

Konrad Podawca^{a)*}, Marek Przywózki^{b)}

^{a)} *Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Civil and Environmental Engineering / Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska*

^{b)} *POLFLAM Sp. z o.o*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: konrad_podawca@sggw.pl*

Analysis of Temperature Increase in Fire-Exposed Internal Vertical Partitions with Glazing

Analiza przyrostu temperatury przeszklonych przegród pionowych wewnętrznych narażonych na działanie ognia

ABSTRACT

Aim: The aim of the test, performed in accordance with PN-EN 1364-1, was to measure the ability of the designed non-load-bearing glass wall element to stop the spread of fire. A comparative analysis was also conducted to show the differences between various glass partition wall solutions in terms of their fire insulation parameters which should be ensured during fire exposure.

Introduction: Glass has been increasingly used in the construction of buildings due to its transparency and aesthetic qualities. However, such glass constructions must comply with the most stringent requirements, including those concerning fire safety. By definition, the measure of fire insulation is the temperature increase on an unheated surface above a given level. For partition and curtain walls, the limit value of temperature increase at any point of a given partition is 180°C, while the average temperature increase on the glazing cannot exceed 140°C. A barrier is considered as not providing fire insulation when the non-load-bearing wall loses its separation function due to the temperature limit being exceeded on the unheated surface.

Methodology: As a first step, we designed the original solution involving a glass-partition frameless construction. The partition was subjected to fire tests performed in accordance with PN-EN 1363-1 and 1364-1 standards. The parameters compared were temperature over 30 minutes of fire with a two-minute surge from three areas: glass surface, profiles located in the central part of the structure and the peripheral frame attached to the furnace structure.

Conclusions: Each of the constructions showed different fire resistance characteristics. These differences allowed the assessment of their effectiveness as barriers during fire and made it possible to identify the advantages provided by the proposed frameless construction. The partition made of steel sections exhibited the highest heat increase, reaching a maximum average temperature of 120°C. The results for other partitions did not go beyond the 75°C threshold, which was approached the closest by the one made of aluminium profiles. Wooden and frameless constructions provided the most effective protection against temperature transfer. The first one reached a maximum average temperature of 21°C, while the second did not exceed 11°C.

Keywords: fire, glass partition wall, fire protection glass, fire insulation

Type of article: case study

Received: 09.12.2019; **Reviewed:** 21.02.2020; **Accepted:** 16.04.2020;

Authors' ORCID IDs: K. Podawca – 0000-0001-5261-6657; M. Przywózki – 0000-0003-0155-8930;

Percentage contribution: K. Podawca – 45%; M. Przywózki – 55%;

Please cite as: SFT Vol. 55 Issue 1, 2020, pp. 16–30, <https://doi.org/10.12845/sft.55.1.2020.2>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Celem badania, zgodnie z normą PN-EN 1364-1, był pomiar zdolności zaprojektowanego elementu przeszklonej ściany nienośnej do powstrzymania rozprzestrzeniania się ognia. Natomiast celem analizy porównawczej było ukazanie różnic pomiędzy różnymi rozwiązaniami przeszklonych ścian działowych pod kątem izolacyjności ogniowej, które powinny być spełnione w trakcie oddziaływania pożaru.

Wprowadzenie: W budownictwie coraz częściej spotyka się konstrukcje wykorzystujące szkło z uwagi na jego transparentność i estetykę. Jednocześnie muszą one spełniać najwyższe wymogi m.in. ogniowe. Zgodnie z definicją miarą izolacyjności ogniowej jest przyrost temperatury na powierzchni nienagrzewanej powyżej danego poziomu. Dla ścian działowych i osłonowych graniczna wartość przyrostu temperatury w dowolnym punkcie danej przegrody wynosi 180°C, przy czym przyrost średniej temperatury na przeszkleniach nie może przekroczyć 140°C. Za przegrodę nie spełniającą cech izolacyjności ogniowej uznaje się taką, w której ściana nienośna przestaje spełniać funkcję oddzielenia na skutek przekroczenia na powierzchni nienagrzewanej granicznej wartości temperatury.

Metodologia: Wstępnym etapem było zaprojektowanie autorskiego rozwiązania bezramowej konstrukcji przegrody przeszklonej. Przegrodę tę poddano badaniom ogniowym zgodnie z normami PN-EN 1363-1 i PN-EN 1364-1. Otrzymane rezultaty skonfrontowano z analogicznymi badaniami przeszklonych przegród wykonanych w konstrukcji ramowej z drewna, stali i aluminium. Porównywanymi parametrami były temperatury w czasie 30 minut działania ognia ze skokiem dwuminutowym z trzech obszarów: powierzchni szkła, profili znajdujących się w centralnej części konstrukcji i z ramy obwodowej zamocowanej do konstrukcji pieca.

Wnioski: Każda z konstrukcji wykazywała odmienne cechy odporności na działanie pożaru. Występujące rozbieżności pozwoliły na ocenę skuteczności ich funkcjonowania jako bariery w czasie trwania pożaru oraz na określenie przewagi zaproponowanej konstrukcji bezramowej. Witryna wykonana z kształtowników stalowych odznaczała się najwyższym przyrostem temperatury, osiągając maksymalną średnią temperaturę 120°C. Wyniki pozostałych przegród nie wykraczały poza próg 75°C, do którego najbardziej zbliżyła się ta, wykonana z profili aluminiowych. Największą skuteczność ochrony przed przenikaniem temperatury przejawiała konstrukcja drewniana oraz bezramowa. Pierwsza z nich osiągnęła maksymalną, średnią temperaturę 21°C, natomiast druga nie przekroczyła 11°C.

Słowa kluczowe: pożar, przeszklona ściana działowa, szkło ogniochronne, izolacyjność ogniowa

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 09.12.2019; **Zrecenzowany:** 21.02.2020; **Zaakceptowany:** 16.04.2020;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Podawca – 0000-0001-5261-6657; M. Przywózki – 0000-0003-0155-8930;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Podawca – 45%; M. Przywózki – 55%;

Proszę cytować: SFT Vol. 55 Issue 1, 2020, pp. 16–30, <https://doi.org/10.12845/sft.55.1.2020.2>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

One of the requirements when designing a building is to provide an adequate level of fire safety to reduce fire- and smoke-related risks. Such safety can be provided to people inside the building under fire for a specific amount of time by, for instance, making it more difficult for fire to spread and keeping temperature increase on the other side of the internal partition as low as possible [1–2]. Hence, at the building design stages, one of the fire-safety aspects involves the principle of fire control, according to which the spread of fire should be restricted to the smallest area possible. This can be achieved by well-designed internal walls [3].

Research papers on the subject in question use a typical, methodology- and standard-based approach to describe the correctness of fire testing [4–6]. These studies demonstrate that there are multiple factors affecting the fire resistance of glazed elements, including the type and weight of glass used, the type of its fixing, the type of profile, or the insulation and sealing materials used. Connections between different materials are relevant during a fire. This applies, for instance, to steel-concrete adherence or joints between individual glass panels, a particularly important aspect in glass partitions [2], [7]. In the case of glass partition walls, researchers have focused on the behaviour of different glass-pane types during a fire [7]. However, the behaviour they describe usually reflects temperature increase on the surface of glass and profiles in which they are fixed, made of aluminium, steel and wood, among other materials [6–8]. Relevant factors noted also include profile construction and filling [6]. Based on the literature mentioned above and standard requirements, we defined the procedure and the result presentation method.

Wprowadzenie

Jednym z wymagań stawianym projektantom budynków jest zapewnienie właściwego poziomu bezpieczeństwa pożarowego, którego celem jest zredukowanie zagrożenia wynikającego z działania ognia oraz dymu. Zapewnienie takiego bezpieczeństwa przez określony czas osobom, znajdującym się wewnątrz budynku objętego pożarem, może być osiągnięte m.in. przez utrudnienie rozprzestrzeniania się ognia i wzrostu temperatury po drugiej stronie przegrody wewnętrznej [1–2]. Dlatego podczas projektowania budynków jednym z elementów odnoszących się do bezpieczeństwa pożarowego jest zasada powstrzymywania pożaru – ogień powinien być ograniczony do możliwie najmniejszej powierzchni, co mogą zapewnić dobrze skonstruowane ściany wewnętrzne [3].

W artykułach naukowych dotyczących analizowanej tematyki znajdujemy podejście typowo metodyczno-normowe, opisujące poprawność wykonania badań ogniowych [4–6]. Badania te ukazują, że na odporność ogniową elementów zawierających przeszklenia wpływa wiele czynników, m.in. typ i waga zastosowanego szkła, sposób jego mocowania, rodzaj profili nośnych lub użytych materiałów izolacyjnych i uszczelniających. Połączenie ze sobą różnych materiałów ma znaczenie podczas pożaru. Dotyczy to np. przyczepności stali do betonu, czy tak ważnych w przegrodach przeszklonych, połączeń poszczególnych tafli szkła [2], [7]. W przypadku przeszklonych ścian działowych badacze zwracają uwagę na zachowanie podczas pożaru różnego rodzaju szyb [7]. Jednak najczęściej charakterystyka skupia się na ukazywaniu przyrostu temperatury na powierzchni szkła oraz profili, w których są mocowane, np. aluminiowych, stalowych czy drewnianych [6–8]. Często zwraca się uwagę na konstrukcję i wypełnienie profili [6]. Na podstawie przytoczonej literatury oraz wymogów normowych określono tok postępowania oraz sposób zaprezentowania otrzymanych wyników.

Aim and methods of study

The material presented here provides a further description of fire tests involving glass partitions [9]. The mentioned paper presents the detailed design of profiles and the issue of displacements in them due to fire.

Through our testing, performed in accordance with the PN-EN 1364-1 standard, we aimed to measure the ability of the designed non-load-bearing glass wall element to stop the spread of fire from one side of the wall to the other. By definition, the measure of fire insulation is the temperature increase on an unheated surface above a given level. For partition walls, the limit value of temperature increase at any point of a given partition is 180°C, while the average temperature increase on the glazing cannot exceed 140°C [10–11]. A barrier is considered as not providing fire insulation when the non-load-bearing wall loses its separating function due to the temperature limit or the average temperature being exceeded on the unheated surface [12].

We also conducted a comparative analysis to show the differences between various glass partition wall solutions in terms of their fire insulation parameters which should be ensured during a fire exposure simulation.

The starting point was to design an original solution involving a glass-partition frameless construction. This partition was subjected to fire tests performed at the CERTBUD Sp. z o.o. laboratory.

We compared the results of the designed partition with other similarly sized vertical glass frame-based elements. This included the results of temperature increases found in fire test reports for glass partitions with frame constructions made of wood, aluminium and steel.

Such praxeological basis for the presented material stems from the fact that it is impossible to determine the fire rating of a given glass partition using the element's design or other technical documentation. The only way to determine the actual fire rating is by performing tests in accordance with the relevant standard [12–14]. Using the test results for different solutions, it is possible to project the expected fire rating of glass partitions [15]. The results presented in the literature mentioned above relate to partitions featuring a frame construction. This study is specifically concerned with a frameless partition construction and its comparison with the more common material solutions.

Material and methods

The test object was the designed frameless glass partition (object 1). In order to keep the required stability of the partition without the presence of profiles which connect neighbouring glazing, we proposed to use two layers of tempered glass with a thickness of 10 mm each, separated by 10 mm layers of a fire-retardant gel. Glass panels were fixed using special clamps made of thin steel sheets. They were spot-placed along

Cel i metody analizy

Przedstawiony materiał jest kontynuacją opisu badań ogniowych nt. analizowanych przeszklonych przegród [9]. W artykule zaprezentowano szczegółową budowę profili oraz aspekt powstałych w nich przemieszczeń będących wynikiem działania pożaru.

Celem samego badania, zgodnie z normą PN-EN 1364-1, był pomiar zdolności zaprojektowanego elementu przeszklonej ściany nienośnej do powstrzymania rozprzestrzeniania się pożaru z jednej strony ściany na drugą. Zgodnie z definicją – miarą izolacyjności ogniowej jest przyrost temperatury na powierzchni nienagrzewanej powyżej danego poziomu. Dla ścian działowych graniczna wartość przyrostu temperatury w dowolnym punkcie danej przegrody wynosi 180°C, przy czym przyrost średniej temperatury na przeszkleniach nie może przekroczyć 140°C [10–11]. Za przegrodę nie spełniającą cech izolacyjności ogniowej uznaje się taką, która przestaje spełniać funkcję oddzielenia na skutek przekroczenia na powierzchni nienagrzewanej, zarówno średniej, jak i granicznej wartości temperatury [12].

Natomiast celem analizy porównawczej było ukazanie różnic pomiędzy różnymi rozwiązaniami przeszklonych przegród pod kątem izolacyjności ogniowej, które powinny być spełnione w trakcie symulacji oddziaływania pożaru.

Punktem wyjścia było zaprojektowanie autorskiego rozwiązania bezramowej konstrukcji przegrody przeszklonej. Przegrodę tę poddano badaniom ogniowym wykonanym w laboratorium badawczym CERTBUD Sp. z o.o.

Otrzymane rezultaty badań poddano analizie porównawczej z innymi pionowymi, ramowymi elementami przeszklonymi o zbliżonych gabarytach. Do porównania przyjęto wyniki przyrostu temperatury zawarte w raportach badań ogniowych przeszklonych przegród w konstrukcji ramowej wykonanej z drewna, aluminium i stali.

Podstawa prakseologiczna prezentowanego materiału wynika z faktu, że klasa odporności ogniowej danej przegrody przeszklonej nie jest możliwa do określenia na podstawie projektu elementu czy też innej dokumentacji technicznej. Jedynym sposobem na określenie rzeczywistej klasy odporności ogniowej jest przeprowadzenie badania zgodnie z odpowiednią normą badawczą [12–14]. Wyniki badań różnych rozwiązań mają umożliwić prognozowanie oczekiwanej odporności ogniowej przeszklonych przegród [15]. W przytoczonej wcześniej literaturze prezentowane wyniki dotyczą przegród wykonanych w konstrukcji ramowej. Specyfiką niniejszego opracowania jest uwzględnienie bezramowej konstrukcji przegrody i jej porównanie z częściej stosowanymi rozwiązaniami materiałowymi.

Materiał i metody

Przedmiotem badań była zaprojektowana bezramowa przegroda przeszklona (obiekt 1). Ze względu na zachowanie wymaganej stateczności przegrody, przy jednoczesnym braku profili łączących sąsiednie przeszklenia, zaproponowano zastosowanie dwóch warstw szkła hartowanego, każda o grubości 10 mm oddzielonych 10-milimetrową warstwą żelu ogniochronnego. Do mocowania tafli szkła zastosowano specjalne zaciski wykonane z cienkiej

the perimeter at appropriate distances and fixed permanently to the ground. By gripping both sides of the glass, the separated parts of the clamps stabilise the glass. To ensure integrity along the perimeter of the glass system, we used intumescent seals with a cross-section of 2 x 20 mm. The gaps between the edge of the opening and glass were closed with a fire-retardant silicone sealant on both sides of the opening. To provide both sides of the glass fixing spot with additional cover, we used two strips of a fire-resistant gypsum board with a total thickness of 25 mm. This solution made it possible to attach the glass symmetrically to the fixing system. With no structural profiles in place, there were only vertical joints between neighbouring glass panels. As with the side fixing, their integrity was ensured through intumescent seals, with the resulting gap at the interface between glasses being closed with a fire-retardant silicone [16].

The objects compared were as follows:

- a glass partition with load-bearing elements made of glued-laminated timber (object 2) with a density of 550 kg/m³, pressure-treated with a salt-based water preparation; two fire-resistant glass panes made of tempered glass with a thickness of 5 mm, separated by a 10-mm layer of a fire-retardant gel, were supported in the construction through the appropriate milling of battens with a thickness of 68 mm and the use of a wooden profile, the so-called glazing clip, along the sides of each glazing, fixed to the main frame with screws to ensure permanent and stable glazing fixing; in each case the face of the glass pane was secured with an intumescent seal with a cross-section of 2 x 20 mm; the side edges of glass panes at the interface with the wooden frame were insulated using a strip of additional ceramic material secured by a layer of fire-retardant silicone; the glass panels were connected using two identical wooden profiles, and a gypsum board insert was applied at their interface [17];
- a glass partition made of aluminium profiles (object 3) re-cut and connected by fasteners or by crimping appropriate elements to form a frame; the glass partition featured several glazings (the largest one measuring 1,500 x 3,000 mm); the main profiles of the system comprised two the type of profiles connected via a spacer made of reinforced plastic; the 78-mm wide profile designed in this way exhibited a symmetrical construction and allowed the axial fixing of fire-resistant glass (two layers of tempered glass and fire-retardant gel, 5 mm and 10 mm each, respectively); the central profile enclosure was filled with gypsum board strips, which considerably limited temperature transfer to the unexposed side; the glazings were supported in frames with steel angle profiles spot-placed along the edge, and an active gasket with a cross-section of 2 x 20 mm, expanding when exposed to increased temperature was applied along the perimeter of the glass panes [18];
- a glass partition made of fire-resistant glass and steel profiles (object 4) with an appropriately bent steel sheet with a C-shaped cross-section; the connection between these types of parts was achieved through a spacer; the

stalowej blachy. Zostały one umieszczone punktowo po obwodzie w odpowiednich odstępach, a następnie zamocowane do podłoża w sposób trwały. Zagięcie wydzielonych części zacisków na obie strony szyb pozwoliło na ich ustabilizowanie. Szczelność na obwodzie układu szyb zapewniono poprzez użycie uszczelki pęczniającej o przekroju 2 x 20 mm. Powstałe szczeliny pomiędzy krawędzią otworu a szkłem zamknięto silikonem ogniochronnym po obu jego stronach. W celu zapewnienia dodatkowej osłony, w miejscach mocowania szkła po obu jego stronach zastosowano po dwa paski ogniochronnej płyty gipsowo-kartonowej o łącznej grubości 25 mm. Opisane rozwiązanie pozwoliło na symetryczne mocowanie szkła względem wykorzystanego systemu mocowania. Z uwagi na brak profili konstrukcyjnych występowały jedynie połączenia pionowe między sąsiednimi taflami szkła. Ich szczelność, podobnie jak w przypadku mocowania bocznego, zapewniono dzięki umieszczeniu taśmy pęczniającej, a zamknięcie powstałej szczeliny na styku szyb wykonano przy użyciu silikonu ogniochronnego [16].

Objektami porównawczymi były:

- przegroda przeszklona z elementami nośnymi wykonanymi z drewna klejonego (obiekt 2) o gęstości 550 kg/m³ i zaimpregnowanego ciśnieniowo preparatem wodnym na bazie soli; szyby ogniochronne: dwie ze szkła hartowanego o grubości 5 mm, oddzielonych 10-milimetrową warstwą żeluz ogniochronnego, utrzymywane były w konstrukcji dzięki odpowiedniemu wyfrezowaniu kantówek o grubości 68 mm i zastosowaniu drewnianego profilu tzw. klipsa szklącego, który biegł wzdłuż boków każdego przeszklenia i mocowany był do głównej ramy przy pomocy wkrętów, zapewniając trwałe i stabilne mocowanie przeszkleń; w każdym przypadku czoło szyby zabezpieczone było taśmą pęczniąca o wymiarze w przekroju 2 x 20 mm; krawędzie boczne szyb, na styku z ramą drewnianą, wyizolowane były przy pomocy paska dodatkowego materiału ceramicznego, którego zabezpieczenie stanowiła warstwa silikonu ogniochronnego; łączenie sąsiednich tafli szkła wykonane było przy zastosowaniu dwóch identycznych profili drewnianych, a w miejscu ich styku zastosowano wkładkę wykonaną z płyty gipsowej [17];
- przegroda przeszklona zbudowana z profili aluminiowych (obiekt 3) dociętych i łączonych za pomocą łączników lub poprzez zagniatanie odpowiednich elementów tworząc ramę; witraż zawierał kilka przeszkleń (największe o wymiarze 1500 x 3000 mm); główne profile wykorzystanego systemu składały się z dwóch kształtowników połączonych za pomocą tzw. przekładki wykonanej ze zbrojonego tworzywa sztucznego; skonstruowany w taki sposób profil o szerokości 78 mm charakteryzował się symetryczną budową i pozwalał na osiowe zamocowanie szkła ogniochronnego (2 warstwy po 5 mm szkła hartowanego i 10 mm żeluz ogniochronnego); środkowa komora profilu wypełniona była paskami płyty gipsowo-kartonowej, które w znacznym stopniu ograniczają przenikanie temperatur na stronę nienagrzewaną; przeszklenia utrzymywane były w ramach za pomocą stalowych kątowników umieszczonych punktowo wzdłuż krawędzi, a na profilach biegnących po obwodzie szyb zastosowano aktywną uszczelkę

machine crimping of sheet edges binds the elements together to form a 60-mm thick runner; we placed inserts made of fire-resistant gypsum boards inside the two resulting enclosures to reduce temperature increase on the unexposed side; the 20-mm thick glass panes designed as in objects 2 and 3 were fixed in the frame (the largest one was sized 1,500 x 3,000 mm) through the single-side use of steel glazing beads along the perimeter of the openings; on the other side their edges were supported by a face made of an appropriately formed main profile; ceramic strips at the interface between steel elements and both glass surfaces; the integrity of joints between glass panes and the steel construction was conventionally achieved using an intumescent seal, with a cross-section of 2 x 15 mm, along the perimeter of each pane; joints between neighbouring glazings were achieved with the use of profiles with a design similar to the side profile [19].

When designing our tests, we relied on the PN-EN 1363-1 standard, which lays down the general requirements for each fire partition [20]. Detailed guidelines provided in the PN-EN 1364-1 standard on fire insulation tests involving non-load-bearing elements, such as the objects under analysis here, allowed us to produce similar reports based on fire tests. The results for glazed frame partitions with a wooden, aluminium and steel design were taken from POLFLAM's documents [17–19].

The testing conditions relating to pressure, temperature and temperature increase in the furnace, and for the fixing of the boundary test element were in line with Chapter 5 of the PN-EN-1363-1 standard. At the start of the test the ambient temperature was 18.5°C. Measurement locations are shown in Figure 1 and correspond to PN-EN-1363-1 recommendations. In the case of test elements of inhomogeneous non-load-bearing walls, i.e. ones comprising separated parts with an area of $\geq 0.1 \text{ m}^2$, and expected different fire-insulation levels, such as glazing, each separated part should be monitored individually for mean-temperature increase. Mean-temperature increase should be measured using thermocouples placed on each separated part. One thermocouple should be provided per each 1.5 m^2 of area of the test element or its part.

The results of fire simulations were compared in terms of temperature increases, broken down into three groups of measurement element location: the glass surface, profiles in the central part of the construction and the peripheral frame fixed to the furnace structure.

o przekroju 2 x 20 mm, która zwiększa swoją objętość podczas działania temperatury [18];

- przegroda przeszklona wykonana ze szkła ogniochronnego i profili stalowych (obiekt 4) z odpowiednio wygiętej stalowej blachy o przekroju w kształcie litery C. Dwie tego typu części połączono za pomocą przekładki termicznej; maszynowe zagniatanie krawędzi blachy spaja elementy w całość tworząc kształtownik o gr. 60 mm; w powstałych w ten sposób dwóch komorach umieszczono wkłady wykonane z ogniochronnych płyt gipsowo-kartonowych mających na celu zmniejszenie wzrostu temperatury na stronie nienagrzewanej; szyby o grubości 20 mm i budowie jak w obiekcie 2 i 3, mocowane były w ramie (największa o wymiarze 1500 x 3000 mm) przez jednostronne zastosowanie stalowych listew szklących, które biegły po obwodzie otworów; ich krawędzie z drugiej strony opierały się na przyldze wytworzonej z odpowiednio uformowanego głównego profilu; w miejscu styku stalowych elementów z obiema powierzchniami szkła zastosowano taśmy ceramiczne; klasycznie w celu zapewnienia szczelności połączenia szyb z konstrukcją stalową zastosowano uszczelkę pęczniącą o przekroju 2 x 15 mm po obwodzie każdej z nich. Sąsiednie przeszklenia połączono przez zastosowanie profili o podobnej budowie do profilu bocznego [19].

Badania zostały wykonane zgodnie z normą PN-EN 1363-1, która określa wymagania ogólne stawiane wobec każdej z przegród stanowiącej barierę dla ognia [20]. Szczegółowe wytyczne zawarte w normie PN-EN 1364-1 dotyczącej badania izolacyjności ogniowej elementów nienośnych, jakimi są analizowane obiekty, pozwoliły na wykonanie analogicznych raportów na bazie testów ogniowych. Wyniki badań dla przeszklonych przegród ramowych w konstrukcji drewnianej, aluminiowej i stalowej zostały zaczerpnięte z dokumentów POLFLAM-u [17–19].

Warunki wykonania badania dotyczące ciśnienia, temperatury i jej przyrostu w piecu, jak i zamocowania brzegowego elementu próbnego, były zgodne z zapisami rozdziału 5 normy PN-EN-1363-1. Temperatura otoczenia w momencie rozpoczęcia badania wynosiła 18,5°C. Miejsca dokonania pomiarów zostały przedstawione na rycinie 1 i odpowiadają one zaleceniom normy PN-EN-1363-1. W przypadku elementów próbnych niejednorodnych ścian nienośnych, tj. zawierających części wydzielone o powierzchni $\geq 0,1 \text{ m}^2$ i spodziewanych różnych poziomach izolacyjności ogniowej, np. przeszklenie, każdą część wydzieloną należy monitorować osobno pod względem przyrostu temperatury średniej. Przyrost temperatury średniej należy mierzyć za pomocą termoelementów rozmieszczonych na każdej części wydzielonej. Jeden termoelement powinien przypadać na każde 1,5 m^2 powierzchni elementu próbnego lub jego części.

Wyniki z przeprowadzonych symulacji pożaru zostały porównane ze sobą pod względem wielkości przyrostów temperatury w podziale na trzy grupy rozmieszczenia elementów pomiarowych: powierzchni szkła, profili znajdujących się w centralnej części konstrukcji i z ramy obwodowej zamocowanej do konstrukcji pieca.

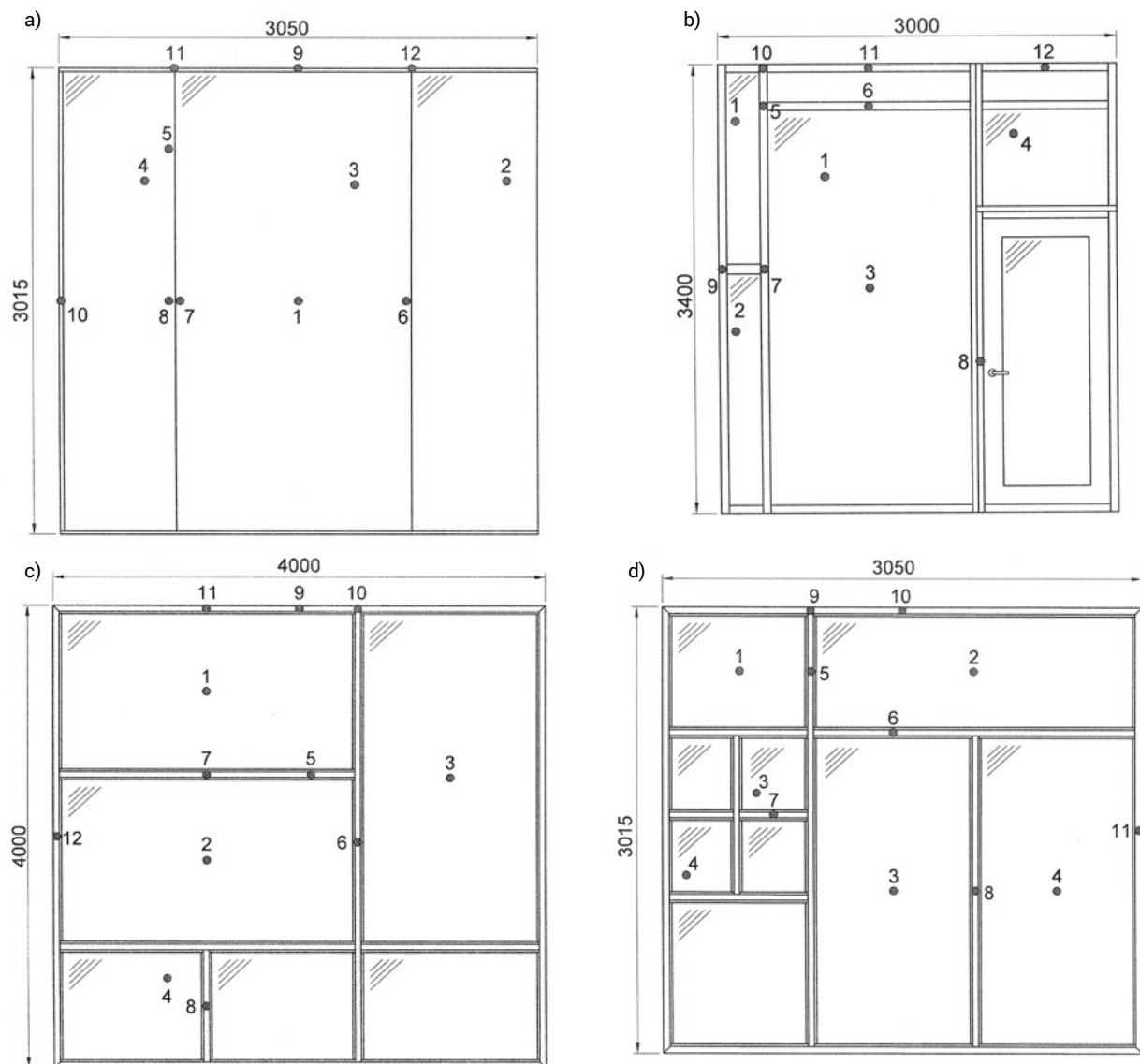


Figure 1. A schematic of glazed partitions and the arrangement of measurement points as per Table 1: a) object 1, b) object 2, c) object 3, d) object 4
Rycina 1. Schemat przeszklonych przegród oraz rozmieszczenie punktów pomiarów zgodnie z tabelą 1: a) obiekt 1, b) obiekt 2, c) obiekt 3, d) obiekt 4

Source: Own elaboration based on the technical data.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych.

Results

Fire insulation, or more specifically, the effectiveness of restricting the flow of heat in the tested construction from the side exposed to fire to the unexposed side is tested using plate thermocouples. It is measured using plate thermometers, made from a nickel-alloy plate assembly, located on the surface of the tested object. The measured quantity is temperature increase determined on the basis of temperature measured at a given time and at a given point of the tested object from which the initial temperature at second 0 is subtracted. At the start of the test temperature readings for each point are adjusted to zero regardless of their value, and from that point their increases are measured in line with the PN-EN-1363-1 standard. Figure 2 shows the appearance of the tested glazings after the test.

Wyniki

Izolacyjność ogniową, a w zasadzie skuteczność ograniczania przepływu ciepła weryfikowanej konstrukcji ze strony poddawanej działaniu ognia na stronę nienagrzewaną, bada się przy pomocy termoelementów płytkowych. Mierzy się ją przy pomocy termometrów płytkowych, zbudowanych z zespołu płytki ze stopu niklu, rozmieszczonych na powierzchni badanego obiektu. Miarą jest przyrost temperatury określany na podstawie temperatury mierzonej w danej chwili i w danym punkcie badanego obiektu, od której odejmowana jest temperatura początkowa w sekundzie 0. W momencie uruchomienia badania temperatura odczytywana dla każdego punktu jest zerowana, niezależnie od jej wartości, i od tego momentu liczony jest jej przyrost zgodnie z normą PN-EN-1363-1. Zdjęcia analizowanych przeszkleń, po zakończeniu badania, zostały przedstawione na rycinie 2.

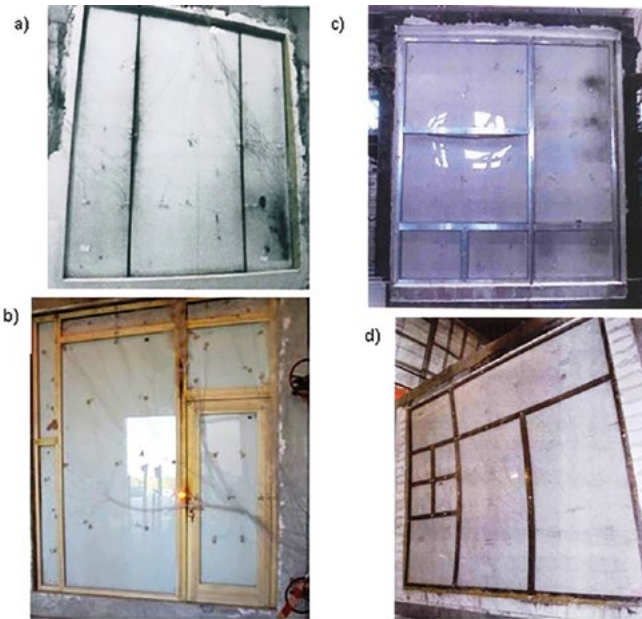


Figure 2. Partition walls after the fire tests: a) object 1, b) object 2, c) object 3, d) object 4
Rycina 2. Widok przeszklonych ścian działowych po badaniu ogniowym: a) obiekt 1, b) obiekt 2, c) obiekt 3, d) obiekt 4
Source: Reports [16–19].
Źródło: Raporty [16–19].

Table 1. The results of measurements of temperature increase [OC] in the tested glass partitions
Tabela 1. Wyniki pomiarów przyrostu temperatur [OC] w badanych przegrodach przeszklonych

Time/Czas [min]	Measurement locations according to Figure 1 / Miejsca pomiaru zgodnie z ryciną 1																							
	1				2				3				4				5				6			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	2	2	2	0	2	2	1	0	1	2	3	0	3	4	3	0	0	1	5	0	0	0	4
6	1	11	7	10	1	10	7	10	1	5	10	7	2	11	10	8	2	1	8	25	0	1	3	7
8	4	24	20	25	4	21	19	22	4	10	25	18	5	24	27	17	3	2	20	69	2	2	10	20
10	8	35	30	30	7	30	28	35	7	20	37	22	8	36	35	21	9	3	27	72	8	4	12	27
12	14	45	38	35	12	41	36	40	13	29	40	30	11	48	40	28	13	4	35	74	16	5	16	35
14	19	55	48	48	18	50	47	51	17	37	50	42	17	59	53	43	18	5	54	75	20	7	25	54
16	27	61	58	55	29	58	55	60	26	45	57	48	24	65	62	47	27	7	70	76	26	10	34	75
18	30	68	68	65	36	65	65	68	34	52	64	57	32	71	70	55	35	8	80	79	36	12	41	77
20	42	71	73	70	44	70	68	70	45	58	68	62	40	75	75	57	41	11	80	81	39	15	48	80
22	45	74	76	73	49	73	72	74	48	62	70	65	44	77	77	62	46	13	80	86	43	17	51	87
24	46	76	80	75	55	77	77	77	53	67	75	68	49	79	81	65	54	15	80	96	52	19	55	104
26	59	78	83	77	58	78	80	80	59	70	78	71	56	81	85	70	58	17	80	112	56	20	57	112
28	61	80	86	80	64	80	83	82	65	73	79	75	59	83	88	74	62	18	81	121	58	22	58	150
30	64	81	87	87	67	82	84	85	68	75	80	77	60	85	90	75	64	19	81	122	61	24	59	157

Time/Czas [min]	Measurement locations according to Figure 1 / Miejsca pomiaru zgodnie z ryciną 1																							
	7				8				9				10				11				12			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	0	0	0	3	0	0	0	1	0	-
6	0	1	4	8	0	1	6	12	0	0	0	8	0	10	0	8	0	5	1	7	0	2	0	-
8	4	1	14	25	5	2	20	55	0	0	4	22	0	20	5	19	0	11	7	40	0	5	2	-
10	11	2	20	38	11	3	48	68	0	0	5	28	0	25	8	40	0	14	11	50	0	9	2	-
12	16	3	28	54	15	3	58	71	0	1	8	37	0	29	15	61	0	12	15	71	0	11	5	-
14	24	4	27	71	23	3	63	76	0	2	14	46	0	31	30	74	0	11	20	75	0	10	10	-
16	34	6	44	76	33	7	70	77	1	3	27	55	0	33	42	77	1	10	28	77	2	9	18	-
18	38	7	60	77	38	11	76	81	2	4	60	60	0	35	48	78	2	11	65	79	2	10	40	-
20	48	7	72	81	47	9	78	87	6	5	76	70	0	36	51	79	3	12	60	80	3	11	60	-
22	54	8	80	86	53	10	78	90	8	6	80	73	1	38	53	82	4	14	60	84	4	12	77	-
24	59	8	82	90	57	11	78	110	9	7	82	75	2	40	56	85	5	15	62	89	5	14	80	-
26	63	9	83	105	64	12	74	115	12	8	82	78	3	41	58	96	7	17	63	102	7	16	80	-
28	68	11	84	118	69	14	74	127	15	8	82	80	4	43	59	109	10	20	60	118	8	17	80	-
30	74	13	85	125	75	15	75	129	16	9	81	81	5	44	60	119	13	24	57	120	11	19	80	-

Source: Own elaboration based on the test results.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

In the frameless partition joints between neighbouring glass panes were provided as narrow gaps secured with fire-retardant silicone. Due to the lack of a profile at the interface between glass panes, the thermocouples which were to measure temperature on profiles in the central section of the construction were placed close to the said joints. Made almost entirely of glass, the partition exhibited a uniform increase in value for measurement points 1 to 8, with a slow decrease over test time. Each of them was placed on the surface of glass panes, all of which had the same internal structure and provided a barrier for heat transfer to the unexposed side. The maximum value reached 75°C. Glazing fixings were secured with two gypsum board strips on both sides of the partition. We attached thermocouples numbered 9 to 12 to this casing. While no increase was recorded in the first half of the test, after about 15 minutes, and until the test ended, sensors registered a small temperature increase, reaching a maximum of 16°C. It should be added that internal glass pane cracking occurred between 180 and 360 s from the test start.

The partition made of wooden battens had good fire insulation against temperature transfer to the non-heated surface. Profiles located in the central section of the construction showed similar thermal conductivity to the peripheral frame, and temperature increase was linear for both. This was caused by the consistent burning of wood, reducing its thickness and protection effectiveness. Placed at the connection of profiles, measurement point 10 was an exception here. It involved an abrupt increase in temperature at the initial stage of the test, identifying a local weakening of the construction's fixing and integrity. Taken from glazing surfaces, the measurements exhibited a consistent increase in value in the first half of the test. In the second part of the test, the rate of temperature increase in points 1–4 decreased after reaching a maximum of 85°C. We noted that wood provided better thermal insulation than fire-resistant glass, with a difference of about 65 attributable to the different thickness and conductivity of °C these materials. Internal glass pane cracking occurred between seconds 150 and 360 of the test.

Made of aluminium profiles, the partition had a similar temperature increase over time on its entire surface. The profiles in the central part of the construction showed a higher temperature increase in the first half of the test compared to those located at the perimeter. Underlying this difference was the fact that their entire surface was exposed to fire from the heated surface, as opposed to the external frame. In this case, one of its surfaces came into contact with the furnace wall construction, which had a cooling effect, thus reducing the effects of the high temperature. An important factor affecting thermocouple readings on central profiles was also the bending of the construction to the interior of the test furnace. The deformation at the initial stage of the test caused the profiles to be closer to fire from the burners which heated the furnace chamber. Due to this proximity, it was easier for aluminium to absorb the high temperature and transfer it to the unexposed side. About 16–18 minutes into the test, we noticed that the temperature on metal elements had increased by as many as 33–37°C. This was related to the melting of aluminium and the deterioration of parts of the construction, causing heat to penetrate deeper into the profile. Ceramic

W przegrodzie bezramowej łączenia między sąsiednimi szymbami sprowadzały się do wąskiej szczeliny zabezpieczonej silikonem ogniochronnym. Z uwagi na nieobecność kształtownika w miejscu styku szyb, termopary właściwe do pomiaru temperatury na profilach w części centralnej konstrukcji zlokalizowano w bliskiej odległości wspomnianych połączeń. Przegroda, składająca się niemal w całości ze szkła, odznaczała się równomiernym wzrostem wartości dla punktów pomiarowych od 1 do 8 o niewielkim obniżeniu wraz z czasem trwania badania. Każdy z nich umieszczono na powierzchni szyb, których wewnętrzna struktura była jednakowa i w podobnym stopniu stanowiła barierę dla przenikania ciepła na stronę nienagrzewaną. Maksymalna wartość sięgnęła 75°C. Mocowania przeszkleń zabezpieczone były dwoma paskami płyty gipsowo-kartonowej po obu stronach przegrody. Na tak przygotowanej obudowie przymocowano termopary o numerach od 9 do 12. W pierwszej połowie badania nie odnotowano żadnego wzrostu, jednak po upływie ok. 15 minut aż do zakończenia testu czujniki rejestrowały niewielki wzrost temperatury, osiągając najwyższą wartość 16°C. Należy dodać, że pęknięcia szyb wewnętrznych nastąpiły w czasie między 180 a 360 s od rozpoczęcia badania.

Przegroda wykonana z kantówek drewnianych odznaczała się dobrą izolacyjnością przed przenikaniem temperatury na powierzchnię nienagrzewaną. Profile znajdujące się w centralnej części konstrukcji wykazywały podobne przewodnictwo cieplne do ramy obwodowej, a przyrost wartości dla obu z nich miał charakter liniowy. Związane było to z systematycznym wypalaniem się drewna prowadzącym do zmniejszania jego grubości i skuteczności ochrony. Wyjątek stanowił punkt pomiarowy nr 10, który umieszczony był w miejscu łączenia profili. Wykazywał on nagły wzrost temperatury, w początkowej fazie badania identyfikując punktowe osłabienie mocowania i szczelności konstrukcji. Pomiaru zbierane z powierzchni przeszkleń charakteryzowały się systematycznym wzrostem wartości w pierwszej połowie badania. W drugiej jego części szybkość przyrostu temperatury w punktach 1–4 uległa zmniejszeniu, osiągając najwyższą wartość 85°C. Zaobserwowano, że drewno stanowiło lepszy izolator termiczny niż zastosowane szkło ogniochronne z różnicą sięgającą ok. 65°C, co było spowodowane różnicą w grubości i przewodnictwie cieplnym obu materiałów. Pęknięcia szyb wewnętrznych nastąpiły między 150 a 360 sekundą badania.

Przegroda wykonana z kształtowników aluminiowych charakteryzowała się zbliżonym wzrostem temperatury w czasie na całej swojej powierzchni. Profile, umiejscowione w centralnej części konstrukcji, wykazywały większy przyrost wartości w pierwszej połowie badania w porównaniu do tych, znajdujących się na obwodzie. Różnica wynikała z faktu, iż były one wystawione na działanie ognia na całej swojej powierzchni od strony nagrzewanej w przeciwieństwie do ramy zewnętrznej. W tym przypadku jedna z jej płaszczyzn stykała się z konstrukcją ściany pieca, która działała wychładzająco, ograniczając w ten sposób oddziaływanie wysokiej temperatury. Istotny wpływ na wartości odczytywane z termopar zlokalizowanych na profilach centralnych, miało również ugięcie konstrukcji do wnętrza pieca badawczego. Występująca deformacja w początkowej fazie testu spowodowała zbliżenie kształtowników do strumienia ognia z palników, które ogrzewały komorę pieca. Bliższa odległość do płomieni ułatwiła przejmowanie wysokiej temperatury przez aluminium i przekazywanie jej na stronę

fibre compound inserts in the internal enclosure of the profiles helped to slow down heat penetration and had a positive effect on the overall test result. As in the case of the wooden glass partition, the readings from glazing surfaces indicated lower temperature surges over test time. For points 1–4 the values were in the range of 1–5°C 18 minutes into the test. Towards the end of the testing process, the temperature for both aluminium profiles and glazings reached similar values, with the maximum being around 90°C. Internal glass cracking occurred between seconds 180 and 300 after the fire started.

The highest temperatures in most points was recorded for the construction made of steel profiles. In the first half of the test, the profiles located in the central section of the construction were found to involve a higher temperature increase than the peripheral frame. As in the previous case, this involved both a considerable bending of the partition towards the interior of the furnace and the function of the wall to which the end profiles, exhibiting poor thermal conductivity, were attached. The largest temperature increase was observed between minutes 6 and 8 of the test for the profiles located in the central section of the construction. This caused the deformation of joints. Halfway into the testing process, between minutes 14 and 22, the temperature surge was found to have decreased due to the cooling function of the applied inserts in internal profile enclosures. The ceramic fibre compound provided good thermal insulation, preventing much of the heat from penetrating into the unexposed side. After about 22 minutes the rising temperature inside the furnace exceeded the cooling capacity of gypsum inserts, causing a greater temperature increase to reach a maximum of 155°C at point 6 in the central section of the construction. This was caused by the endothermic effects which can be seen on the DTA curve of gypsum. The measurements taken on glazing surfaces showed a steady, proportional increase, with a minor drop over test time. Internal glass pane cracking occurred between seconds 120 and 300 of the test.

Regardless of the glass partition's design, the fire-retardant gel underwent superficial and progressive crystallisation immediately after the glass panes on the side of the test furnace had cracked and detached. The crystalline structure of the gel deteriorated slowly over time, losing its thickness and thereby its fire-retardant quality, and being increasingly exposed to the rising temperature inside the furnace.

Analysis of the results

The comparative analysis involved the presentation of temperature changes in a set of analogous points. The first set of results related to temperature increase readings on the glazing

nienagrzewaną. Po upływie ok. 16–18 minut testu zauważono zwiększenie przyrostu temperatury na elementach metalowych o nawet 33–37°C. Związane było to z wytapianiem się aluminium i degradacją części konstrukcji, czego efektem było przenikanie ciepła w głąb profilu. Wkłady z masy na bazie włókna ceramicznego, znajdujące się w wewnętrznej komorze profili, pozwoliły na spowolnienie przenikania ciepła i pozytywnie wpłynęły na wynik badania. Wartości odczytywane z powierzchni przeszkleń, podobnie jak w przypadku witryny drewnianej, charakteryzowały się zmniejszeniem skoku temperatury wraz z czasem trwania testu. W odniesieniu do punktów 1–4 były to wartości w granicach 1–5°C po 18 minucie badania. Temperatura pod koniec procesu badawczego – zarówno dla profili aluminiowych, jak i przeszkleń – osiągnęła zbliżone wartości, a maksymalna z nich oscylowała ok. 90°C. Pęknięcia szyb wewnętrznych nastąpiły w czasie między 180 a 300 sekundą od początku działania pożaru.

Konstrukcja wykonana z kształtowników stalowych cechowała się w większości punktów największymi temperaturami. W pierwszej połowie czasu badania na profilach znajdujących się w centralnej części konstrukcji odnotowano większy wzrost wartości niż w przypadku ramy obwodowej. Wiązało się to, podobnie jak w poprzednim przypadku, zarówno ze znacznym ugięciem przegrody w kierunku wnętrza pieca, jak również z funkcją ściany, do której zamocowano skrajne kształtowniki, posiadającej niskie przewodnictwo cieplne. Największy przyrost temperatury zaobserwowano między 6 a 8 minutą badania dla profili znajdujących się w centralnej części konstrukcji. Wiązało się to z deformacją połączeń. W środkowej części procesu badawczego, między 14 a 22 minutą, zaobserwowano zmniejszenie skoku przyrostu temperatury, które spowodowane było wychładzającą funkcją zastosowanych wkładów w zewnętrznych komorach profili. Masa na bazie włókna ceramicznego stanowiła dobry izolator termiczny, który w znacznym stopniu ograniczał przenikanie ciepła na stronę nienagrzewaną. Po upływie ok. 22 minut rosnąca temperatura we wnętrzu pieca przewyższyła możliwości chłodzące gipsowych wkładek i spowodowała zwiększenie przyrostu osiągając maksymalną wartość 155°C w punkcie 6 znajdującym się w centralnej części konstrukcji. Było to związane z efektami endotermicznymi, które można zaobserwować na krzywej DTA gipsu. Pomiar prowadzony na powierzchni przeszkleń odznaczał się stałym, proporcjonalnym wzrostem o niewielkim obniżeniu wraz z czasem trwania procesu badawczego. Pęknięcia szyb wewnętrznych nastąpiły między 120 a 300 sekundą od rozpoczęcia badania.

Niezależnie od budowy przegrody przeszklonej, żel ulegał powierzchniowej i stopniowo postępującej krystalizacji od razu po pęknięciu i odpadnięciu szyb od strony pieca badawczego. Struktura krystaliczna żel ulegała powolnej degradacji wraz z upływem czasu, redukując swoją grubość, a tym samym zmniejszając swoją ogniochronność, poddając się powoli wzrastającej temperaturze wewnątrz pieca.

Analiza wyników

Analiza porównawcza sprowadzała się do przedstawienia zmian temperatury w zbiorze analogicznych punktów. Pierwszy zbiór wyników dotyczył wskazań wzrostu temperatury na powierzchni

surfaces of all tested partitions (Figure 3). Constructions with wooden, aluminium and steel profiles exhibited similar temperature distributions over time, with tolerance in the range of $\pm 8^\circ\text{C}$. The discrepancies in readings could stem from many factors associated with conducting tests using furnaces with similar, although not identical, performance, available in various laboratories. The maximum temperature increase recorded did not exceed 85°C . The measurements taken from thermocouples on the partition surface in the frameless solution differed from other measurements. This discrepancy was due to the glass partition featuring glass with an increased thickness of 30 mm, which started to respond to rising temperature about 2 minutes later than the 20-mm thick glazings. At the initial stage of the testing process, this difference grew and reached a maximum of 30°C about 15 minutes into the test, decreasing by several degrees over test time. A comparative analysis can show the extent to which temperature increase on the non-heated surface can be reduced by applying glass with twice the thickness.

przeszkleń wszystkich testowanych przegród (zob. ryc. 3). Konstrukcje o profilach drewnianych, aluminiowych oraz stalowych odznaczały się zbliżonym rozkładem temperatury w czasie z tolerancją mieszczącą się w zakresie $\pm 8^\circ\text{C}$. Występujące rozbieżności w odczytach mogły wynikać z wielu czynników związanych z przeprowadzaniem testów przy użyciu pieców o podobnej, lecz nie identycznej charakterystyce, znajdujących się w różnych laboratoriach badawczych. Maksymalna zaobserwowana wartość przyrostu temperatury nie przekroczyła 85°C . Pomiary odczytywane z termoelementów na powierzchni przegrody w rozwiązaniu bezramowym odróżniały się od pozostałych. Powodem występującej rozbieżności było zastosowanie w przegrodzie szkła o zwiększonej grubości 30-milimetrów, które zaczęło reagować na rosnącą temperaturę o ok. 2 minuty później niż w przypadku przeszkleń o grubości 20 mm. W początkowej fazie procesu badawczego różnica ta zwiększała się i w okolicach 15 minut osiągnęła maksimum wynoszące 30°C , zmniejszając się o kilka stopni wraz z upływem czasu badania. Analiza porównawcza może pokazać, w jakim stopniu dwukrotne zwiększenie grubości szkła może wpłynąć na zmniejszenie przyrostu temperatury na powierzchni nienagrzewanej.

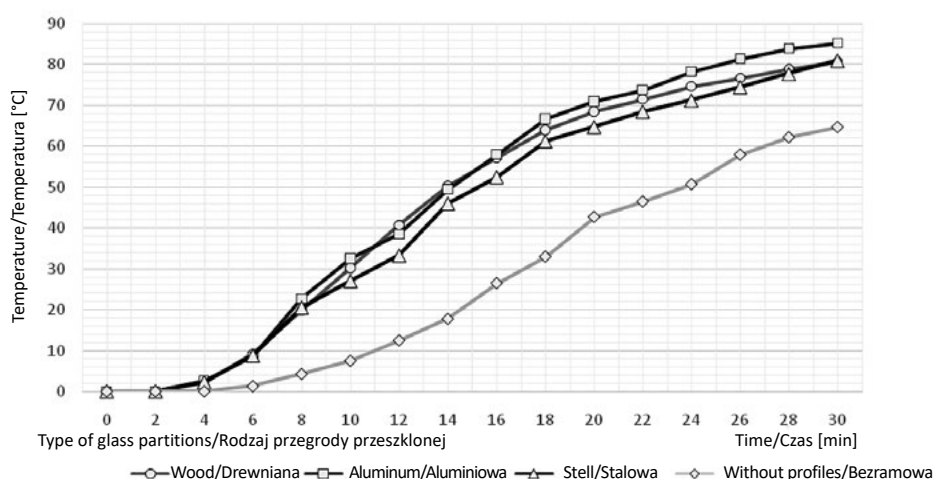


Figure 3. Average temperature increase on the glass surface of the analysed glass partitions

Rycina 3. Średni przyrost temperatury na powierzchni szkła analizowanych przegród przeszkłonych

Source: Own elaboration based on the test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

The other set of data under analysis was collected from surfaces of the profiles in the central section of the partition, serving as joints between neighbouring glass panels (Figure 4). The results varied significantly, as each of the constructions was built from materials having different thermal insulation properties. The largest temperature increase was found on steel profiles. They exhibited higher values compared to other constructions due to the use of 60-mm thick profiles, i.e. the thinnest of all profiles used. With the heated surface of the partition being closer to flames from the test-chamber burners, the temperature of metal increased easier and faster in the first minutes of the test than in other constructions. The largest value recorded was 135°C . Temperature increases for the partition made of aluminium profiles were more moderate compared to the steel construction.

Kolejny analizowany zbiór danych został zebrany z powierzchni profili znajdujących się w centralnej części przegrody i stanowiących połączenie sąsiednich tafli szkła (zob. ryc. 4). Zaprezentowane wyniki w znacznym stopniu różniły się od siebie, ponieważ każda z konstrukcji zbudowana była z materiałów o odmiennych właściwościach izolacyjności termicznej. Największy przyrost temperatury odnotowano na kształtownikach wykonanych ze stali. Osiąganie wyższych wartości, niż w przypadku pozostałych konstrukcji, spowodowane było zastosowaniem profili o grubości 60 mm, będącymi najcieńszymi spośród wszystkich. Zbliżenie nagrzewanej powierzchni przegrody do strumienia płomieni, wydostających się z palników w komorze badawczej, spowodowało łatwiejsze i szybsze rozgrzewanie się metalu w początkowych minutach testu niż w przypadku pozostałych konstrukcji.

The profiles exhibited a slower rate of heating and heat transfer to the unexposed side across the test. Temperature increases were on the decline over time, and from about minute 20 to the end of the process, the temperature ranged from 70 to 75°C. The triple-enclosure design of the profiles with cooling inserts put inside the central section provided the construction with good protection against heat transfer to the unexposed side. The external empty spaces of the profiles served as an additional buffer, substantially reducing heat transfer. We obtained satisfactory results for the frameless glass solution. In this case the thermocouples were located at a distance of about 20 mm from the gaps at the interface of neighbouring glass panels. The average temperature increase from minute 6 grew moderately and almost linearly until the end of the test. This was due to the uniform composition of glass on its entire surface and its effective thermal insulation. Maximum temperatures did not exceed 70°C. The lowest parameters were recorded for the construction made of wooden battens. Despite being only 68-mm thick, these elements had a very low thermal conductivity coefficient, considerably reducing heat transfer to the unexposed side. Temperature increase was recorded from about minute 6, growing slowly to reach a maximum of 19°C 30 minutes into the test at designated profile points without joints.

Najwyższa odnotowana wartość osiągnęła 135°C. Przegroda wykonana z kształtowników aluminiowych odznaczała się łagodniejszym wzrostem temperatury w porównaniu do konstrukcji stalowej. Profile charakteryzowały się wolniejszym nagrzewaniem i przekazywaniem ciepła na stronę nienagrzewaną w ciągu całego badania. Wraz z upływem czasu kolejne przyrosty charakteryzowały się coraz mniejszą wartością i od ok. 20 minuty do końca procesu temperatura wahała się między 70 a 75°C. Trójkomorowa budowa profili z wkładami wychładzającymi umieszczonymi w środkowej części we właściwy sposób zabezpieczyła konstrukcję przed przenikaniem ciepła na stronę nienagrzewaną. Zewnętrzne, puste przestrzenie kształtowników funkcjonowały jako dodatkowy bufor ograniczający w znaczny sposób przekazywanie ciepła. Bezramowe rozwiązanie mocowania szkła również uzyskało zadowalające wyniki. W tym przypadku termoelementy umieszczone zostały w odległości ok. 20 mm od szczelin w miejscu styku sąsiednich tafli szkła. Średni przyrost temperatury w czasie od 6 minuty zwiększał swoje wartości w łagodny sposób i utrzymywał niemal liniowy wzrost do końca trwania testu. Związane było to z jednolitą budową szkła na całej swojej powierzchni i jego efektywną izolacyjnością termiczną. Maksymalne temperatury nie przekroczyły 70°C. Najniższymi parametrami charakteryzowała się konstrukcja wykonana z kantówek drewnianych. Elementy te, pomimo swojej niewielkiej grubości 68 mm, posiadały bardzo niski współczynnik przenikania ciepła, który w znacznym stopniu ograniczył przekazywanie ciepła na stronę nienagrzewaną. Przyrost temperatur odnotowano od ok. 6 minuty, który powoli zwiększał swoje wartości, osiągając maksymalną wartość 19°C w 30 minucie badania w punktach wyznaczonych na profilach bez łączeń.

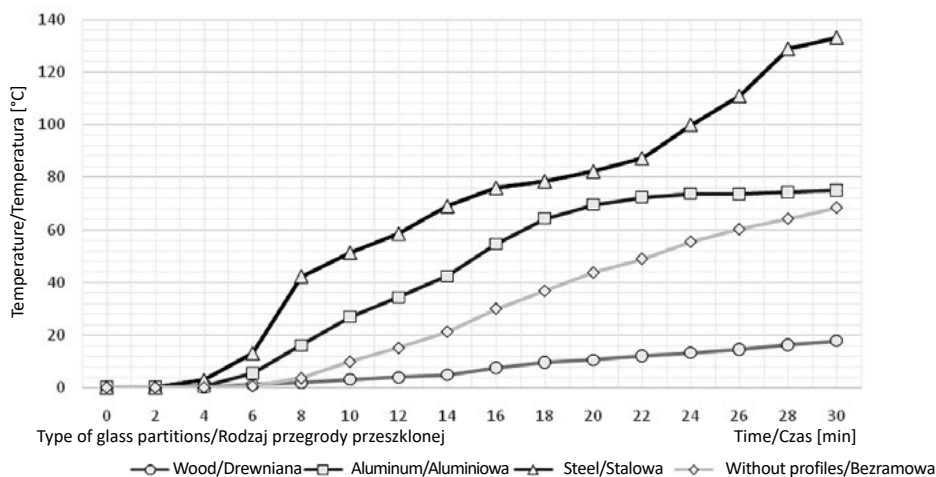


Figure 4. Average temperature increase on the internal profiles of the analysed glass partitions
Rycina 4. Średni przyrost temperatury na profilach wewnętrznych analizowanych przegród przeszklonych

Source: Own elaboration based on the test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

The last comparison was related to temperature readings on surfaces of the profiles which constituted the external peripheral frame of the tested elements. The results are presented in the chart as mean values for each partition (Figure 5). As in the previous case, substantial differences were observed in temperature

Ostatnie porównanie dotyczyło temperatur odczytywanych na powierzchni profili tworzących zewnętrzną ramę obwodową elementów badawczych. Otrzymane wyniki zaprezentowano na wykresie w formie średnich wartości obliczonych dla każdej z przegród (zob. ryc. 5). Podobnie jak w poprzednim przypadku,

increases between the tested elements. The largest increase was recorded on steel-profile surfaces, whose temperatures grew at the fastest rate. The maximum temperature for this type of glass partition was 107°C. We observed a difference relative to other partitions due to the use of 60-mm wide profiles, which were thinner compared to other elements subjected to testing. Internally, they comprised two enclosures partly filled with inserts, showing poorer effectiveness than other partitions. Much better results were obtained for aluminium-profile constructions. The triple-enclosure design of 78-mm wide profiles provided a more effective protection against heat transfer to the unexposed side. The spaces inside them acted as buffers, providing a good barrier against the rising temperature. At 72°C the highest temperature was recorded at minute 25, decreasing over time to 70°C at the end of the test. The construction made of wooden battens proved highly effective in providing thermal protection. As previously mentioned, this material affords superior thermal insulation. Temperature on the peripheral-frame surface increased much slower than in partitions made of steel and aluminium profiles. It did not exceed 22°C 30 minutes into the test. The most effective protection was provided by the frameless partition. The interface between glass panels with the edge of the tested frame was protected from both the exposed and unexposed side with two narrow strips of gypsum board. Due to its low thermal conductivity, this material provided excellent protection against heat transfer. The surface thermocouples were placed on the glass-fixing protection spot, as described. Given the behaviour of gypsum boards, the recorded temperature increase over time began at about minute 14, and the temperature reached its maximum of 16°C at minute 30 of the test.

zaobserwowano duże różnice w przyrostach temperatury pomiędzy testowanymi elementami. Największy wzrost odnotowano na powierzchni profili stalowych, które rozgrzewały się również w najszybszym tempie. Maksymalna wartość dla tego typu witryny osiągnęła poziom 107°C. Zaobserwowana różnica w stosunku do pozostałych przegród wynikała z zastosowania kształtowników o szerokości 60 mm, które były najcieńsze w porównaniu z pozostałymi elementami badawczymi. Ich wnętrze składało się z dwóch komór częściowo wypełnionych wkładami, których skuteczność była słabsza niż w przypadku innych przegród. Znacznie lepsze wyniki uzyskano dla konstrukcji składających się z profili aluminiowych. Trójkomorowa budowa kształtowników o szerokości 78 mm charakteryzowała się skuteczniejszą ochroną przed przenikaniem ciepła na stronę nienagrzewaną. Występujące przestrzenie w ich wnętrzu tworzyły zamknięte bufory, które stanowiły dobrą barierę dla rosnącej temperatury. Najwyższą wartość 72°C odnotowano w 25 minucie, która wraz z upływem czasu malała, osiągając ok. 70°C na koniec badania. Konstrukcja wykonana z kantówek drewnianych odznaczała się wysoką skutecznością ochrony termicznej. Jak wcześniej wspomniano, materiał ten charakteryzuje się wysoką izolacyjnością przed przenikaniem ciepła. Temperatura na powierzchni ramy obwodowej wzrastała znacznie wolniej niż w przypadku przegród wykonanych z kształtowników stalowych czy aluminiowych. Po upływie 30 minut badania wartości nie przekroczyły 22°C. Najskuteczniejszą ochronę zapewniła przegroda wykonana w rozwiązaniu bezramowym. Miejsce styku paneli szklanych z krawędzią ramy badawczej zabezpieczone było zarówno od strony nagrzewanej, jak i nienagrzewanej dwoma wąskimi paskami płyty gipsowo-kartonowej. Materiał ten, z uwagi na niski współczynnik przewodzenia ciepła, stanowił bardzo dobre zabezpieczenie przed przenikaniem ciepła. Termoelementy powierzchniowe rozmieszczone były na opisanym zabezpieczeniu miejsca mocowania szyb. Ze względu na charakterystykę zastosowanych płyt zarejestrowany przyrost wartości w czasie rozpoczął się w ok. 14 minucie i osiągnął maksymalną wartość nieprzekraczającą 16°C w 30 minucie badania.

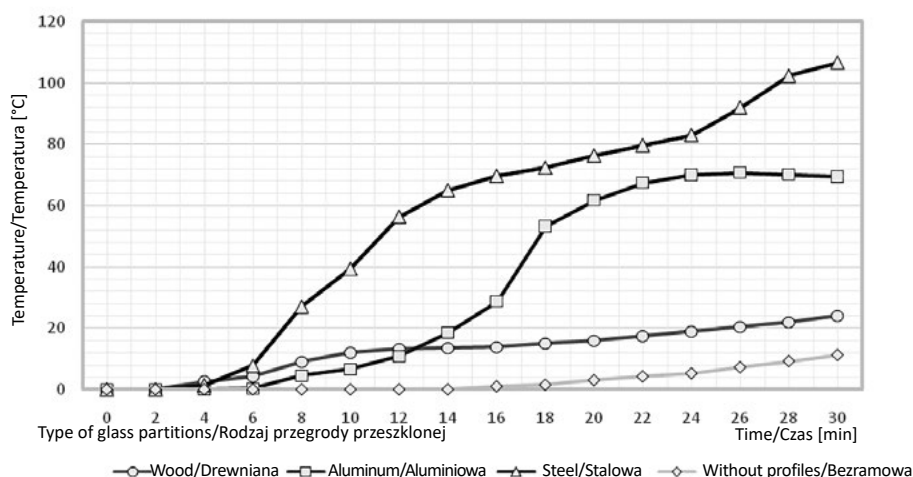


Figure 5. Average temperature increase on external profiles of the analysed glass partitions

Rycina 5. Średni przyrost temperatury na profilach zewnętrznych analizowanych przegród przeszklonych

Source: Own elaboration based on the test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Conclusions and summary

In no case were the guidelines on the boundary values of temperature increase exceeded, in terms of both a single point and the average increase.

The analysed partitions exhibited different temperature increases measured on the side opposite to the one exposed to fire. In the chart below we present consolidated values from all measurement points for each of the analysed constructions, excluding glass panels (Fig. 6). Measurements taken on glass panes were disregarded because of the differences in their thickness in the frameless solution compared to other test objects. The partition made of steel profiles exhibited the highest temperature increase, reaching a maximum average temperature of 120°C. Other partitions were found not to exceed the 75°C threshold, and the one which came closest to it was made of aluminium profiles. The wooden and frameless constructions afforded the most effective protection against heat transfer. The former reached a maximum average temperature of 21°C, while the other did not exceed 11°C.

Wnioski i podsumowanie

Biorąc pod uwagę wytyczne dotyczące granicznych wartości przyrostu temperatury, w żadnym przypadku nie zostały one przekroczone zarówno w odniesieniu do pojedynczego punktu, jak i średniego przyrostu.

Analizowane przegrody odznaczały się odmiennymi przyrostami temperatury mierzonymi po przeciwnej stronie względem działania ognia. Na poniższym wykresie zaprezentowano uśrednione wartości ze wszystkich punktów pomiarowych dla każdej z analizowanych konstrukcji z wykluczeniem paneli szklanych (zob. ryc. 6). Pomiary wykonane na szybach zostały pominięte z uwagi na różnice w ich grubości w rozwiązaniu bezramowym względem innych obiektów. Przegroda wykonana z kształtowników stalowych odznaczała się najwyższym przyrostem temperatury, osiągając maksymalną średnią temperaturę 120°C. Wyniki pozostałych przegród nie wykroczyły poza próg 75°C, do którego najbardziej zbliżyła się ta wykonana z profili aluminiowych. Największą skuteczność ochrony przed przenikaniem ciepła przejawiała konstrukcja drewniana oraz bezramowa. Pierwsza z nich osiągnęła maksymalną, średnią temperaturę 21°C, natomiast druga nie przekroczyła 11°C.

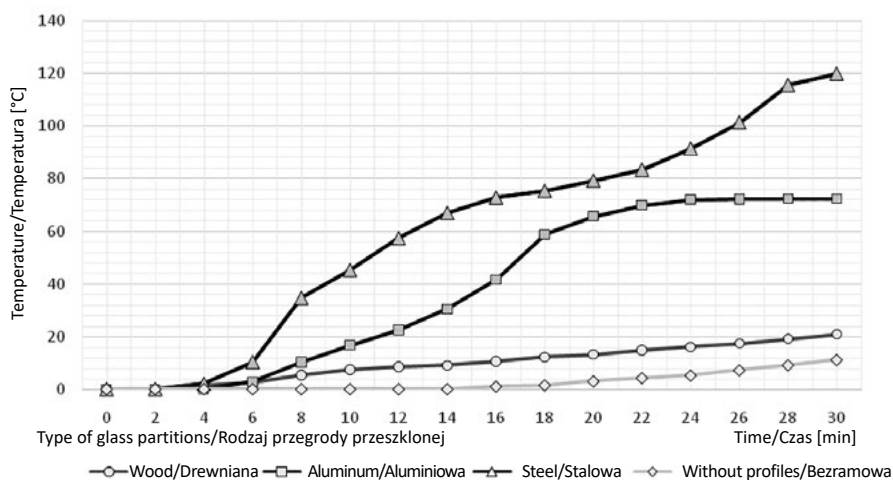


Figure 6. Average temperature increase on the surface of glazing joints of the analysed glass partitions
Rycina 6. Średni przyrost temperatury na powierzchni łączni przeszkleń analizowanych przegród przeszklonych

Source: Own elaboration based on the test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Each of the analysed partitions was made of materials with different behaviour. The profiles we used differed in terms of both their internal construction and thermal properties. Detailed analyses of the temperature increase distribution on unexposed surfaces allowed us to compare their effectiveness as fire partitions. The frameless solution provided the most effective protection against heat transfer. Peripheral profiles made of gypsum board strips proved to be effective barriers against fire. Similar thermal insulation properties were found for the partition

Każda z analizowanych przegród zbudowana była z materiałów o odmiennej charakterystyce. Wykorzystywane profile różniły się zarówno budową wewnętrzną, jak i właściwościami termicznymi. Szczegółowe analizy rozkładu przyrostu temperatury na powierzchniach nienagrzewanych pozwoliły na porównanie efektywności ich funkcjonowania jako przegród ogniochronnych. Najskuteczniejszą ochroną przed przenikaniem ciepła odznaczało się rozwiązanie bezramowe. Obwodowe profile wykonane z pasków płyt gipsowo-kartonowych stanowiły skuteczną barierę

made of wooden battens. Despite the significant difference in temperature increases for other constructions made of steel and aluminium profiles, each of them met the fire-resistance requirements and maintained fire-insulation parameters for 30 minutes, reaching the rating of I 30.

Compared to other constructions, the frameless solution had no internal profiles, and based on the collected temperature increase data, these proved to be the weakest element of glazed constructions. Our analysis shows that the simplest way to increase fire safety is not only by increasing glass pane thickness, but also by reducing the number of internal profiles in the glass partition.

Glass partitions currently available on the market have different designs and thermal performance. The only criterion to assess the effectiveness of a construction as a barrier during a fire is to test its fire resistance. As long as an element meets the integrity and fire insulation requirements over test time, it serves as a partition which could be used in buildings to provide passive fire protection.

dla działania pożaru. Podobne właściwości izolacyjności termicznej przejawiała przegroda zbudowana z kantówek drewnianych. Pomimo znacznej różnicy w przyroście temperatury dla pozostałych konstrukcji składających się z kształtowników stalowych i aluminiowych, każda z nich spełniła stawiane wymagania odporności ogniowej i utrzymała parametry izolacyjności ogniowej w czasie 30 minut, osiągając klasę I 30.

Rozwiązanie bezprofilowe w porównaniu do pozostałych charakteryzowało się brakiem wewnętrznych profili, które to w oparciu o zebrane dane o wzroście temperatur, potwierdzają, że są najsłabszym elementem konstrukcji przeszklonych. Zaprezentowana analiza pokazuje, że bezpieczeństwo pożarowe w najprostszy sposób można zwiększyć nie tylko grubością szyb, ale również ograniczeniem liczby profili wewnętrznych w przeszklonej przegrodzie.

Obecnie na rynku dostępne są przeszklone przegrody budowlane o różnej budowie i odmiennej charakterystyce termicznej. Jedynym kryterium oceny skuteczności funkcjonowania danej konstrukcji jako bariery podczas pożaru jest wykonanie badania odporności ogniowej. Dopóki dany element spełnia określone wymagania szczelności i izolacyjności ogniowej w czasie testu, stanowi on przegrodę, która może być stosowana w budynkach w celu zapewnienia biernej ochrony przeciwpożarowej.

Literature/Literatura

- [1] URL 1. Portal wiedzy budowlanej. Firesafety design. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Fire_safety_design [dostęp: 20.10.2018].
- [2] Bednarek Z., Ogrodnik P., Pieniak D., *Laboratoryjna metoda oceny wpływu wysokich temperatur na parametry eksploatacyjne systemów połączeń żelbetowych*, „Maintenance and Reliability” 2010, nr 3, 67–78.
- [3] Stollard P., *Fire from First Principles. A design guide to building fire safety*, London 2003, 22–86, <https://doi.org/10.4324/9780203478202>.
- [4] Sulik P., Sędklak B., *Ochrona przeciwpożarowa w przegrodach wewnętrznych*, „Izolacje” 2015, nr 9, 30–34.
- [5] Sędklak B., Sulik P., *Odporność ogniowa pionowych elementów przeszklonych*, „Szkło i Ceramika” 2015, nr V, 8–10, <https://doi.org/10.15199/33.2015.07.06>.
- [6] Sulik P., Sędklak B., *Wybrane aspekty oceny odporności ogniowej przeszklonych elementów oddzielenia przeciwpożarowego*, „Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture” 2017, T. XXXIV, Z. 64 (3/I/17), 17–29, <https://doi.org/10.7862/rb.2017.100>.
- [7] Laskowska Z., Kosiorek M., *Bezpieczeństwo pożarowe ścian działowych przeszklonych: badania i rozwiązania*, „Świat Szkła” 2007, nr 5 (108), 46–54.
- [8] Kinowski J., Sędklak B., Sulik P., *Izolacyjność ogniowa aluminiowo szklanych ścian osłonowych w zależności od sposobu wypełnienia profili szkieletu konstrukcyjnego*, „Izolacje” 2015, R.20 (nr 2), 48–53.
- [9] Podawca K., Przywózki M., *Wpływ rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych połączeń przeszkleń na odkształcenia podczas działania ognia*. „Safety & Fire Technology” Vol. 53 Issue 1, 2019, 118–128, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.7>.
- [10] Izydorzyc D., Sędklak B., Sulik P., *Thermal insulation of single leaf fire doors, test results comparison in standard temperature-time fire scenario for different types of doorsets*, „Proceedings of the International Conference in Dubrovnik. Applications of Structural Fire Engineering” 2015, Dubrovnik, Croatia, 484–489, <https://doi.org/10.14311/asfe.2015.077>.
- [11] Kinowski J., Sulik P., Sędklak B., *Badania i klasyfikacja systemów pionowych przegród przeszklonych o określonej klasie odporności ogniowej*, „BiTP” Vol. 42, Issue 2, 2016, 135–140, <https://doi.org/10.12845/bitp.42.2.2016.14>
- [12] PN-EN 1364-1:2015 Badania odporności ogniowej elementów nienośnych – Część 1: Ściany.
- [13] Sulik P., Sędklak B., *Odporność ogniowa pionowych przegród przeszklonych. Część 2.*, „Świat Szkła” 2015, nr 9, 31–35.

- [14] Sulik P., Sędlak B., *Odporność ogniowa pionowych przegród przeszklonych. Część 1.*, „Świat Szkła” 2015, nr 7–8, 37–43.
- [15] Laskowska Z., Borowy A., *Rozszerzone zastosowanie wyników badań odporności ogniowej ścian działowych przeszklonych wg PN-EN 15254-4.* „Materiały Budowlane” 2012, 7 (479), 62–64.
- [16] Raport z badań ogniowych witryny bezramowej nr 01/BZ/10/2018, Certbud, Polska 2018.
- [17] Raporty z badań ogniowych witryny w konstrukcji drewnianej nr 01/BZ/09/2015, Efectis, Francja 2015.
- [18] Raport z badań ogniowych witryny w konstrukcji aluminiowej nr 02/BZ/12/2012, Gryfitlab, Polska 2012.
- [19] Raporty z badań ogniowych witryny w konstrukcji stalowej nr 02/BZ/08/2013, ITB, Polska 2013.
- [20] PN-EN 1363-1:2012 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.

KONRAD PODAWCA, PH.D. ENG. – lecturer at the Faculty of Civil and Environmental Engineering at the Warsaw University of Life Sciences.

MAREK PRZYWÓZKI, M.SC. ENG. – civil engineer, an employee of POLFLAM Sp. z o.o.

DR INŻ. KONRAD PODAWCA – adiunkt w Instytucie Inżynierii Środowiska, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

MGR INŻ. MAREK PRZYWÓZKI – inż. budownictwa, pracownik firmy POLFLAM Sp. z o.o.