dyrekcja

ekip ratowniczych. Pozytywną funkcją materiałów niepalnych jest odbieranie ciepła ze strefy spalania, które jednak trwa tylko przez krótki czas po zainicjowaniu pożaru. Możliwa jest również inna korzystna reakcja na ogień, np. gips wydziela wodę do strefy spalania, co we wczesnej fazie pożaru może dać pewien efekt tłumienia ognia. Przemiany fazowe także niekorzystnie oddziałują, czego przykładem są materiały termoplastyczne, które uplastyczniając się pod wpływem ciepła ze strefy spa-

lania, w formie płynących czy gorących kropli, mogą stanowić dodatkowe zagrożenie dla osób ewakuujących się i prowadzących akcję gaśniczą. Z kolei z wyrobów wykonanych z betonów wysokiej wytrzymałości odrywają się gwałtownie w warunkach pożaru kawałki przemieszczające się z dużą prędkością (efekt zbliżony do serii strzałów), co stwarza duże zagrożenie dla osób w otoczeniu pożaru. Istnieją metody zapobiegania takiemu zjawisku, np. „bandażowanie” elementu.

Z kwestią wyrobów w pożarze bardzo ściśle wiąże się zagadnienie skali, bardzo celnie przedstawione przez J. Torrero w pracy [4]. Tradycyjnie w badaniach nad bezpieczeństwem pożarowym wykonuje się doświadczenia w małej skali geometrycznej, a następnie po dokonaniu analizy systemowej efektu skali – ekstrapoluje wyniki do większej skali geometrycznej. Badaniom tym służy cały **zestaw norm opisujących znormalizowane metody badawcze, które stają się obligatoryjne, jeśli badania**

Materiały klasyfikowane jako niepalne bez badań

[Źródło: opracowanie własne na podstawie 7 – 10]

Material wg Decyzji Komisji Europejskiej [7 ÷ 9]	Material w polskiej wersji językowej [10]
Expanded Clay	głina spęczniała (glinoporyt)
Expanded perlite	perlit spęczniały
Expanded vermiculite	wermikulit spęczniały
Mineral wool	włna mineralna bez dodatków organicznych
Cellular Glass	szkło komórkowe (nieorganiczne)
Concrete, Includes ready – mixed concrete and precast reinforced and prestressed products	beton, łącznie z betonem towarowym, wyrobami sprężonymi i prefabrykowanymi
Aggregate concrete (dense and lightweight mineral aggregates, excluding integral thermal insulation). May contain admixtures and additions (e.g. PFA), pigments and other materials; includes precast units	beton kruszywowy (mineralne kruszywa zwykłe i lekkie, z wyłączeniem integralnej izolacji termicznej). Może zawierać domieszki i dodatki (np. popiół lotny), pigmenty i inne materiały; łącznie z elementami prefabrykowanymi
Autoclaved aerated units. Units manufactured from hydraulic binders such as cement and/or lime, combined with fine materials (siliceous material, PFA, blast furnace slag), and cell generation material; includes precast units	elementy z betonu napowietrzanego autoklawizowanego. Elementy wykonane ze spoiw hydraulicznych jak cement i/lub wapno połączone z materiałami drobnymi (materiały krzemianowe, popioły lotne, żużel wielkopiecowy) i materiałami tworzącymi komórki, łącznie z elementami prefabrykowanymi
Fibre cement	cement z włóknem
Cement	cement
Lime	wapno
Blast furnace slag/Pulverised Fly Ash (PFA)	żużel wielkopiecowy/popiół lotny
Mineral aggregates	kruszywa mineralne
Iron, steel and stainless steel; not in finely divided form	żelazo, stal i stal nierdzewna; nie w formie bardzo rozdrobnionej
Copper and copper alloys; not in finely divided form	miedź i stopy miedzi; nie w formie bardzo rozdrobnionej
Zinc and zinc alloys; not in finely divided form	cynk i stopy cynku; nie w formie bardzo rozdrobnionej
Aluminium and aluminium alloys; not in finely divided form	aluminium i stopy aluminium; nie w formie bardzo rozdrobnionej
Lead; not in finely divided form	ołów; nie w formie bardzo rozdrobnionej
Gypsum and gypsum based plaster; may include additives (retarders, fillers, fibres, pigments, hydrated lime, air and water retaining agents and plasticisers), dense aggregates (e.g. natural or crushed sand) or lightweight aggregates (e.g. perlite or vermiculite)	gips i tynki na bazie gipsu; mogą zawierać dodatki (opóźniacze, wypełniacze, włókna, pigmenty, wapno hydratyzowane, czynniki zatrzymujące wodę i powietrze oraz plastyfikatory), kruszywa zwykłe (np. piasek naturalny lub łamany) lub lekkie (np. perlit lub wermikulit)
Mortar with inorganic binding agents; rendering/plastering mortars, mortars for floor screeds and masonry mortars based on one or more inorganic binding agent(s), e.g. cement, lime, masonry cement and gypsum	zaprawa z nieorganicznymi czynnikami wiążącymi; zaprawy tynkarskie i zaprawy na podkłady podłogowe na bazie jednego (lub więcej) nieorganicznego materiału wiążącego np. cement, wapno, cement murarski i gips
Clay units; units from clay or other argillaceous materials, with or without sand, fuel or other additives. Includes bricks, tiles paving and fireclay units (e.g. chimney liners)	elementy z gliny lub innego materiału gliniastego z zawartością lub bez zawartości piasku i innych dodatków, takie jak cegły, dachówki, elementy klinkierowe i szamotowe (np. okładziny kominowe)
Calcium silicate units; units made from a mixture of lime and natural siliceous materials (Sand, siliceous gravel or rock or mixtures thereof). May include colouring pigments.	elementy wapienno-krzemianowe; elementy wykonane z mieszaniny wapna z naturalnym materiałem krzemianowym (np. piaskiem, żwirem krzemianowym, skałą krzemianową bądź ich mieszaniną); mogące zawierać pigmenty koloryzujące
Natural stone and slate products; a worked or non-worked element produced from natural stone (magmatic, sedimentary or metamorphic rocks) or slate	wyroby z kamienia naturalnego i łupków; obrobione lub nieobrobione elementy wyprodukowane z kamienia naturalnego (skały magmowej, osadowej, metamorficznej) lub łupków
Gypsum unit; Includes blocks and other units of calcium sulphate and water, that may incorporate fibres, fillers, aggregates and other additives, and may be coloured by pigments	elementy z gipsu; bloki i inne elementy złożone z siarczanu wapniowego i wody, mogące zawierać włókna, wypełniacze, kruszywa i inne dodatki, a także pigmenty koloryzujące
Terrazo; includes precast concrete terrazotiles and in-situ flooring	lastryko; prefabrykowane płytki lastrykowe i podłogi wykonane <i>in situ</i>
Glass; includes heat strengthened, chemically toughened, laminated and wired glass	szkło; szkło wzmacniane na gorąco, utwardzone chemicznie, laminowane oraz zbrojone siatką drucianą
Glass ceramics; glass ceramics consisting of a crystalline and a residual glass phase	ceramika szklana; ceramika szklana składająca się z fazy krystalicznej i szczątkowej fazy szklistej
Ceramics; includes dust-pressed and extruded products, glazed or unglazed	ceramika; wyroby prasowane na sucho i wytłaczane, szkliwione i nieszkliwione

służą celom klasyfikacji wyrobów. W systemie europejskim [5 – 9] stosuje się 5 metod badań reakcji na ogień (rysunek). Istnieje natomiast grupa materiałów klasyfikowanych jako niepalne, bez konieczności wykonania badań (tabela). Odrębną klasyfikację stosuje się w przypadku izolacji cieplnych rur, dachów i kabli elektrycznych.

Rozwój pożaru może być ograniczony przez dostępność paliwa (materiału palnego) lub tlenu (utleniacza). Pierwszy przypadek może nastąpić we wczesnej fazie rozwoju pożaru, a drugi w pożarze rozwiniętym w wydzielonej przestrzeni. W badaniach rozwoju pożaru w pomieszczeniu stwierdzono, że w warunkach kontrolowanych przez dostępność paliwa, ilość wydzielonej

energii oraz masa lotnych produktów spalania zależy od ilości paliwa (materiałów palnych), ponieważ turbulentna wymiana powietrza zapewnia dostateczną ilość tlenu w strefie reakcji, aby zachodziła sumaryczna reakcja stechiometryczna [10]. Natomiast ilość wydzielonego dymu zależy od dostępu powietrza zasysanego do strefy spalania [11, 12]. W takich warunkach istotne staje się określenie, jak szybko dym wypełni pomieszczenie lub wydostanie się na zewnątrz do pomieszczeń sąsiednich. Do tego celu stosuje się dosyć proste, strefowe modele pożaru, w których oblicza się temperaturę dymu i czas do rozgorzenia. Okres po rozgorzeniu nie poddaje się już takiej analizie, lecz stosuje zależności empiryczne. We współczesnych rozwiązaniach architektonicznych coraz częściej mamy do czynienia z otwartymi przestrzeniami, bez wydzielonych pomieszczeń (nowoczesne centra handlowe, hotele z atriami itp.). W takich przypadkach przydatne są bardziej zaawansowane modele typu CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*), w których wykorzystano wiedzę z dziedziny spalania, m.in. wydzielanie energii w wyniku rozkładu termicznego materiału palnego (paliwa). Wobec tego **informacje o paliwie należą do najistotniejszych zagadnień**. Zastosowanie tworzyw sztucznych w budownictwie wymagało poznania różnic występujących w zachowaniu się nowych materiałów w porównaniu z tradycyjnymi stosowanymi od lat, jak np. drewno. Opracowano liczne metody badania palności, które były jednak tylko znacznym uproszczeniem warunków rzeczywistych zredukowanych do małej skali geometrycznej [4, 12].

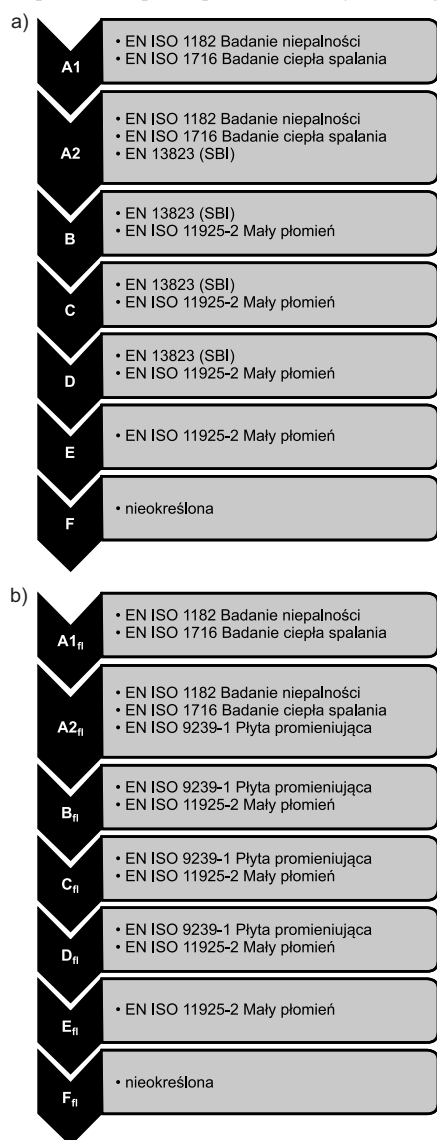
Wyroby a modelowanie pożaru

Wiedza z dziedziny spalania umożliwiła identyfikację procesów odpowiedzialnych za dostarczanie paliwa i wydzielanie energii. Na podstawie analizy teoretycznej i doświadczalnej mechanizmu przenoszenia ciepła z płomienia do niespalonego paliwa sformułowano zależności rządzące rozprzestrzenianiem płomienia. Liczne badania pozwoliły na poznanie natury tego zjawiska i powiązanie go z procesem zapłonu w fazie gazowej oraz procesem gaszenia [12, 13, 14, 15]. Określono, że rozprzestrzenianie płomienia zależy głównie od skali i formacji strumieni powietrza powstających w strefie spalania i jej otoczeniu [4]. Istotne stało się zrozumienie złożonej wymiany powietrza, kompletności procesu spalania, wytwarzania sadzy i gaszenia. Dalszy rozwój modelowania pożaru

wymagał wyjaśnienia tych zagadnień, co nadało nowe znaczenie badaniom palności będącym wcześniej jedynie bardzo uproszczonymi próbami odzwierciedlenia rzeczywistości w celu uszeregowania materiałów na podstawie zmiennych ściśle związanych z zastosowanymi scenariuszami.

Po wprowadzeniu metod opracowanych z wykorzystaniem wiedzy z dziedziny spalania, badania palności służyły określeniu sumarycznych właściwości ogniowych, które znalazły zastosowanie w modelowaniu pożaru do określenia wymiarów pożaru i ilości wydzielonej energii, np. badanie szybkości rozprzestrzeniania płomienia służyło określeniu bezwładności cieplnej ($\lambda\rho C$) i temperatury zapalenia (T_{ig}) oraz parametru rozprzestrzeniania płomienia (ϕ) opisującego przenoszenie ciepła z płomienia do paliwa. Wielkości te mogły być użyte bezpośrednio w równaniu matematycznym opisującym teoretyczną prędkość propagacji frontu płomienia [16, 17, 18]. Pomimo znacznych uproszczeń zastosowanych w tych zależnościach, znalazły one potwierdzenie w bardziej szczegółowych badaniach podstawowych [19]. W warunkach rzeczywistych, ilość ciepła transportowanego przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie zależy od bardzo wielu czynników, takich jak: geometria układu; skład chemiczny paliwa (materiału palnego); struktura materiału. Intensywność spalania zależy również od wielu czynników (chemicznych i fizycznych), dlatego trudno jest zbudować modele pozwalające na dokładne opisanie zjawiska pożaru i uzyskanie dużej zgodności wyników teoretycznych i eksperymentalnych. Konieczne staje się więc analizowanie pożarów w pewnych ściśle określonych układach. Umożliwia to znalezienie lepszych korelacji pomiędzy teoretycznym opisem pożaru a rzeczywistym jego przebiegiem. Kolejnym etapem rozwoju badań ogniowych była kalorymetria ubytku tlenu [20, 21], bazująca na zasadzie Thornтона [22] przystosowanej przez Huggetta [23] do opracowania metody badania szybkości wydzielania ciepła z jednostki powierzchni płonącego materiału (\dot{Q}''). Wielkość tę można zastosować bezpośrednio w modelach matematycznych pożaru do obliczania masy wydzielonego dymu. Równanie (1) przedstawia zależność, z której wielkość \dot{Q}'' określa się na podstawie wyników pomiarów szybkości wydzielania ciepła z jednostki powierzchni płonącego materiału uzyskanych bezpośrednio z kalorymetrii ubytku tlenu:

$$\dot{Q} = A \cdot \dot{Q}'' \quad (1)$$



Metody CEN badania wyrobów w zakresie reakcji na ogień wg EN 13501-1: a) wyroby bez posadzek; b) posadzki

[Źródło: opracowanie własne na podstawie EN 13501-1]

Powierzchnia spalania (A) jest funkcją prędkości rozprzestrzeniania płomienia (v) w czasie (t). Jest to funkcja złożona, zależna od geometrii paliwa i pola przepływu. W najbardziej niekorzystnym scenariuszu można ją opisać promieniowym rozprzestrzenianiem się płomienia po powierzchni koła o promieniu r , jako: $A = \pi r^2$, gdzie promień r jest funkcją liniową prędkości rozprzestrzeniania się płomienia, $r = vt$, a po podstawieniu do równania (1) otrzymujemy proste wyrażenie na szybkość wydzielenia ciepła:

$$\dot{Q} = \pi v^2 t^2 \dot{Q}'' = \alpha t^2 \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha = \pi v^2 \dot{Q}''$ – szybkość wydzielenia ciepła z powierzchni materiału (\dot{Q}'');

v – prędkość rozprzestrzeniania płomienia. Parametry te określa się doświadczalnie w badaniach ogniowych.

Wyniki badań można zatem przedstawić za pomocą pojedynczej wielkości α . Wyraża ona zmianę szybkości wydzielenia ciepła w funkcji czasu. Jest to praktyczny sposób, w jaki projektanci mogą stosować eksperymentalnie określoną szybkość wydzielenia ciepła w modelowaniu pożaru i obliczeniach na potrzeby kontroli dymu [4, 12]. Wyrażenie palności materiałów w sposób sformalizowany umożliwiło rozwój modeli rozprzestrzeniania się dymu, ale również rozwinęło klasyfikację materiałów/wyrobów, umożliwiając ocenę bardziej złożonych wyrobów, szczególnie wyprodukowanych z dodatkami tworzyw sztucznych. Należy podkreślić, że przemysł tworzyw sztucznych zastosował bezpośrednio metodę kalorymetru stożkowego [20 i wcześniejsze wersje] jako podstawową metodę referencyjną przy opracowaniu środków uniepalniających wyrobów z tworzyw sztucznych, co z kolei umożliwiło szerokie zastosowanie tych wyrobów w budownictwie. Mimo to, bezpośrednie wykorzystanie wyników badań doświadczalnych w małej skali geometrycznej w modelowaniu pożaru nie znalazło do chwili obecnej dużego zastosowania, głównie ze względu na znaczne różnice w warunkach wymiany powietrza w badaniach doświadczalnych prowadzonych w małej i dużej skali geometrycznej.

Podsumowanie

Odpowiedź na pytanie zawarte w tytule nie jest oczywista, głównie ze względu na złożoną naturę procesu pożaru i jego niepowtarzalność. Pomimo tych trudności bezpieczeństwo pożarowe budynku powinno być zapewnione na określonym poziomie. Bezpieczeństwa pożarowego nie osiąga się

bezkosztowo. Nakłady poniesione na jego zapewnienie są ograniczone możliwościami inwestora, stanem aktualnej wiedzy technicznej i technologicznej, rzetelnością na etapie projektowania, wykonawstwa i utrzymania budynku oraz dbałością o stan techniczny zastosowanych środków w trakcie użytkowania. Nie bez znaczenia jest również dbałość o poziom wiedzy i edukację użytkowników budynków. Nakładów poniesionych na zapewnienie bezpieczeństwa pożarowego nie należy zwiększać bez ograniczenia, ponieważ na pewnym etapie nie skutkuje to wzrostem poziomu bezpieczeństwa.

Od rodzaju i właściwości ogniowych materiałów czy wyrobów zastosowanych w budynku zależą czynniki kluczowe dla bezpieczeństwa użytkowników i osób prowadzących akcję gaśniczą, takie jak:

1) **stan graniczny nośności ogniowej elementu**, gdy nośny element budowlany przestaje spełniać swoją funkcję z powodu zniszczenia mechanicznego lub utraty stateczności oraz przekroczenia granicznej wartości przemieszczeń lub odkształceń;

2) **stan graniczny izolacyjności ogniowej elementu**, gdy element przestaje spełniać swoją funkcję oddzielającą z powodu przekroczenia wartości temperatury powierzchni nienagrzewanej;

3) **stan graniczny szczelności**, gdy element przestaje spełniać swoją funkcję oddzielającą z powodu pojawienia się płomieni na powierzchni nienagrzewanej lub wystąpienia w tym elemencie szczelin o rozwarości i długości przekraczającej graniczne wielkości;

4) **zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia lub jego znaczne ograniczenie**;

5) **czas dostępny na ewakuację**;

6) **warunki, w jakich odbywa się ewakuacja osób z pożaru**, zależne m.in. od jakości wdychanego powietrza, którą determinuje jego temperatura, stężenie tlenu, zadymienie (wpływające na widzialność), ilość sadzy i stężenie substancji toksycznych.

Wszystkie wymienione czynniki mają wpływ na czas ewakuacji, jej skuteczność i stan zdrowia osób ewakuowanych z pożaru, nie wspominając o ochronie mienia. Spalanie jest jednym z fundamentalnych procesów analizowanych w modelowaniu pożaru, z czego wynika konieczność dalszych badań.

Literatura

[1] PN-EN 13501-1+A1: 2010P: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów bu-

dynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.

[2] PN-EN 13501-2+A1:2010P: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej.

[3] Fangrat J.: Wpływ zwiększonej zawartości dodatków organicznych na właściwości ogniowe materiałów budowlanych – badania i ocena, „Materiały Budowlane”, 12/2012, 35-40.

[4] Torero J. L. Scaling-UP fire, Proceedings of the Combustion Institute, 34, 2013, 99-124.

[5] Commission Decision 2000/147/EC.

[6] Fangrat J.: Euroklasy wyrobów budowlanych w zakresie reakcji na ogień, Normalizacja, PKN, Warszawa, 2003.

[7] Commission Decision 96/603/EC.

[8] Commission Decision 2000/605/EC.

[9] Commission Decision 2003/424/EC.

[10] Instrukcja ITB 401/2004 „Przygotowanie określeniom występującym w przepisach techniczno-budowlanych klas reakcji na ogień według PN-EN”.

[11] Drysdale D.: An introduction to fire dynamics, John Wiley and Sons, New York, 1999.

[12] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers, NFPA, Quincy, Massachusetts, 2008.

[13] Williams F. A.: Mechanism of fire spread, 16th Symposium (Int.) on Combustion, 1977, 1281 – 1294.

[14] Fangrat J., Wolański P.: One dimensional analytical model of flame spread over solids, Journal of Fire Sciences, USA, Vol. 8, Nr 5 September/October, 1991, 424 – 437.

[15] Fangrat J.: Rozprzestrzenianie płomieni po powierzchni ciał stałych o budowie polimerowej. Stan wiedzy, Prace Instytutu Techniki Budowlanej, Kwartalnik, Nr 3, 1994, 25-35.

[16] Quintiere J. G., Fundamentals of fire phenomena, John Wiley and Sons, New York, 2006.

[17] ASTM 1321-97a Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1997.

[18] Quintiere J. G., A simplified theory for generalizing results from a radiant panel rate of flame spread apparatus, Fire and Materials, 5 (2), 1981, 52 – 60.

[19] Fernandez-Pello A. C., Hirano T.: Controlling Mechanisms of Flame Spread, Combustion Science and Technology, 32, 1981, 1 – 31.

[20] ISO 5660-1: 2002 Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method), ISO, Geneva, 2002.

[21] ASTM TG E5.21, TG60: Report on ASTM cone calorimeter interlaboratory trials, ASTM, 1990.

[22] Thornton W. M.: The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds, Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 6 (33), 1917, 196 – 203.

[23] Huggett C.: Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements, Fire and Materials 4 (2), 1980, 61 – 65.