

dr inż. Paweł Sulik^{1)*}

ORCID: 0000-0001-8050-8194

mgr inż. Jacek Kinowski¹⁾

ORCID: 0000-0001-6591-7889

dr inż. Bartłomiej Papis¹⁾

ORCID: 0000-0002-8711-905X

dr inż. Bartłomiej Sędlak¹⁾

ORCID: 0000-0002-4715-6438

Bezpieczeństwo pożarowe elewacji wg metody polskiej i projektu metody europejskiej

Fire safety of facades according to Polish method and the new European approach

DOI: 10.15199/33.2023.11.04

Streszczenie. W artykule porównano oddziaływanie termiczne źródła ognia na niepalną elewację wg metody polskiej i projektu europejskiej metody badania elewacji. Zaprezentowano podstawowe założenia obu metod. Omówiono postępy w pracach nad ujednoczonym podejściem do badania wg metody europejskiej. Przedstawiono wyniki badań w pełnej skali w formie zależności temperatury w funkcji czasu w wybranych punktach pomiarowych. Omówiono wyniki badań, wskazując na rozbieżności w podejściu obu metod, ponieważ metoda polska ocenia możliwość rozwoju pożaru po elewacji od niewielkiego źródła ognia, a metoda europejska zachowanie elewacji w przypadku wystąpienia w pełni rozwiniętego pożaru w pomieszczeniu, wydostającego się na zewnątrz przez otwór w ścianie zewnętrznej.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe fasad; metoda polska; nowa metoda europejska; porównanie metod.

Abstract. The paper presents a comparison of the thermal impact on a non-combustible façade from a fire source in the Polish method and the proposed European façade test method. The basic assumptions of both methods are presented. The progress of work on a unified approach to testing according to the European method is discussed. Full-scale test results in the form of temperature dependence as a function of time at selected measurement points are presented. The test results are discussed, pointing out the discrepancies in the approach of both methods, in which the Polish method assesses the possibility of fire development along the façade from a small fire source, while the European method assesses the façade behaviour in the case of a fully developed fire in a room escaping to the outside through an opening in an external wall.

Keywords: fire safety of facades; Polish method; new European method; comparison of methods.

Zapowiadana od lat, ujednoczona europejska metoda badawcza do oceny bezpieczeństwa pożarowego elewacji jest coraz bliżej uzgodnienia. W listopadzie 2022 r. ukazał się raport nr 3, opisujący postępy w pracach badawczych realizowanych w ramach projektu „Finalisation of the European approach to assess the fire performance of façades” numer SI2.825082, finansowanego przez Komisję Europejską – DG GROW [1, 2]. W raporcie tym przeanalizowano różne podejście laboratoriów do zapisów zawartych w projekcie metody oceny [3] oraz opisano wyniki badań laboratoryjnych pierwszej i drugiej fazy projektu, w których zmiennymi były: źródło ognia (stos drewniany – sosna lub świerk); konstrukcja komory spalania (zwiększenie wybranych wymiarów, co ma ułatwić obsługę) i otwór wtórny (różne usytuowanie otworu – symetryczne i asymetryczne w stosunku do komory spalania). Dodatkowo odniesiono się do oddziaływania wiatru, który nawet przy relatywnie niewielkiej prędkości (1 – 2 m/s) ma znaczny wpływ na powtarzalność wyników badań. W krótkiej serii badań eksperymentowano również z alternatywnym źródłem ognia – propanem. Podczas tych badań wykazano, że można uzyskać spójne wyniki badań, jak w przypadku stosu drewnianego, a jednocześnie większe bezpieczeństwo (nad palnikiem gazowym zapewniona jest kontrola przez możliwość odcięcia źródła ga-

zu, co w przypadku stosu drewnianego nie jest możliwe). Ponadto obniża się koszty przeprowadzenia badań.

Należy podkreślić, że na potrzebę ustalenia jednolitego europejskiego podejścia do badania bezpieczeństwa pożarowego elewacji zwracano uwagę już wcześniej [4], ale punktem zwrotnym wydaje się tragiczny pożar Grenfell Tower w 2017 r., po którym prace uległy przyspieszeniu [5 – 7]. Jednocześnie z tymi pracami przeprowadzono dwie ankiety dotyczące spadających części z elewacji podczas pożaru (w polskich wymaganiach opisane są one w § 225 [8]), w celu poznania potrzeb państw członkowskich i ustalenia kryteriów, które mają być stosowane podczas badań porównawczych.

Wraz z pracami nad ujednoczoną metodą badawczą prowadzone są w różnych ośrodkach badania bezpieczeństwa pożarowego elewacji wg tej metody. Dotyczą one różnych aspektów i różnych typów elewacji, np. w [9] skoncentrowano się na elewacjach kompozytowych w okładzinach aluminiowych, a w pracy [10] na elewacjach typu ETICS. W Polsce również prowadzone są prace badawcze w tym zakresie, m.in. w Instytucie Techniki Budowlanej czy Sieci Badawczej Łukasiewicz, przy czym w tej ostatniej badaniach wykonano zgodnie z BS 8414-1:2020-04 [11], która wraz z normą niemiecką stanowiła punkt wyjścia do opracowania metody europejskiej. Szczegółowy opis badania wg metody brytyjskiej zaprezentowano w pracy [12]. Wprowadzenie nowej metody badań elewacji powinno mieć istotny wpływ na dotychczasowe krajowe ustalenia i przyczynić się do przedefinio-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej

^{*} Adres do korespondencji: p.sulik@itb.pl

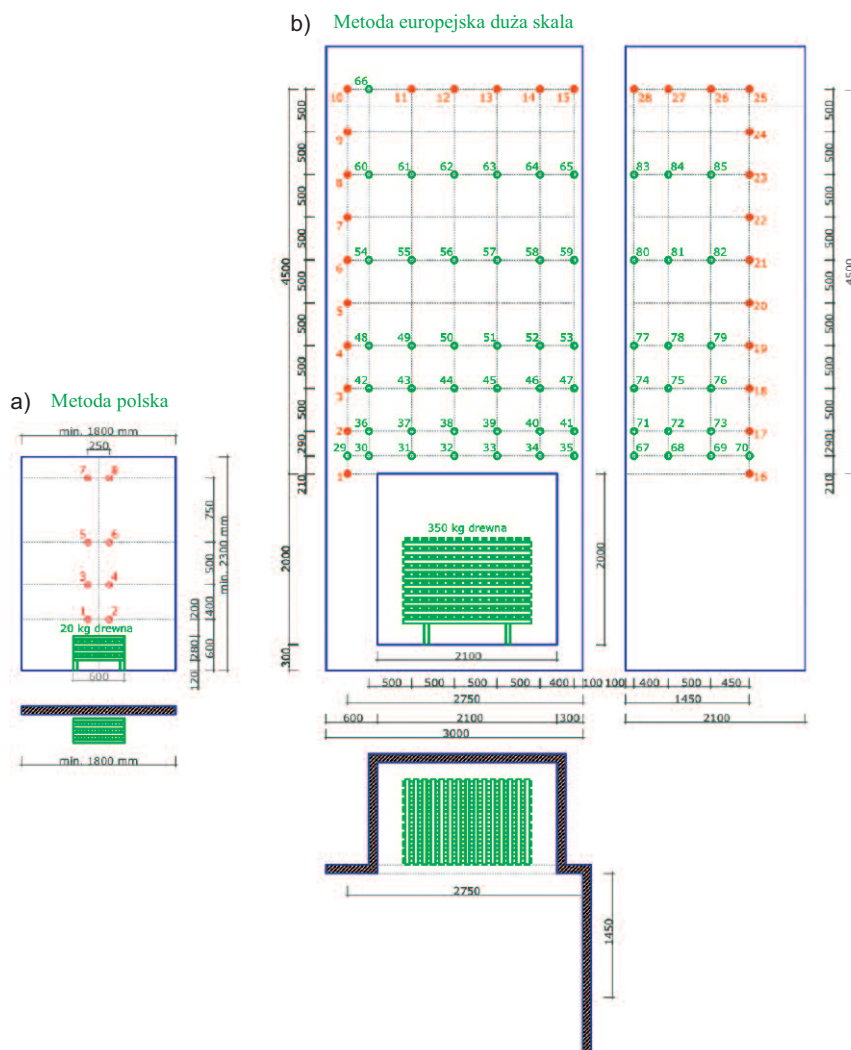
wania rynku elewacji, ze względu na potencjalne zagrożenie pożarowe, na podstawie wyników uzyskiwanych wg nowego europejskiego podejścia. Statystyczne zachowanie się elewacji w sytuacji ogniowej w kontekście badań wg dostępnych metod badawczych, przede wszystkim polskiej, przedstawiono w pracy [13], w której wykazano ich dużą skuteczność. Statystyka ta pozwala na identyfikację wrażliwych elementów fasad, ale nie porównuje oddziaływań termicznych wg poszczególnych metod, co może mieć istotny wpływ na uzyskiwane wyniki badań. W artykule porównano dotychczas stosowaną metodę badań elewacji w Polsce z projektem metody europejskiej pod względem źródła ognia i jego oddziaływania na elewację.

Badania laboratoryjne

W celu porównania obu metod badawczych, oddziaływaniu termicznemu poddano dwie ściany, wykonane z materiałów niepalnych wg załącznika 3 [8], odpowiednio zgodnie z postanowieniami PN-B-02867:2013 [14, 15] w przypadku metody polskiej oraz [1 – 3] w przypadku oceny europejskiej (duża ekspozycja na ogień). W badaniu metodą polską wykorzystano ścianę z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie zwykłej, cementowo-wapiennej, natomiast w przypadku metody europejskiej stalową konstrukcję wsporczą obłożoną płytami gipsowo-kartonowymi typu A wg EN 520 na podłożu z płyt cementowych.

Podstawowa różnica w obu metodach dotyczy: wielkości próbki i jej kształtu (ściana płaska w podejściu polskim lub narożnik w metodzie europejskiej); ilości drewna użytego w badaniu jako źródło ognia (odpowiednio 20 kg w metodzie polskiej i ~350 kg w ocenie europejskiej); miejsca usytuowania stosu (przed próbką w metodzie polskiej i we wnęce symulującej pomieszczenie z otworem w ocenie europejskiej) oraz oddziaływania wiatru, który występuje wyłącznie w metodzie polskiej (2 m/s). Szczegóły dotyczące budowy ścian badawczych opisano odpowiednio w dokumentach [14, 15] oraz [1 – 3], natomiast na rysunku 1 przedstawiono podstawowe wymiary próbek do badań. Oba badania przeprowadzono w zadaszonych pomieszczeniach przy porównywalnych warunkach badania (w temperaturze otoczenia 18 – 22°C i wilgotności względnej 28 – 40%).

W celu precyzyjnego określenia oddziaływań termicznych w poszczególnych metodach badawczych zamontowano na próbkach zwiększoną, w porównaniu z normą, liczbę termoelementów typu K, które pozwoliły na precyzyjne pomiary temperatury w poszczególnych punktach ścian (rysunek 1). Widok próbek podczas badań przedstawiono na fotografiach 1 i 2.



Rys. 1. Próbkę do badania rozprzestrzeniania ognia po elewacji wraz z rozkładem punktów pomiarowych wg metody: a) polskiej; b) europejskiej – duża ekspozycja na ogień

Fig. 1. The facade test samples for fire spread with distribution of measurement points according to Polish (a) and European method – large fire exposure (b)



Fot. 1. Próbkę podczas badania wg metody polskiej

Photo 1. The samples during testing according to the Polish method

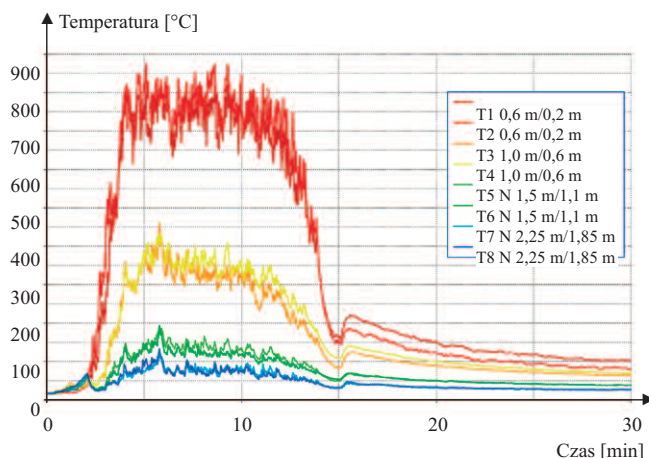


Fot. 2. Próbkę podczas badania wg metody europejskiej
Photo 2. The samples during testing according to the European method

Analiza wyników badań

Szczegółowe wyniki pomiarów temperatury w czasie wg metody polskiej przedstawiono na rysunku 2, a na rysunku 3 wg projektu metody europejskiej.

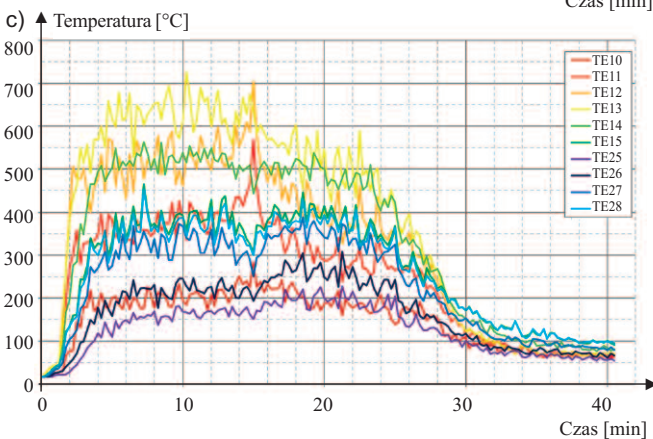
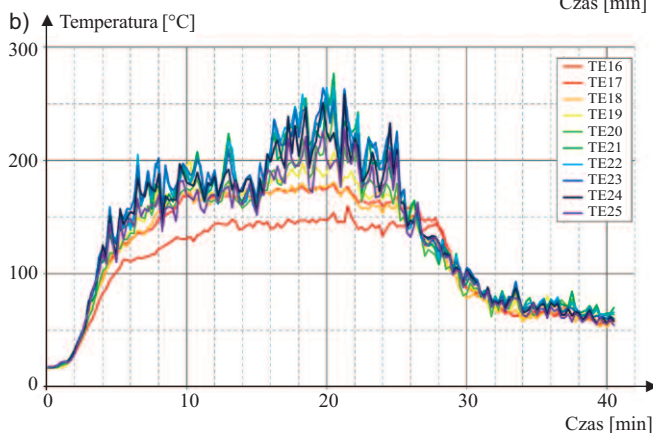
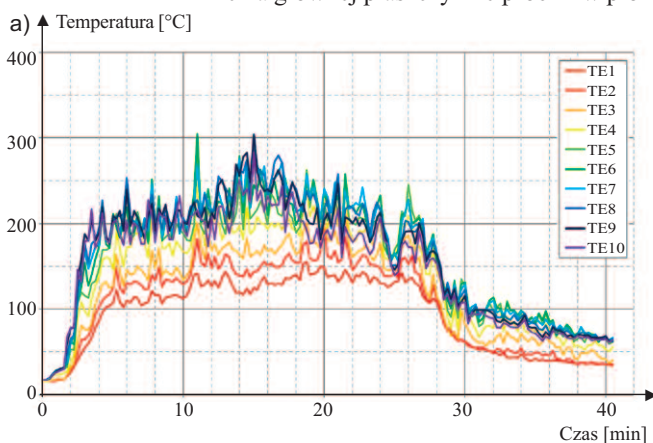
Maksymalne, uśrednione wartości temperatury uzyskane w metodzie polskiej, wyłącznie od źródła ognia 20 kg drewna, osiągają poziom ok. 800°C, bezpośrednio (0,2 m) nad stosem drewna (rysunek 2). Wraz ze zwiększeniem odległości w pionie od źródła ognia wartości te zmniejszają się do ok. 350°C w przypadku 0,6 m nad źródłem ognia, by w normowych punktach pomiaru osiągnąć odpowiednio 140°C (1,1 m) i 80°C na wysokości 1,85 m ponad źródłem ognia. Wszystkie punkty pomiarowe znajdowały się bezpośrednio nad źródłem ognia, w kolumnie konwekcyjnej. Ocenia się, że wartość 800°C jest wystarczająca do ewentualnego podpalenia elewacji i rozprzestrzenienia ognia po elewacji w przypadku zastosowania podatnych na to zjawisko materiałów i rozwiązań technicznych elewacji. Z drugiej strony w przypadku elewacji nierozprzestrzeniającej ognia, a więc nieprzyczyniającej się do rozwoju pożaru, lokalnemu wypaleniu powinien ulec jedynie jej fragment, znajdujący się w najbliższej odległości od źródła ognia, a pozostała część elewacji może co najwyżej się okopcić czy lokalnie zdeformować, ale nie spalić.



Rys. 2. Wartości pomierzonej temperatury termoelementów wg rysunku 1 w funkcji czasu. Metoda polska

Fig. 2. Measured temperature values as a function of time for thermocouples according to Fig. 1. Polish method

Inaczej rozkład temperatury wygląda w przypadku badania elewacji wg metody europejskiej (rysunek 3). Ze względu na wielkość próbki i jej narożny kształt, rozkład temperatury jest bardziej zróżnicowany. Wynika to zarówno z różnej odległości w pionie od źródła ognia, jak również z różnego umiejscowienia punktów pomiarowych w poziomie, co powoduje, że część z nich znajduje się w obrębie kolumny konwekcyjnej, a część poza nią. Oceniając normowe punkty pomiaru, stwierdzono, że termoelementy TE1 ÷ TE10, zlokalizowane na głównej płaszczyźnie próbki w pionie



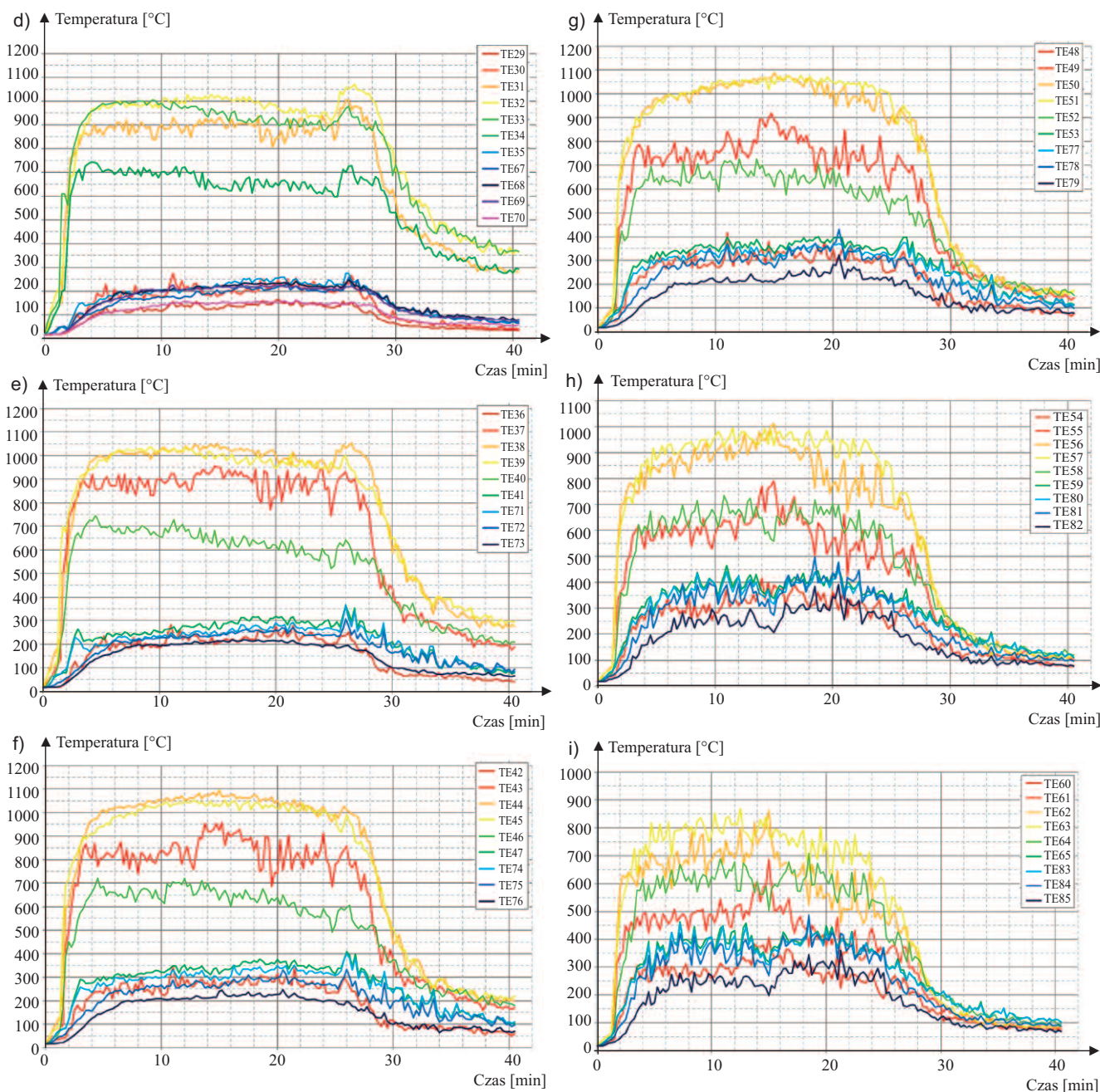
Rys. 3. Wartości pomierzonej temperatury termoelementów
Fig. 3. Measured temperature values as a function of time

nie, na lewo od otworu paleniska, pokazują uśrednioną temperaturę maksymalną pomiędzy 130°C a 250°C (rysunek 3a). Można zauważyć pewną prawidłowość, że im wyżej jest punkt pomiaru, tym wyższa temperatura. Podobna zależność istnieje w przypadku normowych punktów pomiarowych TE16 ÷ TE25 zlokalizowanych na bocznej powierzchni próbki, tzw. skrzydle (rysunek 3b), a ponadto również wartości pomierzonej temperatury są podobne i ocenia się, że ich źródłem jest przede wszystkim radiacja od źródła ognia.

W przypadku pomiarów w punktach normowych położonych 4,5 m powyżej źródła ognia (rysunek 3c) stwierdzono znacznie większe dysproporcje. Najwyższą temperaturę, lokalnie dochodzącą do 700°C, pomierzono w punktach

TE12 i TE13 znajdujących się w kolumnie konwekcyjnej, gdzie najsilniej występuje zjawisko unoszenia. W punktach pomiarowych TE10, TE11 oraz TE14 i TE15 położonych nieco z boku, zmierzono niższą temperaturę, przy czym średnia jej wartość na TE14 jest wyższa niż na TE11, co jest związane z wpływem narożnika. Podobne zjawisko zaobserwowano również w przypadku TE15 i TE10, a termoelementy TE25-28 umieszczone na „skrzydle” miały znacznie niższą temperaturę, średnio 200°C, a jedynie punktowo 300°C.

Warto zadać pytanie, czy taki zbiór danych jest wystarczający do oceny bezpieczeństwa pożarowego elewacji? Analiza pomiarów wykonanych w punktach dodatkowych wskazuje, że punkty normowe nie pokazują pełnych danych o naturze oddziaływa-



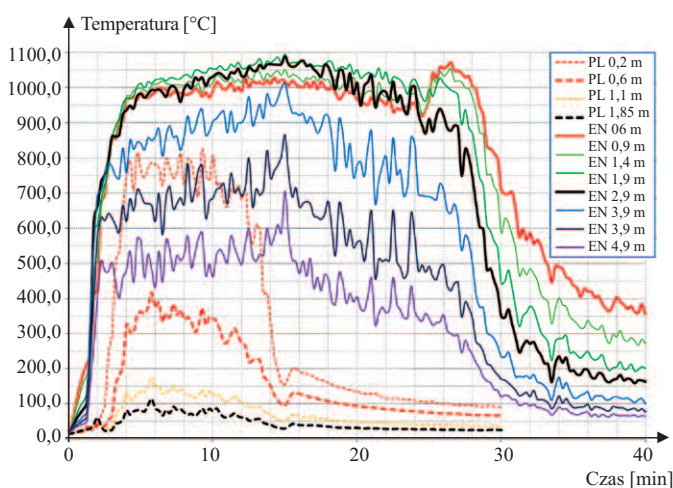
wg rysunku 1 w funkcji czasu. Metoda europejska (opis w tekście)
for thermocouples according to Fig. 1. European method (description in text)

nia termicznego (rysunki 3d-3i). Pomiary w wielu miejscach, na różnej wysokości, wykazały osiągnięcie temperatury ponad 1000°C w czasie ok. 20 min, a lokalnie nawet 1100°C. Jak na pożar zewnętrzny, charakterystyczny dla elewacji, jest to temperatura bardzo wysoka, ponieważ maksymalna temperatura w pożarze zewnętrznym wg PN-EN 13501 [16] wynosi 680°C.

Porównanie pomierzonej temperatury w funkcji czasu w przypadku obu metod i punktów mniej więcej jednakowo oddalonych w pionie od źródła ognia, znajdujących się w obrębie kolumny konwekcyjnej, przedstawiono na rysunku 4. Liniami przerywanymi zaznaczono wyniki wg metody polskiej, natomiast linie ciągłe odnoszą się do pomiarów wg metody europejskiej. W obu badaniach zidentyfikowano po dwa poziomy, odpowiednio 0,6 m i 1,85 – 1,9 m powyżej źródła ognia, które umożliwiały bezpośrednie porównanie wyników badań. Na rysunku 4 zaznaczono je pogrubionymi liniami. Wyraźnie widoczne są dysproporcje w uzyskanych wynikach badań, np. w przypadku odległości 0,6 m w metodzie polskiej uzyskano nieco ponad 400°C tuż przed szóstą minutą badania, natomiast w metodzie europejskiej odpowiednio nieco ponad 1050°C tuż przed 27. minutą badania. Przy odległości 1,85 i 1,9 m dysproporcje te są jeszcze większe – w metodzie polskiej osiągnięto nieco ponad 100°C, a w europejskiej prawie 1100°C.

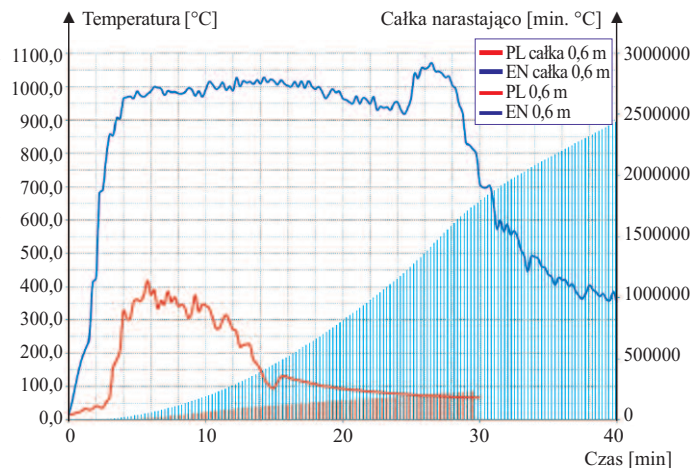
Pomimo porównywalnego czasu badania wg obu metod, odpowiednio 30 i 40 min, wyraźnie widać, że w metodzie polskiej oddziaływanie ognia ze źródła dotyczy pierwszych 15 min badania, a intensywne oddziaływanie występuje pomiędzy 3. i 12. min badania. W ocenie europejskiej oddziaływanie ognia pochodzącego ze źródła jest dłuższe i już po przekroczeniu 1 min gwałtownie rośnie, a od 4. min do mniej więcej 26. min utrzymuje się na najwyższym poziomie, po czym równie gwałtownie się zmniejsza.

W celu pokazania różnego poziomu narażenia elewacji na działanie od źródła ognia, na rysunkach 5 i 6 przedstawiono w formie zakreskowanych powierzchni narastające cał-



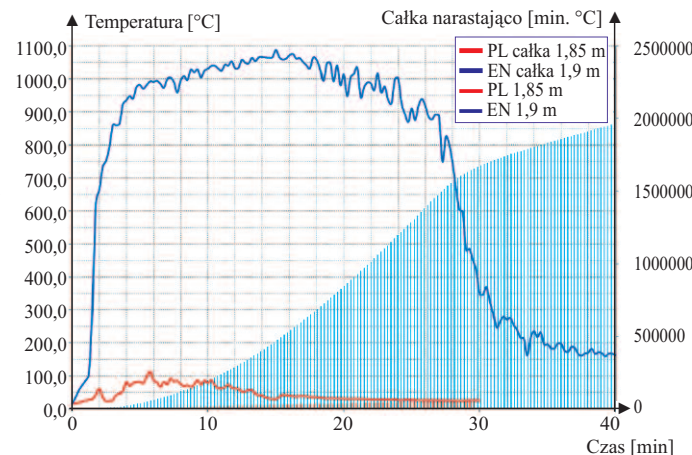
Rys. 4. Porównanie rozkładu temperatury w czasie uzyskanego podczas badania w metodzie polskiej i europejskiej w zależności od odległości od źródła ognia

Fig. 4. Comparison of the temperature distributions in time obtained during the test in the Polish and European methods depending on the distance from the fire source



Rys. 5. Porównanie rozkładu temperatury w czasie uzyskanego podczas badania metodą polską i europejską w odległości 0,6 m powyżej źródła ognia

Fig. 5. Comparison of the temperature distributions over time obtained during testing in the Polish and European methods at a distance of 0,6 m above the fire source



Rys. 6. Porównanie rozkładu temperatury w czasie uzyskanego podczas badania metodą polską i europejską w odległości 1,85 – 1,9 m powyżej źródła ognia

Fig. 6. Comparison of the temperature distributions over time obtained during testing in the Polish and European methods at a distance of 1,85 – 1,9 m above the fire source

ki, będące iloczynem pomierzonej temperatury i czasu oddziaływania. W tym przypadku dysproporcje są jeszcze większe i przy odległości w pionie od źródła ognia równej 0,6 m różnią się o rząd wielkości (ponad 10,4 razy), a przy pomiarach na poziomie 1,85 i 1,9 m różnica ta wynosi ponad 28,1 razy. Pokazuje to zupełnie odmienne podejście do badania elewacji.

Podsumowanie

Każda z opisanych metod badania bezpieczeństwa pożarowego elewacji ma za zadanie ocenić jej zachowanie podczas pożaru i wyznaczyć granice pomiędzy elewacjami zachowującymi się bezpiecznie w pożarze oraz tymi, które przyczyniają się do rozwoju pożaru. Przypisana do tego została cecha rozprzestrzeniania ognia przy jego działaniu od zewnątrz.

Ważnym aspektem bezpieczeństwa pożarowego jest także zaprojektowanie budynku, aby źródło ognia nie wywoływało tragicznych skutków. W celu ich wyeliminowania stosuje się np. materiały niepalne w wybranych miejscach, natomiast aby ograniczyć ich zasięg, np. podziały budynków lub elementy nierozprzestrzeniające ognia.

Statystycznie najczęściej przyczyną pożaru jest zbieg niekorzystnych okoliczności powiązanych z nieostrożnością, przy czym dominują niewielkie źródła ognia, które trafiając na podatne podłoże, mogą się niebezpiecznie rozwinąć lub wygasić, gdy warunki do rozwoju pożaru nie są zapewnione. Metoda polska badania elewacji, pomimo pewnych ograniczeń, np. wynikających z braku otworu okiennego, daje odpowiedź na pytanie dotyczące niebezpiecznego zachowania się elewacji. Niewielkie źródło ognia wystarcza jednak do rozwoju pożaru w przypadku natrafienia na sprzyjające okoliczności, np. rozprzestrzeniającą ogień elewację. Jak wykazały dotychczasowe doświadczenia badawcze na przestrzeni lat metoda okazała się skuteczna, o czym świadczy brak problemów pożarowych w przypadku elewacji w Polsce.

Inaczej jest w metodzie europejskiej, kiedy mamy do czynienia z w pełni rozwiniętym pożarem wydostającym się z wnęki, w której znajduje się źródło ognia. Pomierzona temperatura oznacza, że na znacznej powierzchni badanej próbki wypaleniu ulegną nawet materiały niepalne, np. ruszty i konsolle aluminiowe elewacji wentylowanych czy szklana wełna mineralna. W temperaturze 1000°C prawie wszystkie materiały budowlane ulegają bowiem znacznej destrukcji. **Trudno więc uznać taką metodę za reprezentatywną w przypadku oceny zagrożenia pożarowego stwarzanego przez elewacje, ponieważ w statystycznym pożarze elewacji trudno oczekiwać na takie oddziaływania termiczne.**

W badaniach zastosowano jako podłoże: ścianę z ceramiki pełnej oraz płyt gipsowo-kartonowych na podłożu cementowym, które przetrwały tak silne oddziaływanie termiczne, chociaż w przypadku płyt zaobserwowano po badaniu liczne spękania i lokalne wykruszenia. W przypadku współczesnych rozwiązań elewacyjnych, np. okładzin włóknisto-cementowych, HPL, spieków ceramicznych, blach tytanowo-cynkowych lub aluminiowych, pomierzona temperatura oznacza ich całkowite zniszczenie, pomimo że wiele z nich, np. spieki ceramiczne lub okładziny metalowe, charakteryzują się klasą reakcji na ogień A1, a więc są materiałami niepalnymi. Pozwala to na stwierdzenie, że metoda polska badania bezpieczeństwa pożarowego elewacji ocenia możliwość rozwoju pożaru po elewacji od niewielkiego źródła ognia, a metoda europejska ocenia zachowanie elewacji w przypadku wystąpienia w pełni rozwiniętego pożaru w pomieszczeniu, wydostającego się na zewnątrz przez otwór w ścianie zewnętrznej.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki oraz prowadzone w Europie badania, można stwierdzić, że dużo precyzyjniej jesteśmy w stanie określić rozprzestrzenianie ognia po badanej elewacji przy działaniu ognia od zewnątrz, w przypadku stosowania niewielkich źródeł ognia. Jeżeli od małego źródła ognia elewacja się zapali i rozprzestrzeni ogień, to

większe źródło ognia jedynie to potwierdzi. Stosując metody średniej skali, z niewielkimi źródłami ognia, jesteśmy więc po stronie bezpiecznej w zakresie oceny bezpieczeństwa pożarowego elewacji. Nie dotyczy to wyłącznie metody polskiej, ale i innych metod stosowanych dotychczas w krajach europejskich. W przypadku metody polskiej warto rozważyć wariantowe wprowadzenie otworu okiennego do budowy elementu próbnego. Jak pokazują przypadki pożarów, stanowi on bowiem newralgiczny element elewacji, przez który często zaczyna się jej destrukcja w pożarze.

Literatura

- [1] Boström L, Chiva R, Colwell S, Howard S, Toth P, Hofmann-Böllinghaus A, Dumont F, Olofsson R, Anderson J, Sjöström J. Assessment of fire performance of façades. Project: SI2.825082. 2020; 51 s.
- [2] Anderson J, Boström L, Chiva R, et al. European approach to assess the fire performance of façades. Fire and Materials. 2020; <https://doi.org/10.1002/fam.2878> ANDERSON ET AL. 11.
- [3] Anderson J, Sjöström J, Chiva R, Hofmann-Böllinghaus A, Tóth P, Lallu O, Dumont F, Overgaard N, Boström L. Finalisation of the European approach to assess the fire performance of façades. Progress report 3. Project: SI2.825082. 2022; 58 s.
- [4] Smolka M, Anselmi E, Crimi T, Le Madec B, Móder I, Park KW, Rup R, Yoo Y, Yoshioka H. Semi-natural test methods to evaluate fire safety of wall claddings: update. Paper presented at: MATEC Web of Conferences. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164601003>.
- [5] Boström L, Hofmann-Böllinghaus A, Colwell S, Chiva R, Tóth P, Móder I, Sjöström J, Anderson J, Lange D. Development of a European approach to assess the fire performance of façades. Final report; June 2018.
- [6] Mitchener G. Study Impact of Grenfell Tower fire disaster polyisocyanurate industry, Polimery. 2018; DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2018.10](https://doi.org/10.14314/polimery.2018.10).
- [7] Torero J. Grenfell Tower: Phase 1 report, Torero, Abecassis Empis and Cowlard, GFT-1710-OC-001-DR-01). 2018.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).
- [9] Aatif Ali Khan, Shaorun Lin, Xinyan Huang, Asif Usmani, Facade Fire Hazards of Bench-Scale Aluminum Composite Panel with Flame-Retardant Core, Fire Technology. 2021; DOI: [10.1007/s10694-020-01089-4](https://doi.org/10.1007/s10694-020-01089-4).
- [10] Octavian L, Lennon T, Darmon R, Anghel I. Performance of fire breaks installed within EPS-insulated façade systems. Fire and Materials. 2021; DOI: [10.1002/fam.2972](https://doi.org/10.1002/fam.2972), 45, 5.
- [11] British Standards Institution (BSI). BS 8414-1:2020-04 Fire Performance of External Cladding Systems Part 1: Test Method for Non-Load-bearing External Cladding Systems Fixed to, and Supported by, a Masonry Substrate; British Standards Institution: London, UK, 2020.
- [12] Niziurska M, Wieczorek M, Borkowicz K. Fire Safety of External Thermal Insulation Systems (ETICS) in the Aspect of Sustainable Use of Natural Resources. Sustainability. 2022; <https://doi.org/10.3390/su14031224>.
- [13] Bonner M, Węgrzyński W, Papis BK, Rein G. A top-down, statistical approach to understand the fire performance of building façades using standard test data, Building and Environment. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106540>.
- [14] PN-B-02867:2013. Ochrona przeciwpożarowa budynków – Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji.
- [15] Sulik P, Gwiżdż T. Rozprzestrzenianie ognia przez ściany zewnętrzne. Materiały Budowlane. 2014; 7 (503): 6 – 7.
- [16] PN-EN 13501-2:2023 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynku. Część 2. Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej i/lub dymoszczelności, z wyłączeniem instalacji wentylacji.

Przyjęto do druku: 20.10.2023 r.