

dr hab. inż. Dorota Brzezińska, prof. PŁ<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0003-4615-4454

Maria Brzezińska<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0002-9095-817X

# Palność fasad – analiza problemu i porównanie metod badań ogniowych

## *Combustible facade – problem analysis and comparison of fire testing methods*

DOI: 10.15199/33.2024.03.11

**Streszczenie.** W artykule został opisany przykład pożaru w Grenfell Tower w Londynie na tle statystyki pożarów elewacji w budynkach na przestrzeni ostatnich sześćdziesięciu lat. Przedstawiono też stosowane obecnie materiały okładzinowe i sposoby przeprowadzania ich badań ogniowych oraz najnowsze zmiany brytyjskich przepisów pożarowych. Celem artykułu było ukazanie rangi problemu, jakim może okazać się stosowanie palnych okładzin elewacyjnych na budynkach wysokich oraz różnych warunków prowadzenia badań ogniowych w Polsce wg dostępnych standardów.

**Słowa kluczowe:** materiały elewacyjne; bezpieczeństwo pożarowe elewacji; architektura budynków wielokondygnacyjnych; Grenfell Tower; palność materiałów izolacyjnych.

**Abstract.** The following article describes an example of a fire in Grenfell Tower in London against the background of statistics of fires on façades in buildings over the last 60 years, compares and evaluates currently used cladding materials and methods of conducting their fire tests, and presents the latest changes in British fire regulations. The aim of the article was to show the importance of the problem that may arise when using flammable facade cladding on high-rise buildings and the differences in the conditions for conducting fire tests in Poland according to available standards.

**Keywords:** facade materials; fire safety of facades; architecture of multi-story buildings; Grenfell Tower; flammability of insulating material.

Zastosowanie palnych materiałów fasadowych w budynku może prowadzić do wielu poważnych problemów i zagrożeń. W pierwszej kolejności jest to związane ze zwiększonym ryzykiem powstania pożaru, a w dalszej kolejności wydzielaniem się dymu i trujących gazów, zwiększeniem szybkości rozprzestrzeniania się ognia i trudności ugaszenia pożaru. Na rysunku 1 pokazano, że liczba pożarów elewacji w ostatnich latach gwałtownie się zwiększyła. Do lat dziewięćdziesiątych okładziny zewnętrzne były stosowane przede wszystkim w budynkach przemysłowych lub specjalnych. W późniejszym okresie, ze względu na wzrost wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej budynków, zaczęto je instalować także w budynkach mieszkalnych. Dane liczbowe pokazują, że spowodowało to wzrost liczby pożarów okładzin, których od 2000 r. odnotowywano po kilkadziesiąt, a w ostatnich latach nawet ponad sto rocznie [1].

Jak pokazuje analiza rynku budowlanego, w ostatnich dziesięcioleciach panele kompozytowe zostały uznane za materiał budowlany, który można szybko zainstalować jako zewnętrzną okładzinę budynków, pełniącą jednocześnie funkcje estetyczne i izolacyjne. Upowszechnienie paneli wynika z ich elastyczności w kształtowaniu, doskonałej charakterystyki termicznej, trwałości i niewielkiego ciężaru. Okazuje się jednak,

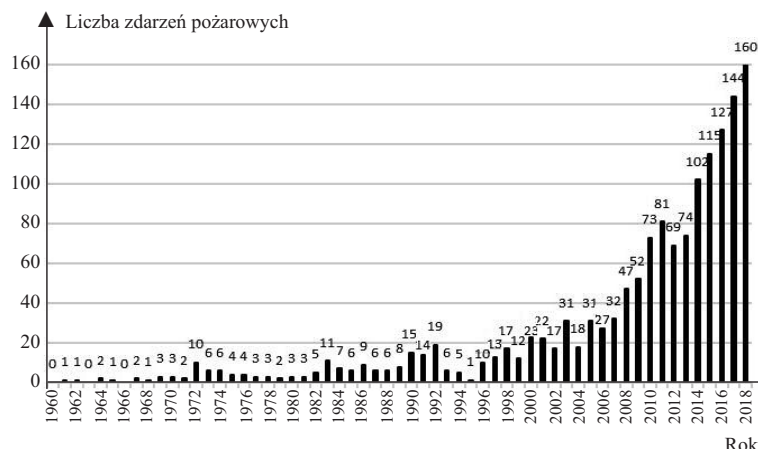
że występują obawy związane ze zwiększonym ryzykiem pożaru. Panele kompozytowe składają się zazwyczaj z okładzin aluminiowych, palnego polistyrenu ekspandowanego lub poliuretanu, a czasami z polietylenu o małej gęstości. Palność materiałów elewacyjnych powoduje, iż w trakcie rozprzestrzeniania się pożaru po ścianie zewnętrznej, okna lub inne otwory budynku umożliwiają wnikanie ognia do wnętrza budynku na piętrach znajdujących się ponad kondygnacją objętą pożarem i stwarzają wtórne źródło ognia na wielu piętrach jednocześnie. Konsekwencje ponownego wejścia ognia do budynku mogą być katastrofalne, ponieważ pożar pojawia się jednocześnie w wielu miejscach. Sytuacja taka nie jest w normalnych warunkach zakładana w scenariuszach pożarowych i brana pod uwagę podczas doboru zabezpieczeń przeciwpożarowych [2].

Do popularnych ociepleń budynków należy **pianka polietylenowa**, często stosowana w kompozytowych płytach warstwowych, uważana za wydajny i wytrzymały izolator. Ponadto jest bardzo lekka, wodoodporna i w przeciwieństwie do wielu innych materiałów izolacyjnych tworzy bezszwowe powłoki izolacyjne. Ten rodzaj izolacji stosuje się powszechnie w budynkach o niskiej zabudowie, a jedną z jego głównych zalet jest duża odporność na niekorzystne warunki atmosferyczne [3]. Przeprowadzone badania toksyczności materiałów wykazały jednak, że polietylen jest wyjątkowo toksyczny w przypadku wystąpienia pożaru [4]. Okładziny wykonane z pianki polietylenowej przyczyniają się do szybkiego rozprzestrzeniania się ognia, co stwarza

<sup>1)</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

<sup>2)</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: dorota.brzezinska@p.lodz.pl



Rys. 1. Liczba odnotowanych pożarów elewacji od 1960 r. [1]  
Fig. 1. Number of recorded facade fires since 1960 [1]

ryzyko jego przemieszczenia na sąsiednie kondygnacje lub budynki [5].

Jako materiał izolacyjny w budynkach stosowana jest także **pianka polistyrenowa**, która ma bardzo dobrą izolacyjność akustyczną i termiczną oraz jest wodoodporna. Może jednak stwarzać zagrożenie pożarowe ze względu na palność. W wielu krajach istnieją przepisy dotyczące wykorzystania styropianu jako izolacji zewnętrznej pod warunkiem zastosowania dodatkowych oddzieleń ogniowych [6]. W Polsce styropian jest jednym z częściej stosowanych materiałów okładzinowych, a dosyć rzadko występują u nas pożary elewacji z jego udziałem [7]. W 2018 r. wydane zostały wytyczne SITP WP-03:2018 *Ocieplenia elewacji budynków z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe* [8] oraz Stowarzyszenia DAFA [9, 10], które proponują rozwiązania elewacyjne z wykorzystaniem okładzin styropianowych w powiązaniu z wełną mineralną.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego najlepszym materiałem dociepleniowym jest **wełna mineralna**, produkowana z kruszywa gabra, bazaltu, dolomitu czy wapienia oraz brykietu mineralnego, będącego materiałem pozyskiwanym z recyklingu, piasku kwarcowego i stłuczki szklanej z recyklingu. Ma ona bardzo dużą odporność na wysoką temperaturę, jest całkowicie niepalna, a także charakteryzuje ją duża elastyczność i sprężystość. Ponadto wełna mineralna jest odporna na uszkodzenia mechaniczne, a jednocześnie ma właściwości paroprzepuszczalne, co zapewnia odpowiedni mikroklimat w pomieszczeniach. Ze względu na wysoką cenę i dosyć duży ciężar właściwy jest jednak rzadko wykorzystywana jako podstawowy materiał izolacyjny w elewacjach. Pojawiają się jednak nowe technologie produkcji wełny mineralnej, które mogą korzystnie wpłynąć na upowszechnienie jej zastosowania [11].

Poza rodzajem materiału dociepleniowego, istotnym elementem elewacji jest jej **konstrukcja**, która może być **wentylowana lub niewentylowana** (przylegająca do ściany). W elewacjach wentylowanych nie stosuje się styropianu jako izolacji termicznej oraz stosuje się niepalne warstwy wykonczeniowe, natomiast w elewacjach niewentylowanych jest to uzależnione przede wszystkim od wysokości budynku.

## Pożar Grenfell jako przykład tragicznego w skutkach zastosowania palnej elewacji

Jednym z najtragiczniejszych przykładów skutków zastosowania materiałów palnych na elewacji był pożar 24-piętrowego budynku mieszkalnego Grenfell Tower, położonego w zachodniej części Londynu. W latach 2012 – 2016 przeprowadzono w nim remont, podczas którego elewację wykonano z kompozytowej płyty aluminiowej, która składała się z trzymilimetrowej blachy aluminiowej oraz rdzenia z polietylenu. W nocy 14 czerwca 2017 r. w kuchni jednego z mieszkań na czwartym piętrze Grenfell Tower wybuchł pożar [12]. Po dziesięciu minutach ogień przedostał się na elewację i w ciągu zaledwie 21 minut zajął znaczną jej powierzchnię. W pierwszej fazie pożaru elewacji ogień rozprzestrzenił się pionowo aż do ostatniej kondygnacji ze stałą prędkością od ok. 3,6 m/min do 8 m/min. Następnie pojawiło się poziome rozprzestrzenianie się ognia, które było najszybsze na szczycie budynku i wynosiło ok. 0,3 m/min. Krótco po przybyciu pierwszych jednostek ratowniczych ogień był już na szczycie wschodniej strony wieży i rozprzestrzenił się bokiem wzdłuż okładziny nad i poniżej linii okien oraz panelami między oknami. W tym czasie wydarzenie było już katastrofą. Pożar wymykał się spod kontroli, a mieszkańcy zostali uwięzieni w środku, ponieważ ogień nadal był podsypany przez okładzinę wieży. Dodatkowo, ramy okienne z PVC umożliwiły łatwe dostanie się płomieni do wnętrza budynku powyżej kondygnacji objętej pożarem [13]. Ci, którzy zlekceważyli obowiązujące w Wielkiej Brytanii zalecenia o pozostaniu w swoich mieszkaniach i z nich uciekli w pierwszej fazie pożaru, zdołali się uratować. Pozostawione przez nich otwarte drzwi mieszkań ułatwiły jednak rozprzestrzenianie się pożaru i wydostawanie dymu na wewnętrzne drogi ewakuacyjne, całkowicie odcinając możliwość ucieczki pozostałym mieszkańcom [14]. Strażacy mieli także trudności z prowadzeniem akcji ratowniczej z wnętrza budynku ze względu na panującą tam słabą widoczność. Nie byli nawet w stanie zidentyfikować poziomów budynku, który nie miał wewnętrznego oznakowania, co bardzo utrudniło komunikację ratowniczą. W efekcie pożaru śmierć poniosły 72 osoby [15].

Po pożarze przeprowadzono analizy i rekonstrukcje cyfrowe zdarzenia [5, 16] oraz wnikliwe dochodzenie w sprawie przyczyn tak dużego i gwałtownego rozprzestrzeniania się ognia. Dowiodły one, iż po zakończeniu generalnego remontu ściany zewnętrzne budynku nie spełniały wymagań § B4 ust. 1 Załącznika nr 1 do Prawa budowlanego, a głównym powodem rozprzestrzeniania się płomieni z dużą prędkością była okładzina z palnego aluminiowego materiału kompozytowego (ACM) z rdzeniem polietylenowym i przestrzenią wentylacyjną, które działały jako źródło pożaru [6].

Na mniejszą skalę niż w Grenfell Tower, pożary elewacji budynków wysokich i wysokościowych miały miejsce także w innych miejscach na świecie, a nawet w Polsce, np.

14 sierpnia 2019 r. w Warszawie, w wyniku zapalenia się materiałów nagromadzonych pod blokiem mieszkalnym, spłonęła elewacja budynku oraz okna klatki schodowej na dziesięciu piętrach i część okien w sąsiadujących mieszkaniach. W tym przypadku mieliśmy do czynienia z okładziną typu ETICS, a nie jak w Londynie, z okładziną wentylowaną, ale jej palność okazała się także problematyczna. Na szczęście w tym pożarze udało się ewakuować wszystkich mieszkańców i nikt nie doznał obrażeń [17].

## Nowe przepisy przeciwpożarowe w Wielkiej Brytanii

W 2005 r. w Wielkiej Brytanii wprowadzono rozporządzenie w sprawie zmiany przepisów bezpieczeństwa pożarowego, które zgodnie z ustawą o środkach ochrony przeciwpożarowej z 1971 r. zastąpiło certyfikację przeciwpożarową. Dotyczyło ono prawie wszystkich budynków, miejsc i budowli innych niż domy jednorodzinne i rekomendowało ocenę ryzyka. Nie zapewniło ono jednak wystarczającego poziomu bezpieczeństwa w budynku Grenfell Tower. W efekcie dochodzeń i badań związanych z jego tragicznym pożarem, w październiku 2019 r. powstał obszerny raport, formułujący zalecenia dotyczące zmiany brytyjskich przepisów pożarowych [18]. Wyniki raportu zawierały szczegółowe wnioski i zalecenia sugerowane do wdrożenia przez rząd. Obejmowały zwiększenie odpowiedzialności za bezpieczeństwo pożarowe właścicieli i zarządców budynków, surowe przepisy budowlane, poprawę biernej i czynnej ochrony przeciwpożarowej oraz ograniczenia dotyczące materiałów stosowanych w budownictwie. Zgodnie z sugestiami raportu stosowanie materiałów palnych, takich jak panele z rdzeniami polietylenowymi, na zewnątrz wieżowców powinno zostać zabronione i zastąpione materiałami o ograniczonej palności. Ponadto, straż pożarna i służby ratownicze powinny mieć wiedzę dotyczącą materiałów zastosowanych w poszczególnych budynkach, aby odpowiednio reagować na sytuacje awaryjne.

Konsekwencją raportu [18] było sformułowanie w Wielkiej Brytanii nowych przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego, opublikowanych 18 maja 2022 r. [19], które weszły w życie 23 stycznia 2023 r. Wymagają one od *osób odpowiedzialnych* za bezpieczeństwo w budynkach mieszkalnych średniowysokich i wysokich (również tych istniejących) przekazania informacji o stanie zabezpieczeń pożarowych służbom pożarniczym i ratowniczym w celu *pomocy w planowaniu operacyjnym i zapewnieniu dodatkowych środków bezpieczeństwa*. Osobą odpowiedzialną jest zazwyczaj, podobnie jak w Polsce, właściciel lub zarządca budynku. Przepisy temowią, iż w wysokich budynkach mieszkalnych osoby odpowiedzialne są obecnie zobowiązane do:

1) zapewnienia lokalnym służbom pożarniczym aktualnych elektronicznych planów pięter budynków i umieszczenie ich papierowej kopii w bezpiecznej skrzynce informacyjnej na miejscu;

2) dostarczenia informacji o projekcie i materiałach systemu ścian zewnętrznych budynku oraz informowania o zmianach tych materiałów;

3) dostarczenia informacji na temat poziomu ryzyka związanego z konstrukcją ścian zewnętrznych oraz podjętych kroków obniżających ryzyko pożaru, jeśli takie zostanie stwierdzone;

4) przeprowadzania comiesięcznej kontroli działania dźwignów windowych i funkcjonalności elementów sprzętu gaśniczego oraz informowania straży pożarnej o wszelkich ustawkach, jeśli nie można ich naprawić w ciągu 24 h – wyniki kontroli powinny być także udostępniane mieszkańcom;

5) zainstalowania i utrzymania bezpiecznej „skrzynki” informacyjnej, zawierającej imię i nazwisko oraz dane kontaktowe osoby odpowiedzialnej;

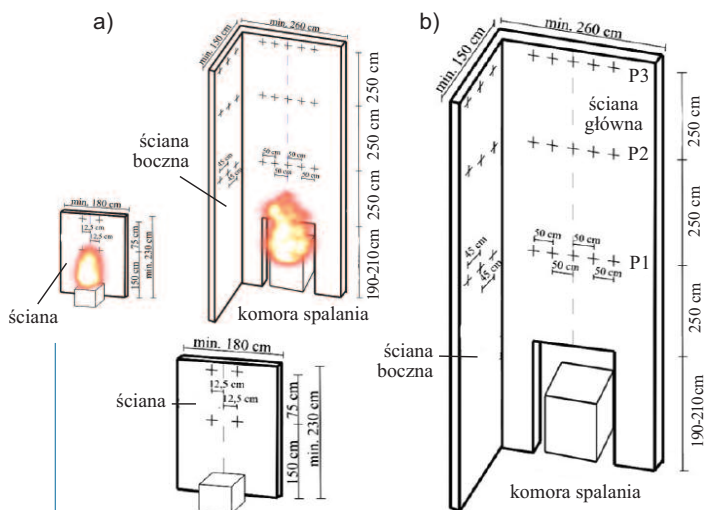
6) zainstalowania oznakowania ewakuacyjnego widocznego nawet przy słabym oświetleniu lub zadymieniu oraz numerów mieszkań i pięter na klatkach schodowych.

Ponadto, w budynkach mieszkalnych o wysokości ponad 11 m osoby odpowiedzialne będą zobowiązane do przeprowadzania corocznych kontroli drzwi wejściowych do mieszkań i kwartalnych kontroli wszystkich drzwi przeciwpożarowych w częściach wspólnych, natomiast we wszystkich wielorodzinnych budynkach mieszkalnych do przekazania mieszkańcom instrukcji bezpieczeństwa pożarowego, w tym instrukcji, jak zgłosić pożar i co zrobić po jego wystąpieniu zgodnie ze strategią ewakuacji budynku oraz uświadomienia im znaczenia drzwi przeciwpożarowych w bezpieczeństwie pożarowym.

Pożar w Londynie miał odzew ogólnoswiatowy, m.in. w Australii powołano specjalne grupy zadaniowe ds. okładzin elewacyjnych, które opublikowały wyniki audytu istniejących w budynkach materiałów budowlanych niezgodnych z przepisami. Spośród 185 000 skontrolowanych budynków zidentyfikowano 1184 z okładziną aluminiową. W konsekwencji grupa zadaniowa wysłała ponad 62 000 pism do właścicieli budynków, mieszkańców i samorządów lokalnych, informując ich o ocenie okładzin i sposobach zmniejszenia ryzyka pożaru w przypadku materiałów okładzinowych niezgodnych z wymaganiami. Ponadto, we współpracy z University of Queensland stworzono tam bibliotekę kompozytów okładzinowych i materiałów izolacyjnych, dostarczając dane do przeprowadzania analizy bezpieczeństwa systemów fasadowych. W ślad za tym mają pójść także korekty australijskich przepisów przeciwpożarowych [2].

## Badania ogniowe materiałów elewacyjnych

Podstawowym narzędziem do oceny palności materiałów budowlanych, w tym okładzin elewacyjnych, są badania ogniowe przeprowadzane w certyfikowanych laboratoriach, zgodnie z odpowiednimi standardami. W Polsce ocena stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne, zgodnie z wymaganiami normatywnymi oraz Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami), dokonywana jest wg normy PN-B 02867:2013-06 [20]. Norma ta przewiduje jako źródło ognia zastosowanie stosu z drewna sosnowego ważącego ok. 20 kg, usytuowanego bezpośrednio przy ścianie o wymiarach minimalnych 1,8 × 2,3 m, wykonanej z badanego materiału elewacyjnego (rysunek 2a). Po 15 min działania ognia na próbkę dokonywana jest ocena wizualna spa-



**Rys. 2. Stanowisko do badań ogniowych elewacji zgodne z normą: a) polską; b) brytyjską**

*Fig. 2. Facade fire testing station in accordance with the following standards: a) Polish; b) British*

lania, tlenu, żarzenia i powtórnego zapalenia. W trakcie badania prowadzony jest także pomiar temperatury na wysokości 1,5 m i 2,25 m. Punkty pomiarowe oddalone są o 12,5 cm od centralnej osi pionowej stanowiska badawczego. Podczas badania zapewniony jest napływ strumienia powietrza z prędkością 1,5 – 2,5 m/s, mierzona na górnej krawędzi stosu drewna, który imituje wpływ wiatru i ukierunkowuje gorące produkty spalania w stronę analizowanej fasady.

W Wielkiej Brytanii badania przeprowadzane są na podstawie BS 8414-1:2020-04 [21]. W teście symuluje się ogień wychodzący na elewację budynku przez okno lub otwór w fasadzie w sytuacji rozwiniętego pożaru w pomieszczeniu wewnętrznym. Badania przeprowadzane są w znacznie większej skali niż wg normy polskiej. Ściana boczna (9,7×1,5 m) jest ustawiona do ściany głównej (9,7×2,6 m) pod kątem 90°, a w testowanej elewacji można zastosować kompletny system dociepleń (rysunek 2b). Porównanie schematów obu stanowisk pokazuje znaczną różnicę w ich wielkości, sugerując, że metoda brytyjska jest bardziej zaawansowana, a odwzorowane w niej warunki pożaru znacznie bardziej zbliżone do występujących podczas rzeczywistych pożarów. Źródłem ognia jest, podobnie jak w poprzednim standardzie, stos z drewna sosnowego o wilgotności 10 – 15%, ale jednak o masie 20 razy większej, która wynosi niemal 400 kg. Listwy mają wymiar boku 5 cm i długość 1 m oraz 1,5 m. Przy założeniu, że ciepło spalania drewna o wilgotności 15% wynosi średnio 15,75 kJ/kg [22], maksymalna jego moc wynosi w tym badaniu ok. 3,7 MW. Badania zgodne z normą brytyjską mają taki sam czas trwania i ocenę skutków oddziaływania pożaru przeprowadza się po 15 minutach od jego inicjacji [21, 23, 24]. Poza przytoczonymi standardami, w przygotowaniu jest jeszcze ujednolicona norma europejska, wzorująca się w dużym stopniu na standardzie brytyjskim, która ze względu na nieznaną czas publikacji, nie została szerzej omówiona w artykule.

**Analiza numeryczna warunków w trakcie badań ogniowych.** W celu dokonania porównania warunków podczas opisanych wcześniej badań ogniowych, przeprowadzono serię sy-

mulacji CFD odwzorowujących przebieg obu testów. W tym celu stworzono trójwymiarowe modele stanowisk badawczych, zgodne z danymi przedstawionymi na rysunku 2. Symulacje przeprowadzono za pomocą programu Fire Dynamics Simulator (FDS), stworzonego przez National Institute of Standards and Technology (NIST) w Stanach Zjednoczonych, który jest najczęściej stosowanym modelem strefowym w analizach bezpieczeństwa pożarowego [25]. FDS umożliwia symulacje 3D rozwoju pożaru z wykorzystaniem równania Naviera Stokesa dotyczącego przepływów płynów, z naciskiem na transport dymu i ciepła. Z jego pomocą można odtworzyć przebieg pożaru w danym układzie architektonicznym i przeprowadzić analizę wpływu na otaczające środowisko [25]. Program FDS wykorzystuje model symulacji dużych wirów (LES), w którym następuje proces turbulentnego mieszania paliwa gazowego i produktów spalania z otaczającym powietrzem spalania, zakładając, że większość wirów jest wystarczająco duża, aby można je było obliczyć z zadowalającą dokładnością za pomocą równań dynamiki płynów, podczas gdy małe wiry są obliczane z dużą dokładnością lub są pomijane [26]. Program FDS jest powszechnie stosowany w modelowaniu zjawisk pożaru i rozprzestrzeniania się dymu. Został także zweryfikowany pod względem odwzorowania rozkładu temperatury w warunkach odpowiadających badaniom testowym zgodnym ze standardami analizowanymi w artykule [27, 28]. Dało to nam podstawę do jego wykorzystania w przeprowadzonych analizach.

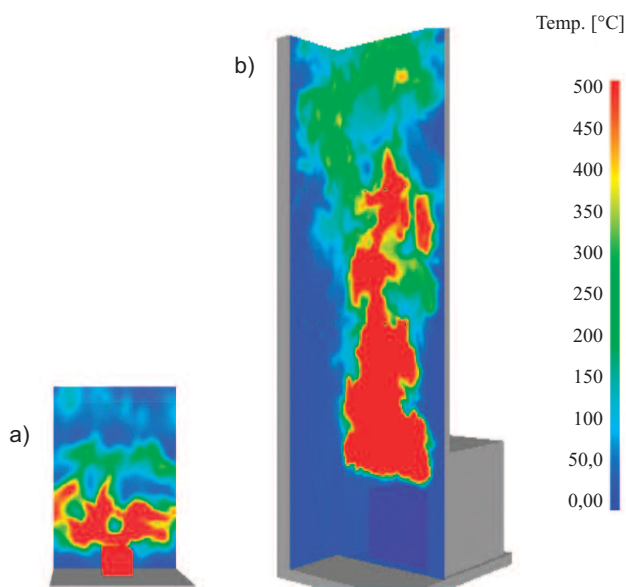
Dla symulacji CFD przyjęto początkową temperaturę powietrza wewnętrznego i zewnętrznego 20°C, ciśnienie otoczenia 1013 hPa i wilgotność względną powietrza 40%. Założono, że przegrody budowlane wykonane są z betonu o gęstości 2100 kg/m<sup>3</sup>, przewodności cieplnej 1,0 W/mK i ciepłe właściwym 0,88 kJ/kgK. Jako paliwo przyjęto drewno o parametrach zgodnych z opisanymi w punkcie dotyczącym warunków badań ogniowych, o wartości ciepła spalania 15,75 kJ/kg [22] i współczynnika emisji sadzy 0,012 kg/kg [29]. Gęstość mocy pożaru przyjęto zgodnie z wytycznymi normy NFPA 240 (wg tabeli E.5.2), na podstawie wysokości składowanego drewna, jako 1420 kW/m<sup>2</sup> w przypadku normy polskiej (stos 0,46 m) i 4000 kW/m<sup>2</sup> w przypadku normy brytyjskiej (stos 1,52 m) [30]. Uzyskano w ten sposób maksymalną moc pożaru równą odpowiednio 280 kW przy normie polskiej i 3700 kW przy normie brytyjskiej. Dodatkowo, w analizie warunków testowych zgodnych z normą polską wprowadzono napływ powietrza, imitujący wiatr w kierunku prostopadłym do źródła pożaru i ściany badawczej, z prędkością 1,5 m/s. Jednocześnie, wszystkie ściany modelu pozostawiono jako w pełni otwarte do otoczenia. Do symulacji wykorzystano siatkę obliczeniową o gęstości 0,05 m w kierunkach X, Y i Z.

W związku z tym, że analizy miały na celu ocenę oddziaływania źródła pożaru na ścianę badawczą, na której montowane są elementy elewacyjne, przyjęty w nich został pożar o stałej mocy, pochodzącej jedynie od pierwotnego źródła ognia. Na ścianach badawczych nie zastosowano żadnego materiału wykończeniowego. Pozwoliło to na obiektywną obserwację warunków, jakie są stwarzane w obu testach ogniowych, w trakcie maksymalnego rozwoju pożaru źródła początkowego, niepodsyconego palącym się materiałem elewacyj-

nym. Na tej podstawie dokonano oceny, czy słuszne jest uznanie, iż badania zgodne z normą polską można traktować równorzędnie z badaniami brytyjskimi.

Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 3. W obydwu przypadkach przyjęto skalę temperaturową do 500°C, uznając, że najistotniejsza jest wielkość powierzchni ściany, na której w wyniku oddziaływania pierwotnego źródła pożaru może się pojawić tak wysoka temperatura. Na rysunku 4 pokazano średnie i maksymalne wartości temperatury, jakie otrzymano w symulacjach w poszczególnych punktach pomiarowych obu stanowisk badawczych.

Wyniki symulacji przedstawione na rysunkach 3 i 4 pokazują, jak różne są założenia badań ogniowych wykonywanych na podstawie normy polskiej i brytyjskiej. Porównując je, można jednoznacznie stwierdzić, że uzyskiwane na podstawie obydwu standardów certyfikaty dopuszczające do stosowania materiały i systemy elewacyjne nie są równorzędne.



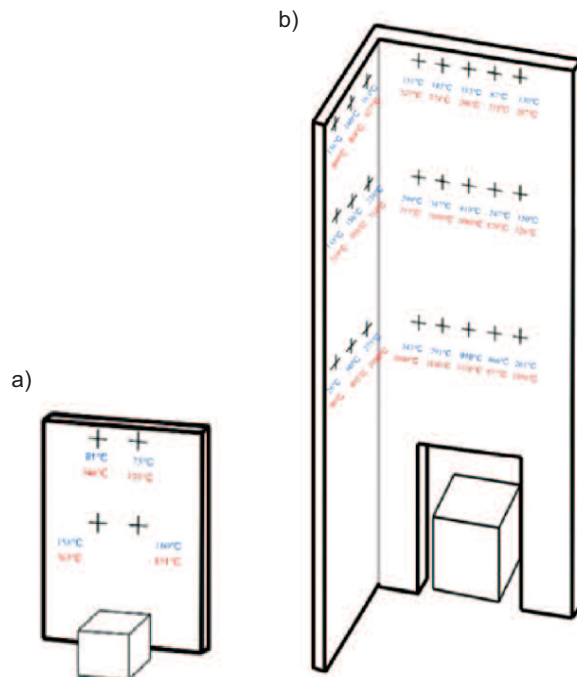
**Rys. 3.** Wynik symulacji przebiegu badań ogniowych elewacji zgodnie z normą: a) polską; b) brytyjską – rozkład temperatury na ścianie badawczej

*Fig. 3.* Simulation result of fire tests of facades in accordance with the standard: a) Polish; b) British – temperature distribution on the test wall

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule informacje na temat historycznych zdarzeń pożarowych, w których istotną rolę odegrały elewacje budynków, przede wszystkim pożar Grenfell Tower w Londynie, obrazują, jak ważny jest materiał, z którego wykonano izolację zewnętrzną, a jego zły dobór może skutkować wieloma ofiarami śmiertelnymi i ogromnymi zniszczeniami. Użyta na elewacji okładzina z kompozytowej płyty aluminiowej przyczyniła się do szybkiego rozprzestrzenienia się ognia oraz przedostania się pożaru do mieszkań znajdujących się ponad pierwotnym źródłem pożaru, a także zadymienia wewnętrznych dróg ewakuacyjnych i w efekcie śmierci 72 osób.

Istniejące materiały izolacyjne, takie jak pianka polietylenowa czy polistyrenowa, które mają świetne właściwości termiczne, są jednocześnie łatwopalne i toksyczne. Z kolei weł-



**Rys. 4.** Wynik pomiarów temperatury na ścianie badawczej w trakcie symulacji przebiegu badań ogniowych elewacji zgodnie z normą: a) polską; b) brytyjską

*Fig. 4.* The result of temperature measurements on the test wall during the simulation of fire tests on the facade in accordance with the standard: a) Polish; b) British

na mineralna, która jest materiałem całkowicie ogniodopornym, jest znacznie droższa i cięższa, co powoduje, że rzadko jest stosowana przy docieplaniu budynków. Istnieją na szczęście rozwiązania hybrydowe, takie jak zastosowanie przegród ogniowych z wełny mineralnej, na ścianie zewnętrznej pokrytej płytami polistyrenowymi, które przy spełnieniu określonych zasad montażu hamują szybkie rozprzestrzenianie się ognia po elewacji budynku.

Ważnym elementem oceny przy wyborze materiałów ociepleniowych jest sposób przeprowadzenia badań stanowiących podstawę ich klasyfikacji ogniowej. Opisana w artykule metoda badań ogniowych materiałów elewacyjnych zgodna z normą polską i brytyjską obrazuje bardzo dużą różnicę w podejściu do sposobu przeprowadzania testów, związaną przede wszystkim z wielkością stanowiska badawczego. Przedstawione wyniki symulacji pokazują, jak różne są założenia badań ogniowych wykonywanych na podstawie obu norm. Porównując je, można jednoznacznie stwierdzić, że w badaniu wg normy polskiej ogień oddziałuje tylko na płaszczyznę ściany, natomiast wg brytyjskiej – także na część nadprożową, która jest niewralgicznym miejscem ociepleń i okładzin elewacyjnych ze względu na możliwość inicjacji pożaru elewacji. Badanie wg normy brytyjskiej daje zatem znacznie dokładniejsze odwzorowanie realnych warunków przebiegu pożaru oraz weryfikację szczegółów technicznych materiału elewacyjnego i techniki jego montażu. Ciekawą obserwacją jest także fakt, że w przypadku metody brytyjskiej temperatura uzyskana w symulacjach wynosi powyżej 1000°C. Oznacza to, że również materiały niepalne, jak np. wełna szklana czy

aluminium, ulegną całkowitemu zniszczeniu. Metoda ta wskazuje zatem raczej na skutki, jakie może uczynić na elewacji rozwinięty pożar w pomieszczeniu, podczas gdy metoda polska odpowiada na pytanie, czy niewielkie źródło ognia może być przyczyną niebezpiecznego zachowania się elewacji.

W związku z tym stwierdzono, że uzyskiwane na podstawie obu standardów certyfikaty dopuszczające do stosowania materiały i systemy elewacyjne nie są równorzędne i podejmując decyzję o doborze danego materiału, należy zweryfikować, za pomocą którego z testów został on przebadany. Jednocześnie, jak pokazują opisy badań przeprowadzonych po pożarze Grenfell oraz symulacje wykonane na potrzeby artykułu, być może w przyszłości rozwiną się techniki modelowania CFD i będzie możliwe zastąpienie nimi testów ogniowych oraz ich rutynowe wykorzystanie do projektowania i analizy materiałów elewacyjnych budynków. Usunie to wiele obecnych ograniczeń i znacznie zmniejszy koszty eksperymentów fizycznych.

Problem odpowiedniego doboru i sposobu montażu nowych systemów elewacyjnych oraz weryfikacji istniejących jest z pewnością nagłą. Świadczą o tym pokazane w artykule dane statystyczne dotyczące liczby pożarów elewacji, która zwiększa się drastycznie z roku na rok. Należy mieć nadzieję, że pożar Grenfell Tower i wyciągnięte z niego wnioski odwrócą wkrótce tę zatrważającą tendencję. Jednocześnie, przedstawiona dysproporcja pomiędzy warunkami badań ogniowych zalecanych przez przepisy polskie i brytyjskie nakazuje rozważyć, czy nie należy wprowadzić w Polsce zmian w tym zakresie.

## Literatura

- [1] Bonner M, Rein G. Flammability and multi-objective performance of building façades: Towards optimum design. *Int. J. High-Rise Build.* 2018; DOI: 10.21022/IJHRB.2018.7.4.363.
- [2] Yuen ACT et al. Evaluating the fire risk associated with cladding panels: An overview of fire incidents, policies, and future perspective in fire standards. *Fire Mater.* 2021; DOI: 10.1002/fam.2973.
- [3] Semenov V, Kozlov S, Zhukov A, Ter-Zakaryan K, Zinovieva E, Fomina E. Insulation systems for buildings and structures based on expanded polyethylene. *MATEC Web Conf.* 2018, DOI: 10.1051/mateconf/201825101014.
- [4] Han-Hsi L, Ming-Chin H. Toxicity characteristics of commercially manufactured insulation materials for building applications in Taiwan. *Constr. Build. Mater.* 2007; 21(6): 1254 – 1261.
- [5] Guillaume E, Dréan V, Girardin B, Benameur F, Koohkan M, Fateh T. Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 3 – Numerical simulation of the Grenfell Tower disaster: Contribution to the understanding of the fire propagation and behaviour during the vertical fire spread. *Fire Mater.* 2020; DOI: 10.1002/fam.2763.
- [6] Zhou L, Chen A, Liu X, Zhang F. The Effectiveness of Horizontal Barriers in Preventing Fire Spread on Vertical Insulation Panels Made of Polystyrene Foams. *Fire Technol.* 2016; DOI: 10.1007/s10694-015-0478-x.
- [7] Kiejna K. Bezpieczeństwo pożarowe w aspekcie stosowania tzw. barier ogniowych w ociepleniach ze styropianu – artykuł polemiczny. *Izolacje*, vol. 2, no. 2/2021, 2021, [Online]. Available: <https://www.izolacje.com.pl/artykul/sciany-stropy/251967>, bezpieczeństwo-pozarowe-w-aspekcie-stosowania-tzw-barier-ogniowych-w-ociepleniach-ze-styropianu-artykul-polemiczny.
- [8] Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa SITP, Wytyczne SITP WP-03:2018 ocieplenia elewacji budynków z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe. 2018.
- [9] Rockwool, Poprawa bezpieczeństwa pożarowego elewacji ETICS ze styropianem. 2018.
- [10] Bagiński K, Hyjek M. Bezpieczeństwo pożarowe ścian i fasad. 2020.
- [11] Frangi A, Schleifer V, Hugi E. A New Fire Resistant Light Mineral Wool. *Fire Technol.* 2012; DOI: 10.1007/s10694-010-0209-2.
- [12] Koohkan M, Dréan V, Girardin B, Guillaume E, Fateh T, Duponche X. Reconstruction of the Grenfell Tower Fire – Thermomechanical Analysis of Window Failure During the Grenfell Tower Disaster. *Fire Technol.* 2021; DOI: 10.1007/s10694-020-00980-4.
- [13] Guillaume E, Dréan V, Girardin B, Fateh T. Reconstruction of the Grenfell Tower fire – Part 4: Contribution to the understanding of fire propagation and behaviour during horizontal fire spread. *Fire Mater.* 2020; DOI: 10.1002/fam.2911.
- [14] Profinish Fire Protection. What Fire Safety Laws Were Changed As A Result Of The Grenfell Fire? 2023. <https://www.profinishfire.com.au/what-fire-safety-laws-were-changed-as-a-result-of-the-grenfell-fire/>.
- [15] Guillaume E, Dréan V, Girardin B, Benameur F, Fateh T. Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 1: Lessons from observations and determination of work hypotheses. *Fire Mater.* 2020; DOI: 10.1002/fam.2766.
- [16] Guillaume E, Dréan V, Girardin B, Koohkan M, Fateh T. Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 2: A numerical investigation of the fire propagation and behaviour from the initial apartment to the façade. *Fire Mater.* 2020; DOI: 10.1002/fam.2765.
- [17] TWOJE INFO „Pożar bloku w Warszawie. Ogień objął dziesięć pieter,” 14.08.2019, 2019. <https://www.tvp.info/43934888/pozar-bloku-w-warszawie-ogien-objal-dziesiec-pieter>.
- [18] Grenfell Tower Inquiry „Grenfell Tower Inquiry: Phase 1 Report (Volume 4),” 2019. [Online]. Available: <https://www.grenfelltowerinquiry.org.uk/phase-1-report>.
- [19] UK Government, Fire Safety (England) Regulations 2022, Published 18 May 2022. United Kingdom, 2022. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-england-regulations-2022>.
- [20] Polski Komitet Normalizacyjny, PN-B-02867: 2013-06 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji. 2013, p. 20.
- [21] British Standards Institution, BS 8414-1:2020 Fire performance of external cladding systems – Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a masonry substrate. 2020.
- [22] Hurley MJ. SFPE handbook of fire protection engineering Fifth Edition, Fifth., no. 1. New York: Springer US. 2016; DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0.
- [23] Borkowicz K, Kasprzyk S. Ocena stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne w Polsce oraz w Wielkiej Brytanii. *Izolacje*, vol. 4, no. 4/2023, 2023, [Online]. Available: <https://www.izolacje.com.pl/artykul/sciany-stropy/276014>, ocena-stopnia-rozprzestrzeniania-ognia-przez-sciany-zewnetrzne-w-polsce-oraz-w-wielkiej-brytanii.
- [24] Borkowicz K. Badania w dużej skali wg BS 8414-1:2020 jako innowacyjne podejście do oceny bezpieczeństwa pożarowego w polskich realiach,” *Mater. Bud.*, vol. 11, no. 11/2020, p. 2, 2020, [Online]. Available: <https://www.materiałbudowlane.info.pl/images/2021/01/s30-32.pdf>.
- [25] McGrattan K, Hostikka S, McDermott R, Floyd J, Vanella M. Fire Dynamics Simulator User’s Guide. NIST Spec. Publ. 1019 Sixth Ed., p. 347, 2019, [Online]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication1019.pdf>.
- [26] McGrattan K, Hostikka S, McDermott, Floyd RJ, Weinschenk C, Overhold K. Sixth Edition Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model. *Natl. Insitute Stand. Technol.* 2019; 1: 201.
- [27] Reidar S, Tian L, Trond W, Anne S-H. 14th International Symposium on Fire Safe Safety Science, Tsukuba, Japan October 22-27,2023, in Large Scale fire test of a building integrated photovoltaic facade systems, 2023.
- [28] Nguyen HT, Abu-Zidan Y, Zhang G, Nguyen KTQ. Machine learning-based surrogate model for calibrating fire source properties in FDS models of façade fire tests. *Fire Saf. J.*, vol. 130, no. December 2021, 2022, DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103591.
- [29] Robbins AP, Wade CA. Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies. 2008; 185: 147.
- [30] NFPA, NFPA 204. Standard for Smoke and Heat Venting. 2021.

Przyjęto do druku: 10.01.2024 r.