

dr hab. inż. Krzysztof Chudyba, prof. PK<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0001-8880-5222

dr hab. inż. Piotr Matysek, prof. PK<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-7105-639X

# Weryfikacja odporności ogniowej ścian murowych

## Fire resistance verification for masonry walls

DOI: 10.15199/33.2024.10.

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia projektowania konstrukcji murowych ze względu na warunki pożarowe w aspekcie projektu nowej normy europejskiej EN 1996-1-2:2022. Szczególną uwagę zwrócono na zmiany i uzupełnienia wprowadzone w projekcie nowej wersji normy w stosunku do obecnie obowiązującej w Polsce PN-EN 1996-1-2:2010. Analizie poddano te zagadnienia, które wpłyną na proces projektowania i wykonywania konstrukcji murowych.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje murowe; ściany murowe; odporność ogniowa.

**Abstract.** The paper presents some selected issues of structural fire design of masonry structures within the aspect of the new European code EN 1996-1-2:2022 project. Special attention is paid to the changes and additions introduced into this pre-standard in comparison with the code PN-EN 1996-1-2:2010 which is currently in force in Poland. There were analyzed the questions that in the nearest future will influence the process of design and construction of masonry structures.

**Keywords:** masonry structure; masonry wall; fire resistance.

**B**ezpieczeństwo pożarowe jest jednym z podstawowych wymagań stawianych obiektom budowlanym. Szczegółowe kryteria odporności ogniowej, w odniesieniu do funkcji nośnej (R) lub/i izolacyjnej (EI/REI), ustala się na podstawie przepisów krajowych. W Polsce właściwym dokumentem w tym względzie jest *Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [1]. Weryfikacji tych kryteriów, w przypadku projektowanych obiektów dokonuje się natomiast z wykorzystaniem odpowiednich części Eurokodów konstrukcyjnych. Konstrukcji murowych dotyczy norma PN-EN 1996-1-2:2010 [2], która stanowi część pierwszej generacji Eurokodów opublikowanych w latach 2002 – 2007. Od kilku lat trwa proces przygotowywania nowych norm europejskich. Komitet Techniczny CEN/TC 250 opracował projekty nowych norm m.in. dotyczących konstrukcji murowych. Jednym z takich dokumentów jest projekt nowej normy prEN 1996-1-2:2022 [3], obejmującej analizę konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe, przygotowany przez specjalny zespół (Project Team SC6. T2). W przyszłości dokument ten ma zastąpić obowiązującą normę EN 1996-1-2:2005 [4] i opracowaną

na jej podstawie PN-EN 1996-1-2:2010 [2] z późniejszymi zmianami. W Polsce odpowiedzialnym za normy projektowania konstrukcji murowych jest Komitet Techniczny PKN/KT nr 252.

Nawet pobieżna lektura nowej wersji normy [3] wskazuje, że dużo jest zmian w porównaniu z obowiązującą normą [2]. Mają one różny charakter, od redakcyjnych po istotne zmiany merytoryczne, co wpłynie w najbliższych latach na proces projektowania i wykonywania budynków ze ścianami murowymi.

W artykule przedstawiono i omówiono podstawowe wymagania dotyczące sprawdzania nośności ścian murowych w sytuacjach pożarowych w świetle wymagań nowej normy [3]. Uwzględniono zmiany wynikające zarówno z rozwoju rynku materiałów murowych, jak również z badań ogniowych murów przeprowadzonych w ostatnich latach w różnych laboratoriach europejskich [5, 6, 7].

Celem artykułu jest zaprezentowanie kierunków, w jakich zmierza proces projektowania konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe, kształtowany przez zalecenia podane w projekcie nowej normy [3], a także wynikające z tego konsekwencje w realizacji budynków murowych.

### Odporność ogniowa ścian murowych

Zachowanie ścian murowych w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury zależy zarówno od czynników materia-

łowych, geometrii ściany, jak również od sposobu jej usytuowania w konstrukcji i poziomu wyteżenia. Wśród czynników materiałowych postawowe znaczenie ma rodzaj elementów murowych i zapraw użytych do wykonania ściany, a także sposób wykończenia jej powierzchni. Istotne znaczenie ma również rodzaj spoin zastosowanych w murze i stopień ich wypełnienia. Natomiast parametry geometryczne i obciążeniowe, które wpływają na odporność ogniową ścian murowych, to grubość ścian, ich wysokość, wielkości mimośrodków obciążenia oraz stopień wyteżenia. Z podanego zestawienia wynika, że liczba parametrów warunkujących zachowanie się ścian murowych w warunkach pożaru jest bardzo duża, dlatego też analiza tych ścian w warunkach pożarowych jest zagadnieniem bardzo złożonym.

Weryfikację odporności ogniowej ścian murowych różnych typów (konstrukcyjnych lub niekonstrukcyjnych) przeprowadza się obecnie na podstawie badań ogniowych, z zastosowaniem metody tabelarycznej oraz z wykorzystaniem różnych modeli i metod obliczeniowych.

Badania ogniowe pozwalają uzyskać wgląd w rzeczywiste zachowanie ścian murowych w sytuacji pożaru, przez możliwość obserwacji różnych procesów i zjawisk towarzyszących oddziaływaniu wysokiej temperatury, a także ocenić poziom odporności ogniowej konkretnego ustroju murowego. Badania doświadczalne są również niezbędne do określenia podstawowych paramet-

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: kchudyba@pk.edu.pl

trów materiałowych murowych – fizycznych, termicznych, mechanicznych – w funkcji temperatury. Przy realizacji badań ogniowych murów zastosowane są odpowiednie przepisy normowe, określające szczegółowe procedury ich prowadzenia. Badania prowadzone zgodnie z normami [8, 9] przez akredytowane laboratoria na zlecenie producentów elementów murowych i zapraw pozwalają na opracowanie wytycznych projektowania ścian murowych w danym systemie. Przykłady i opisy takich badań można znaleźć w publikacjach [10, 11].

Prostym sposobem weryfikacji kryteriów odporności ogniowej ścian murowych są tabele, w których podano minimalną grubość ścian w przypadku danego poziomu odporności ogniowej. Sprawdzeniu podlega grubość projektowanej ściany. W przypadku, gdy jest ona większa od minimalnej grubości podanej w tabeli, to przyjmuje się, że odporność ogniowa ściany jest wystarczająca. W tabelach podanych w aktualnie obowiązującej normie [2] wiele rodzajów ścian murowych nie ma określonej minimalnej grubości lub podano szerokie przedziały wartości minimalnej grubości. Zastosowanie prostej metody tabelarycznej jest więc obecnie w wielu przypadkach ograniczone, co utrudnia projektowanie budynków.

Analiza konstrukcji w sytuacji pożarowej z wykorzystaniem metod obliczeniowych obejmuje kilka etapów:

1) **wybór właściwego scenariusza pożarowego**, opisującego przebieg zmian temperatury w czasie trwania pożaru z wykorzystaniem informacji i szczegółowych modeli podanych w normie PN-EN 1991-1-2 [12];

2) **przeprowadzenie analizy termicznej**, czyli określenie rozkładu temperatury w poszczególnych punktach konstrukcji w danej chwili trwania oddziaływania pożarowego wg przyjętego scenariusza pożarowego;

3) **dokonanie analizy mechanicznej**, czyli ustalenie odpowiedzi konstrukcji murowej na zadane pole temperatury;

4) **weryfikacja odpowiednich kryteriów odporności ogniowej**.

W celu przeprowadzenia kompleksowej analizy konstrukcji murowych konieczna jest znajomość wielu parametrów fizykotermicznych oraz mechanicznych zastosowanych w konstrukcji ele-

mentów murowych oraz zapraw, a także parametrów determinujących zjawisko przepływu ciepła w sytuacji pożaru. Zaawansowane modele są w praktyce stosowane niezwykle rzadko. Częściej wykorzystuje się natomiast zaproponowaną w normie [2] metodę uproszczoną bazującą na przekroju zredukowanym. Przykłady zastosowania metody uproszczonej i wnioski z nich wynikające przedstawiono w pracach [13, 14].

### Nowa norma europejska prEN 1996-1-2:2022

Nowa norma europejska prEN 1996-1-2:2022 dotycząca projektowania konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe uwzględnia doświadczenia zebrane przez okres stosowania pierwszej generacji Eurokodów. Spowodowały one, że szczegółowy zakres i układ treści projektu normy prEN 1996-1-2:2022 [3] uległy wielu zmianom w porównaniu z normą PN-EN 1996-1-2 [2]. Tekst główny projektu nowej wersji normy liczy 18 stron i składa się z 7 rozdziałów. Jest to jedna z niewielu norm europejskich, których objętość części podstawowej uległa zmniejszeniu w stosunku do obecnie obowiązującego dokumentu normowego. Zrezygnowano z przedmowy i skrócono niektóre rozdziały, natomiast w obu wersjach obowiązują te same wymagania ogólne i definicje.

Znaczne zmiany dotyczą załączników do normy. Z nowej wersji normy usunięto Załącznik A, w którym podane są ogólne wskazówki dotyczące czynników wpływających na zachowanie ścian murowych w warunkach pożaru i ustalania odporności ogniowej na podstawie badań. Zrezygnowano również z uproszczonej metody obliczeń na podstawie przekroju zredukowanego, zamieszczonej w Załączniku C normy [2]. Wprowadzono natomiast zupełnie nowe informacje o sposobie określania cech materiałowych do przeprowadzenia analizy konstrukcji w warunkach pożarowych (Załącznik B normy [3]). Ostatecznie w projekcie normy [3] zamieszczono 3 załączniki zamiast 5, jak w wersji dotychczasowej.

Warunek podstawowy, jaki muszą spełniać konstrukcje murowe w sytuacji pożarowej, nie uległ zmianie:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (1)$$

gdzie:

$E_{d,fi}$  – obliczeniowy efekt oddziaływań w warunkach pożarowych, wyznaczony zgodnie z normą [12], uwzględniający efekty odkształceń termicznych;

$R_{d,fi}$  – odpowiadająca nośność obliczeniowa w sytuacji pożarowej.

Spełnienie tego warunku należy wykazać na podstawie analizy konstrukcji zgodnie z normą prEN 1990:2020 [15]. Nowa wersja normy [3] podaje, że spełnienie warunku (1) można również wykazać, stosując metodę tabelaryczną lub wykorzystując wyniki badań ogniowych. Metodę tabelaryczną podano w Załączniku A nowej wersji normy. Ma on charakter normatywny, a nie informacyjny, jak pozostałe załączniki, które podają szczegóły dotyczące metod obliczeniowych.

Podstawowym sposobem weryfikacji odporności ogniowej ścian murowych pozostaną więc zapewne zamieszczone w normie **tabele z minimalną grubością ścian ( $t_p$ )**. Wartości tabelaryczne przyjmowane w dotychczasowych normach bazowały na wynikach badań doświadczalnych. W przypadku normy [2] były to przede wszystkim testy wykonane w różnych krajach, często jeszcze wg krajowych procedur, a nie norm [8, 9], i dlatego też nie było pełnej zgodności co do wartości minimalnej grubości ścian. Analizy i badania tego typu prowadzono również w naszym kraju. W konsekwencji norma pierwszej generacji Eurokodów nie zawierała konkretnych wartości  $t_p$ , a przedziały tego parametru były w wielu przypadkach dość szerokie. W ramach prac zespołu opracowującego nową wersję normy europejskiej zebrano z krajów członkowskich dokumentację i wyniki badań ogniowych ścian murowych, które stanowią podstawę proponowanych wartości tabelarycznych. Proces ten dotyczył przede wszystkim ścian nośnych. Przy opracowaniu nowej normy uwzględniono tylko wyniki uzyskane na podstawie badań zgodnych z procedurami badawczymi podanymi w normach [8, 9] i zmodyfikowane wartości zamieszczono ostatecznie w Załączniku A nowej wersji normy [3]. Należy w tym miejscu wskazać jedną istotną zmianę o charakterze ilościowym, dotyczącą minimalnej grubości ścian w przypad-

ku danego rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego i wymaganego poziomu odporności ogniowej. W normie EN 1996-1-2:2005 [4] oraz obowiązującej w Polsce PN-EN 1996-1-2 [2] podawano w wielu przypadkach przedział wartości minimalnej grubości ściany, np. 100/140 mm, podczas gdy w projekcie nowej wersji normy [3] operuje się już niemal wyłącznie jedną wartością. Prawie zawsze jest to wartość najmniejsza z podawanego wcześniej przedziału. Podanie konkretnej minimalnej grubości ściany zamiast przedziału wartości jest bardzo korzystne ze względów projektowych. Projektanci nie będą bowiem musieli wykonywać dodatkowych analiz w celu oceny, która wartość z przedziału jest w danym przypadku właściwa. Przyspieszy to więc i uprości proces projektowania budynków. Przykładowe porównanie minimalnych grubości ścian nośnych (kryterium REI), określonych na podstawie danych tabelarycznych, zamieszczonych w [2 i 3], przedstawiono na rysunku 1.

W Polsce tradycyjnie stosowane są konstrukcyjne ściany murowe o grubości nie mniejszej niż 180 mm. Wynika to m.in. z zapisów obecnie obowiązującej normy PN-EN 1996-1-1 [16], która zaleca grubość 180 mm jako minimalną

**Odporność ogniowa oddzielających nośnych ścian murowych o grubości 180 mm (kryteria REI) – ściany z elementów murowych grupy 1S, grupy 1 lub grupy 2 na zaprawach zwykłych, do cienkich spoin lub lekkich z wypełnionymi spoinami**

*Comparison of values of fire resistance for separating loadbearing masonry walls with thickness equal to 180 mm (criteria REI) – walls from masonry elements group 1S, group 1 or group 2 – mortars: general purpose, thin layer, lightweight – masonry walls with filled joints*

REI	Rodzaj elementów murowych, z których wykonano ścianę				
	ceramiczne	silikatowe	beton lekki	beton zwykły	autoklawizowany beton komórkowy
REI	120*)	180	240	240	240

Uwaga 1: podane w tabeli wartości dotyczą ścian z obustronnym tynkiem gipsowym o grubości co najmniej 10 mm lub innym tynkiem zwiększającym odporność ogniową ścian wg [3].

Uwaga 2: podane w tabeli wartości odpowiadają poziomowi obciążenia  $\mu_0 \leq 0,7$  – współczynnik  $\mu_0$  jest ilorazem obliczeniowego obciążenia pionowego ściany w sytuacji pożaru do nośności obliczeniowej ściany zgodnie z PN-EN 1996-1-1.

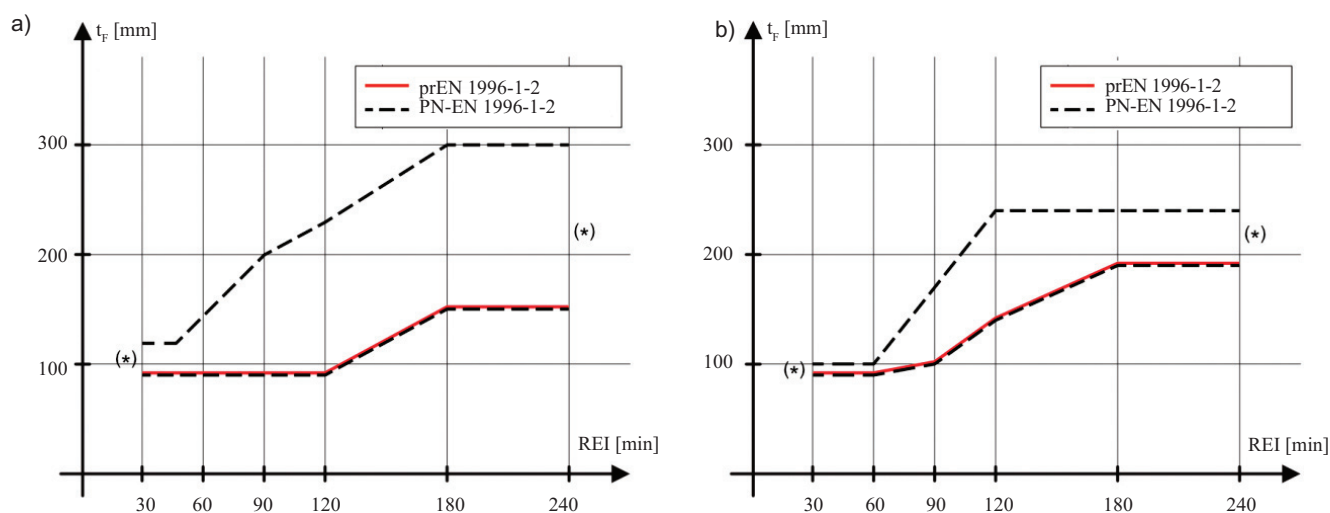
\*) z wyjątkiem ścian z elementów ceramicznych grupy 1 o gęstości mniejszej niż 1000 kg/m<sup>3</sup>, w przypadku których REI90

w przypadku usztywniających ścian konstrukcyjnych. W tabeli podano wyniki przeprowadzonej przez nas analizy na podstawie tabel zamieszczonych w Załączniku A nowej wersji normy [3]. Zestawiono odporność ogniową (kryterium REI) ścian konstrukcyjnych z różnych rodzajów elementów murowych w przypadku grubości ściany 180 mm, przy czym uwzględniono ściany z elementów murowych grup: 1S; 1 oraz 2.

Z zestawienia wynika, że ściany murowe o grubości 180 mm spełniają kryterium REI120, a w wielu przypadkach nawet je przekraczają. Są to bardzo satysfakcjonujące wyniki. Nadal jednak

w przypadku wielu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych ścian murowych nie podano wartości liczbowych w tabelach z Załącznika A nowej normy [3], co powoduje konieczność weryfikacji odporności ogniowej innymi metodami.

Istotne zmiany wprowadzane normą prEN 1996-1-2 [3] dotyczą metod obliczeniowych stosowanych do weryfikacji odporności ogniowej ścian murowych. W projekcie nowej wersji normy wszystkie informacje dotyczące metod obliczeniowych podano w Załączniku B (informacyjnym), który zatytułowano „Parametry/dane wejściowe do modeli obliczeniowych”. Podstawę wprowa-



**Rys. 1. Porównanie minimalnej grubości ścian murowych, podanych w tabelach normowych zamieszczonych w [2 i 3] w przypadku ścian: a) z blozków z betonu komórkowego ( $2 \text{ MPa} \leq f_b \leq 4,0 \text{ MPa}$ ;  $350 \leq \rho \leq 500$ ); b) z elementów ceramicznych grupy 2 ( $5 \text{ MPa} \leq f_b \leq 35 \text{ MPa}$ ;  $800 < \rho \leq 2200$ ); (\*) przedział wartości;  $f_b$  – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie elementów murowych,  $\rho$  – gęstość objętościowa elementów murowych w  $\text{kg/m}^3$**

*Fig. 1. Comparison of masonry wall minimum thickness required for fire resistance according to tabulated data in [2 and 3]: a) values for masonry walls from autoclaved aerated concrete masonry units ( $2 \text{ MPa} \leq f_b \leq 4,0 \text{ MPa}$ ;  $350 \leq \rho \leq 500$ ); b) values for masonry walls from clay units of group 2 ( $5 \text{ MPa} \leq f_b \leq 35 \text{ MPa}$ ;  $800 < \rho \leq 2200$ ); (\*) range of values;  $f_b$  – normalized compressive strength for masonry units;  $\rho$  – volume density of masonry units in  $\text{kg/m}^3$*

dzonych w tym dokumencie zmian stanowiły analizy i zrealizowane badania doświadczalne, które zostały opisane m.in. w publikacjach [5, 6, 7]. Stwierdzono, że metoda bazująca na przekroju zredukowanym nie została wystarczająco zweryfikowana doświadczalnie i w związku z tym usunięto ją – jak już wcześniej wspomniano – z tekstu nowej normy wraz z wszystkimi pomocami projektowymi, np. rozkładami/profilami temperatury w przekroju muru z różnych rodzajów materiałów.

W projekcie nowej wersji normy zachowano natomiast, bez żadnych zmian czy modyfikacji w porównaniu z normą [2], zależności do określania wartości obliczeniowych właściwości fizycznych i termicznych (gęstość, przewodność cieplna, ciepło właściwe) różnych elementów murowych, które stosowane są do analizy termicznej. W przypadku określania właściwości mechanicznych wprowadzono zmiany w definiowaniu współczynnika redukcyjnego  $k_\theta$ , który jest funkcją temperatury. Wartości właściwości mechanicznych  $X$  przy danym poziomie temperatury  $\theta$  określa się jako  $k_\theta X$  i dlatego wartości obliczeniowe podaje wzór:

$$X_{d,fi} = k_\theta X_k / \gamma_{M,fi} \quad (2)$$

gdzie:

$X_k$  – wartość charakterystyczna cechy materiałowej w temperaturze zwykłej;

$\gamma_{M,fi}$  – częściowy współczynnik bezpieczeństwa w przypadku odpowiedniej cechy materiałowej w sytuacji pożarowej.

W nowej wersji normy [3] przyjęto, że wartość cechy materiałowej w danej temperaturze może być wyrażona jako wielomian drugiego stopnia:

$$X_\theta = A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2 \quad (3)$$

gdzie:

$A_0, A_1, A_2$  – parametry określone na podstawie analizy krzywej regresji wyników badań eksperymentalnych.

Ostatecznie, współczynnik redukcyjny może być zdefiniowany jako:

$$k_\theta = 1 + (A_1/A_0)\theta + (A_2/A_0)\theta^2 \quad (4)$$

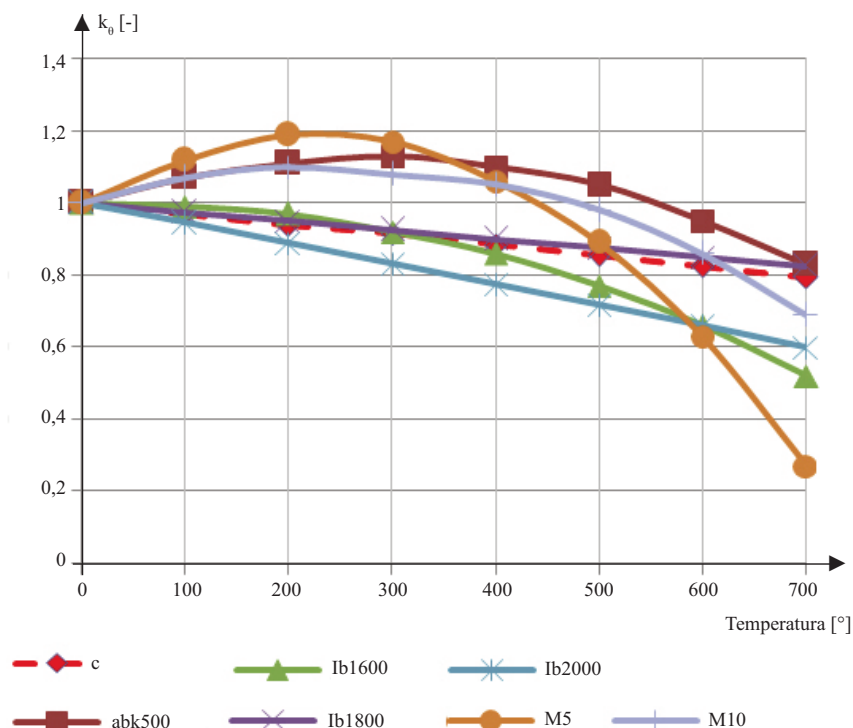
Określone przy wykorzystaniu tej formuły wartości parametrów mechanicznych są podstawą analiz obliczeniowych dotyczących nośności ścian murowych w warunkach pożarowych. Dopuszczono dwa możliwe sposoby usta-

lenia parametrów  $A_0, A_1, A_2$  występujących w równaniach (3 i 4). Pierwszy z nich to przeprowadzenie badań na próbkach wykonanych z rozważanego materiału wg dokładnie określonej procedury [17, 18], a następnie analiza uzyskanych wyników w celu określenia wymaganych parametrów, z wykorzystaniem narzędzi statystycznych. W drugim przypadku można wykorzystać bezpośrednio dane zamieszczone w załączniku nowej wersji normy w postaci wartości liczbowych parametrów  $A_1/A_0$  i  $A_2/A_0$ , występujących w równaniu (4).

Na rysunku 2 podano wartości współczynnika  $k_\theta$ , w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie, określone zgodnie z nową wersją normy [3]. Warto zaznaczyć, że w normie tej nie zamieszczono wartości współczynnika  $k_\theta$  w przypadku ceramiki, dlatego też na rysunku 2 podano je, wykorzystując wyniki badań przedstawionych w pu-

blikacjach zamieszczonych jako bibliografia do nowej wersji normy [3]. Są one bardzo zbliżone do wartości podanych w aktualnie obowiązującej normie [2], gdyż różnice nie przekraczają 5%.

Jak wynika z rysunku 2, w temperaturze powyżej 400°C następuje wyraźny spadek wytrzymałości materiałów murowych. W temperaturze 700°C redukcja wytrzymałości na ściskanie wynosi od 76% (zaprawa M5) do 17% (autoklawizowany beton komórkowy). Należy podkreślić, że nowy Załącznik B podaje szczegółowe procedury, które mają służyć uzyskaniu wiarygodnych danych w postaci zdefiniowania cech materiałowych w funkcji narastającej temperatury pożarowej. Szczegółowe dane dotyczą w normie jedynie wybranej grupy materiałów, z których produkowane są elementy murowe, oraz dwóch rodzajów zapraw. W pozostałych przypadkach wymagane jest wykonanie badań



Rys. 2. Wartości współczynnika  $k_\theta$  różnych materiałów murowych wg [3]: ABK500 – autoklawizowany beton komórkowy o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup>; lb1600, lb1800, lb2000 – betony lekkie o gęstości odpowiednio 1600, 1800 i 2000 kg/m<sup>3</sup>; M5 – zaprawa o wytrzymałości 5 MPa; M10 – zaprawa o wytrzymałości 10 MPa; c – ceramika ( $f_\theta$  – wytrzymałość na ściskanie materiału w temperaturze  $\theta$ )

Fig. 2. Values of  $k_\theta$  for different masonry materials according to [3]: AAC00 – autoclaved aerated concrete with density of 500 kg/m<sup>3</sup>; lb1600, lb1800, lb2000 – light concrete with density of 1600, 1800 and 2000 kg/m<sup>3</sup>, respectively; M5 – mortar with strength 5 MPa; M10 – mortar with strength 10 MPa, c – ceramic; ( $f_\theta$  – compressive strength for material at temperature level  $\theta$ )



doświadczalnych wg odpowiednich procedur normowych. Należy jednocześnie podkreślić, że wiarygodne dane materiałowe są podstawą wszystkich zaawansowanych modeli obliczeniowych do przewidywania termomechanicznego zachowania różnych konstrukcji murowych [19, 20, 21, 22, 23]. Każda z zaawansowanych metod obliczeniowych powinna bazować na uznanych zasadach i założeniach teorii przepływu ciepła oraz mechaniki konstrukcji, uwzględniających zmianę właściwości mechanicznych materiałów murowych wraz z temperaturą. Metody takie powinny zostać pozytywnie zweryfikowane doświadczalnie. W związku z tym, że z nowej normy usunięto metodę uproszczoną, w praktyce weryfikacja odporności ogniowej ścian murowych na podstawie obliczeń będzie, naszym zdaniem, rzadko stosowana. Podstawową metodą weryfikacji pozostanie metoda tabelaryczna.

## Podsumowanie

Szczegółowa analiza obliczeniowa ścian murowych w warunkach pożarowych jest zagadnieniem złożonym ze względu na wiele czynników, które warunkują zachowanie się ścian podczas działania temperatury pożarowej. Do podstawowych czynników wpływających na odporność ogniową ścian murowych zaliczyć należy: rodzaj materiałów (elementów murowych i zapraw) użytych do wykonania konstrukcji murowej; parametry geometryczne ściany (grubość, wysokość), poziom jej wyłożenia; rodzaj i sposób wykończenia powierzchni. Dodatkowo w analizach należy uwzględnić odpowiedni realistyczny scenariusz pożarowy, zmienność cech materiałowych w funkcji temperatury oraz odkształcenia termiczne i deformacje ścian. Z tych względów normy projektowania konstrukcji murowych w warunkach pożarowych podają inne, poza analizą obliczeniową, metody weryfikacji odporności ogniowej ścian murowych.

Najczęściej w praktyce projektowej stosowana jest metoda tabelaryczna, uwzględniona również w nowej wersji normy opracowanej w procesie tworzenia drugiej generacji Eurokodów. W no-

wej wersji normy prEN 1996-1-2 [3] uwzględniono wyniki badań i analiz z ostatnich kilkunastu lat. Jak wykazano w artykule, ściany murowe konstrukcyjne o grubościach tradycyjnie stosowanych w Polsce charakteryzują się dużą odpornością ogniową.

Dane w tabelach normowych nie obejmują wszystkich możliwych przypadków ścian. W wielu sytuacjach konieczne jest więc prowadzenie odpowiednich badań doświadczalnych i/lub analiz obliczeniowych. W normach europejskich opracowanych wiele lat temu podano procedury badania ścian murowych i takie badania są prowadzone w specjalistycznych laboratoriach. Nowa norma prEN 1996-1-2 [3] zawiera natomiast dodatkowo zalecenia dotyczące sposobów określania parametrów mechanicznych materiałów murowych w danej temperaturze, co ma podstawowe znaczenie w procesie tworzenia i weryfikacji modeli obliczeniowych konstrukcji murowych i analizach tych konstrukcji w warunkach pożarowych. Podanie normowych ujednoczonych procedur badań materiałów murowych w wysokiej temperaturze jest szczególnie ważne w przypadku nowych rozwiązań materiałowych, które wciąż pojawiają się na skutek dynamicznego rozwoju rynku materiałów budowlanych.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z 27 października 2023 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Dz.U. 2023 poz. 2442.
- [2] PN-EN 1996-1-2:2010 – Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe, 2010.
- [3] prEN 1996-1-2:2022 – Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, September 2022.
- [4] EN 1996-1-2:2005 – Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, 2005.
- [5] Andreini M, Caciolai M, La Mendola S, Mazziotti L, Sassu M. Mechanical behaviour of masonry materials at high temperatures. *Fire and Materials*. 2015; 39 (1): 41 – 57.
- [6] Andreini M, De Falco A, Sassu M. Stress-strain curves for masonry materials exposed to fire action. *Fire Safety Journal*. 2014; 69.
- [7] Meyer U, van der Pluijm R, Andreini M, Pettit G, Miccoli L. Design of masonry panels sub-

jected to fire in Europe: an overview on the new draft of EN 1996-1-2, *Proceedings of the 17th International Brick and Block Masonry Conference (IB2MaC 2020)*, July 5-8th 2020, Kraków, Poland, CRC Press/Balkema – Taylor & Francis Group, 2020.

- [8] EN 1363-1 Fire resistance tests – Part 1: General requirements.
- [9] EN 1365-1 Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 1: Walls.
- [10] Chudyba K, Matyszek P. Odporność ogniowa ścian murowych. *Czasopismo Techniczne/Technical Transactions*, 2-B/2011, zeszyt 18, rok 108, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISSN 0011-4561, str. 3-22.
- [11] Chudyba K, Matyszek P. Projektowanie ścian murowych z uwagi na warunki pożarowe w świetle wymagań Eurokodów. *Materiały Budowlane*. 2012; 7 (479): 84 – 87.
- [12] PN-EN 1991-1-2:2006: Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje – Część 1-2: Oddziaływanie na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [13] Chudyba K, Koziński K. Określanie odporności ogniowej ścian murowych metodą uproszczoną wg PN-EN 1996-1-2. *Materiały Budowlane*. 2014; 7 (503): 10 – 12.
- [14] Turkowski P, Roszkowski P, Sulik P. Projektowanie konstrukcji murowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 6, ITB 2016.
- [15] prEN 1990:2020: Basis of structural design.
- [16] PN-EN 1996-1-1:2010 – Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych, 2010.
- [17] EN 12390-1 Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.
- [18] EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens.
- [19] Andreini M, Sassu M. Behavior of masonry walls subjected to fire: experimental tests and analytical model. *Proceedings of SEMC 2010*, September 2010, Cape Town – South Africa. In *Advances and Trends in Structural Engineering, Mechanics and Computation*, Press/Balkema, Leiden, 2010.
- [20] O’Meagher AJ, Bennets ID. Modelling of concrete walls in fire, *Fire Saf. J.* 1991; 17: 315 – 335.
- [21] Nadjai A, O’Garra M, Ali FA. Finite element modelling of compartment masonry walls in fire, *Comput. Struct.* 81 (18-19) 2003: 1923 – 1930.
- [22] Nadjai A, O’Garra M, Ali FA, Laverty D. A numerical model for behavior of masonry under elevated temperature. *Fire Mater.* 2003; 27: 163 – 182.
- [23] Nguyen TD, Fekri M, Chammas R, Mebarki A. The behaviour of masonry walls subjected to fire: modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. *Fire Saf. J.* 2009; 44: 629 – 641.

Wpłynął do redakcji: 28.01.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 15.09.2024 r.

Opublikowano: