

mgr inż. Jacek Kinowski<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-6591-7889

dr inż. Paweł Sulik<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0001-8050-8194

dr inż. Bartłomiej Sędlak<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-4715-6438

# The impact of the type of frame used in insulated glass on the fire resistance of a glazed partition with a declared fire resistance class of EI 60

*Wpływ rodzaju zastosowanej ramki w szybie zespolonej na odporność ogniową przegrody przeszklonej o deklarowanej klasie odporności ogniowej EI 60*

DOI: 10.15199/33.2025.12.10

**Abstract:** The aim of the study was to verify the impact of changing the material used to manufacture spacer frame in fire-resistant insulated glass units based on EI 60 glass on the performance of the entire assembly in the event of a fire, in light of fire resistance requirements. As part of the work, tests were carried out on six test elements filled with insulating glass units of similar construction, with the difference being the type of material used to make the spacer frame and its thickness. The tests were carried out on spacer frames made of steel, aluminium and composite. Two frame thicknesses were selected for full-scale fire resistance testing: 8 mm and 14 mm. All tested samples maintained their integrity and fire insulation throughout the fire tests. The paper contains an analysis and comparison of the results obtained. Based on the tests carried out, it was found that changes in the design of fire-resistant insulated glass spacer frames, when using the technical solutions described in the text, do not have a significant impact on the test results.

**Keywords:** fire resistant glazing; fire resistance; fire insulation; fire integrity; glass units; glazed units.

**Streszczenie:** W artykule omówiono weryfikację wpływu zmiany materiału, z jakiego wykonuje się ramki międzyszybowe w przeciwpożarowych szymbach zespolonych z szybą typu EI 60, na zachowanie całego zestawu w przypadku pożaru, w świetle wymagań dotyczących odporności ogniowej. Przeprowadzono badania sześciu elementów próbnych z wypełnieniem szymbami zespolonymi o podobnej budowie, ale różniących się rodzajem materiału, z jakiego wykonano ramkę międzyszybową, oraz grubością. Przeprowadzono badanie ramek dystansowych wykonanych ze stali, aluminium oraz kompozytowej. Do pełnoskalowych badań odporności ogniowej wytypowano ramki o grubości: 8 mm oraz 14 mm. Wszystkie z przebadanych próbek zachowały szczelność oraz izolacyjność ogniową w deklarowanym czasie badań. Praca zawiera analizę i porównanie uzyskanych wyników. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zmiany w konstrukcji ramek dystansowych w ognioodpornych szymbach zespolonych nie mają istotnego wpływu na wyniki badań w przypadku zastosowania opisanych w treści rozwiązań technicznych.

**Słowa kluczowe:** szyby ognioodporne; szyby zespolone; odporność ogniowa; izolacyjność ogniowa.

Since the initiation of research into the potential influence of spacer frame type in insulated glass units on the fire resistance of glazed partitions—originally conducted for elements with a declared fire resistance class of EI 30 [1]—the anticipated market mechanisms have remained unchanged. Manufacturers of fire-rated joinery continue to intensify efforts to improve the thermal insulation performance of their products.

In recent years, demand has increased for fire barriers offering enhanced thermal insulation performance and higher fire resistance classes. This trend is driven by both regulatory requirements and practical design considerations. Glazed partitions with a fire resistance class of EI 60 have become a fun-

Od czasu rozpoczęcia prac badawczych nad zagadnieniem ustalenia potencjalnego wpływu rodzaju zastosowanej ramki w szybie zespolonej na odporność ogniową przegrody, w przypadku elementów o klasie odporności ogniowej EI 30 opisanych w pracy [1], mechanizm zmian obserwowanych na rynku nie uległ zmianie. Wciąż widzimy wzmożony wysiłek wkładany przez producentów stolarki przeciwpożarowej w celu poprawienia izolacyjności termicznej finalnych produktów. W ostatnich latach obserwuje się zwiększone zainteresowanie przegrodami przeciwpożarowymi o podwyższonych parametrach izolacyjności cieplnej oraz zwiększonej klasie odporności ogniowej. Wynika to zarówno z wymagań regulacyjnych, jak i z praktycznych potrzeb projektowych, ponieważ przegrody EI 60 stanowią obecnie podstawowy element zabezpieczenia pożarowego wielu obiektów użyteczności publicznej oraz budynków wy-

<sup>1)</sup> Instytut Techniki Budowlanej

<sup>\*)</sup> Adress for correspondence: p.sulik@itb.pl

damental component of fire protection systems in many public and high-rise buildings.

The existing body of literature primarily addresses the fire behaviour of monolithic and laminated glazing [2–11], whereas the influence of insulated glass unit (IGU) construction and spacer frame design on fire resistance has received comparatively limited attention. This research gap is particularly evident for EI 60 solutions, despite their widespread use in contemporary façade and partition systems.

In April 2024, an updated directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings was published in the Official Journal of the European Union [13]. Under this directive, mandatory zero-emission requirements will apply to new buildings constructed within the European Union from 1 January 2028 for public buildings and from 1 January 2030 for all new buildings.

Driven not only by regulatory changes but also by economic considerations associated with increasingly stringent thermal transmittance limits for external building envelopes, product development in this sector continues to follow a clear trajectory. Investors increasingly seek glazed fire barriers that can be seamlessly integrated into building envelopes dominated by thermally high-performing opaque elements. Rising energy costs further strengthen the attractiveness of solutions offering enhanced thermal performance, even when these are associated with higher initial investment costs.

Addressing the demand for systems with enhanced thermal insulation performance has therefore become a critical challenge for manufacturers. Those unable to respond to these evolving requirements risk a loss of market competitiveness, while the resulting technological race continues to stimulate innovation within the industry.

In practical terms, recent years have witnessed substantial modifications—or the complete abandonment—of earlier system designs. Profiles with widths of approximately 80 mm, once typical of the local market, are increasingly being replaced by wider profiles that allow for the incorporation of thicker, and ostensibly better-insulating, insulated glass units.

In the context of EI 60 fire-resistant glazing, two parallel mechanisms are of primary importance: the maintenance of glazing integrity and the limitation of heat transfer to the unexposed side. While the mechanisms leading to the failure of monolithic and laminated glass under fire exposure are relatively well documented [10,12,14–15], experimental data concerning the influence of spacer frame construction on the overall behaviour of insulated glass units remain limited. The solutions analysed in this study therefore constitute a meaningful contribution to the understanding of glazing systems with enhanced fire resistance.

To further investigate these effects and to validate earlier observations, an additional series of fire resistance tests was carried out on glazed partitions incorporating insulated glass units of modified construction based on EI 60 fire-resistant glass. In order to isolate the influence of the spacer frame type, all other constructional parameters were standardised, with variability limited to that inherent in the manufacturing process. A detailed description of the test specimens, together with an analysis of the test results, is presented in the following sections.

sokich. W dostępnej literaturze przedmiotu dominują prace koncentrujące się na analizie zachowania przeszkleń monolitycznych i laminowanych w warunkach pożaru [2–11], natomiast znacznie rzadziej podejmowany jest temat wpływu budowy szyb zespolonych oraz zróżnicowanych elementów dystansowych na ich odporność ogniową. Tę lukę badawczą widać szczególnie w odniesieniu do rozwiązań o klasie EI 60, mimo ich powszechnego stosowania w nowoczesnych systemach fasadowych i ściennych.

W kwietniu 2024 r. w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej opublikowano uaktualnioną dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [13]. W przypadku budynków powstających na terenie UE będących własnością instytucji publicznych, obligatoryjne kryterium bezemisyjności będzie obowiązywać już od 1 stycznia 2028 r., a od 1 stycznia 2030 r. w przypadku wszystkich nowych budynków.

Inwestorzy wciąż będą poszukiwać rozwiązań przeszklonych przegród przeciwpożarowych, które wpiszą się w bryłę budynku, w możliwie niewielkim stopniu zaburzając z natury „cieplejsze” rozwiązania nieprzezierne, ponieważ przy stale rosnących cenach energii nawet droższe w chwili obecnej rozwiązania dają nadzieję na tańszą eksploatację. Znaleźnienie odpowiedzi na przymus wdrażania systemów o coraz lepszej izolacyjności cieplnej jest zatem dla producentów problemem egzystencjalnym. Kto nie będzie produkował wyrobów spełniających wymagania, nie utrzyma się na rynku.

W wymiarze praktycznym obserwujemy w ostatnich latach daleko idące modyfikacje lub całkowite odejście od rozwoju starych systemów. Typowe kiedyś na lokalnym rynku profile konstrukcyjne o szerokości ok. 80 mm, obecnie często zastępują profile szersze, umożliwiające montaż grubszych, w założeniu lepiej izolujących, przeszkleń zespolonych. Należy podkreślić, że w kontekście szyb ogniochronnych klasy EI 60 kluczowe znaczenie mają dwa równoległe mechanizmy: utrzymanie integralności szkła oraz ograniczenie transmisji ciepła na stronę nienagrzewaną. O ile mechanizmy prowadzące do pęknięcia szyb monolitycznych i laminowanych w warunkach pożaru są dosyć dobrze opisane w literaturze [10, 12, 14, 15], o tyle wpływ budowy ramek dystansowych w szybach zespolonych na zachowanie całego układu nadal pozostaje słabo rozpoznany eksperymentalnie. Z tego powodu opisane w artykule rozwiązania konstrukcyjne stanowią istotny krok w kierunku pogłębienia wiedzy dotyczącej przeszkleń o podwyższonej klasie odporności ogniowej.

W celu oceny wpływu wdrażanych rozwiązań na zachowanie przeciwpożarowych przegród przeszklonych oraz walidacji poczynionych wcześniej obserwacji, zaplanowano i zrealizowano dodatkowy cykl badań przegród z szybami zespolonymi na bazie szyb przeciwpożarowych o zwiększonej nominalnej klasie odporności ogniowej (EI 60) w porównaniu z badaniami archiwalnymi. W celu efektywnego sprawdzenia wpływu zmiany rodzaju ramki międzyszybowej na zachowanie przegrody, doświadczenia przeprowadzono, eliminując różnice w budowie próbek do standardowych różnic wynikających z rozkładu zmienności populacji przygotowanych wyrobów.

### Materials and methods

Fire resistance tests were performed on six fixed-glazing specimens (non-openable units) incorporating three different types of spacer frames connecting EI 60 fire-resistant glass with VSG 33.2 laminated glass. Spacer frames manufactured from steel, aluminium, and composite materials were investigated. The composite spacer frame comprised a plastic insulating core enclosed within thin-walled stainless steel sheets. For each spacer frame material, thicknesses of 8 mm and 14 mm were tested. These dimensions correspond to the lower and upper nominal limits of the product range, enabling a reliable comparative assessment while excluding extreme design variants.

The glazing assemblies were installed in aluminium profiles to form partitions with external dimensions of 1200 × 3000 mm. All specimens were mounted such that the fire-resistant glass pane was located on the unexposed side. This configuration represents the most unfavourable test arrangement (worst-case scenario), as it enables a realistic assessment of the performance of unclassified insulated glass units directly exposed to fire.

Photo 1 presents the test specimens during the initial minutes of fire exposure, providing a reference for subsequent observations. The specimens were heated in a test furnace in accordance with the standard temperature–time curve defined by Equation (1), representing a fully developed internal fire. Among commonly applied fire curves, this scenario is more severe than the external fire curve. The applied heating curve is illustrated in Figure 1.



### Materiały i metody badań

Przeprowadzono badania odporności ogniowej sześciu elementów próbnych stałych przeszkleń (nieotwieralnych okien) z zastosowaniem trzech różnych typów ramek zespalających szyby ognioochronne o deklarowanej klasie odporności ogniowej EI 60 z szybami laminowanymi VSG 33.2. Zastosowano ramki stalowe, aluminiowe oraz kompozytowe, dwuwarstwowe, gdzie warstwę izolacyjną stanowiła wkładka z tworzywa sztucznego, a szkielet był wykonany z cienkościennej blachy ze stali nierdzewnej. W każdym przypadku przebadano konfigurację z ramką o grubości 8 mm oraz 14 mm, a zatem wybrano grubość ramek w dolnym i górnym nominale typoszerzoku tego produktu, tak aby z jednej strony stworzyć możliwość miarodajnego porównania, odrzucając jednocześnie warianty skrajne. Przeszklenia zamocowane były w aluminiowych profilach, tworząc przegrody o wymiarach zewnętrznych 1200×3000 mm. Wszystkie badane elementy próbne zamontowano w taki sposób, że szyby przeciwpożarowe znajdowały się po stronie nienagrzewanej. Taki układ jest konfiguracją najbardziej niekorzystną (tzw. worst case scenario) i daje realną możliwość oceny zachowania bezklasowych elementów szyb zespolonych, które przy przyjętym scenariuszu będą poddawane bezpośredniemu oddziaływaniu ognia.

Elementy próbne w pierwszych minutach badania przedstawiono na fotografii 1. Ujęcia te umożliwiają ocenę początkowego stanu próbek oraz stanowią punkt odniesienia do póź-



**Photo 1. Test specimens in the first minute of the fire resistance tests: a) IGU with 8 mm spacer frame and VSG 33.2 glass; b) IGU with 14 mm spacer frame and VSG 33.2 glass**

*Fot. 1. Nienagrzewana powierzchnia elementów próbnych w pierwszej minucie doświadczenia: a) szyby zespolone z ramką 8 mm i szybą VSG 33.2; b) szyby zespolone z ramką 14 mm i szybą VSG 33.2*

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (1)$$

where:

T – average furnace temperature [°C],

t – time [min].

During the test, integrity (E) and temperature rise were evaluated at selected locations on the unexposed surface and within the test elements. Integrity (E) was assessed by visual observation, as well as by means of a cotton pad test and

niejszych obserwacji, zarejestrowanych w trakcie badania. Elementy próbne nagrzewane były w piecu badawczym wg standardowej krzywej temperatura–czas określonej wzorem (1), odzwierciedlającej w pełni rozwinięty pożar wewnątrz budynku. Z dwóch najpopularniejszych krzywych oddziaływania, ustalonych wiele lat temu na podstawie licznych, rzeczywistych doświadczeń, jest to scenariusz bardziej niekorzystny względem krzywej zewnętrznej. Krzywe nagrzewania przedstawiono na rysunku 1.

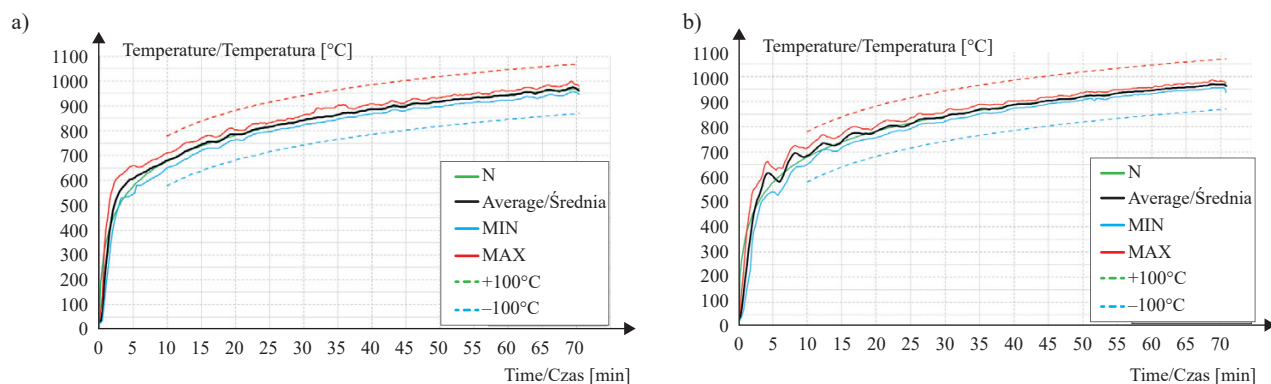


Fig. 1. Temperature/time curve of heating conditions in the test furnace: a) 8 mm spacer frame

Rys. 1. Krzywa nagrzewania temperatura/czas warunków w piecu badawczym: a) ramka 8 mm; b) ramka 14 mm

gap gauges. A loss of integrity was deemed to occur if a sustained flame lasting longer than 10 seconds appeared on the unexposed surface, if a cotton pad applied to the surface of the test element ignited, or if penetration of the test element was possible either at a single point using a 25 mm diameter gap gauge or over a length exceeding 100 mm using a 6 mm diameter gap gauge. The locations of the temperature measurement points are shown in Figure 2. These points were selected in accordance with the relevant test standard for walls and doors [16]. However, to enable a more detailed analysis of the investigated issue, the number of measurement points was increased. This approach was adopted to better assess the influence of spacer frame type on the fire performance of the entire glazed partition. Photos 2 to 5 present views of the unexposed surfaces of the test elements recorded during the fire resistance test.

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (1)$$

gdzie:

T – średnia temperatura w piecu [°C];

t – czas [min]

Podczas badania weryfikowana była szczelność ogniowa oraz przyrost temperatury w różnych miejscach nienagrzewanej powierzchni i wewnątrz elementów próbných. Szczelność ogniową oceniano wizualnie oraz przy użyciu tamponu bawełnianego i szczelinomierzy. Utrata szczelności ogniowej następuje po pojawieniu się płomienia na nienagrzewanej powierzchni trwającego dłużej niż 10 s, w momencie gdy tampon bawełniany, przyłożony do powierzchni elementu próbnego, ulegnie zapłonowi oraz w przypadku, gdy możliwa jest punktowa penetracja elementu próbnego szczelinomierzem o średnicy 25 mm lub penetracja na długości większej niż 100 mm szczelinomierzem

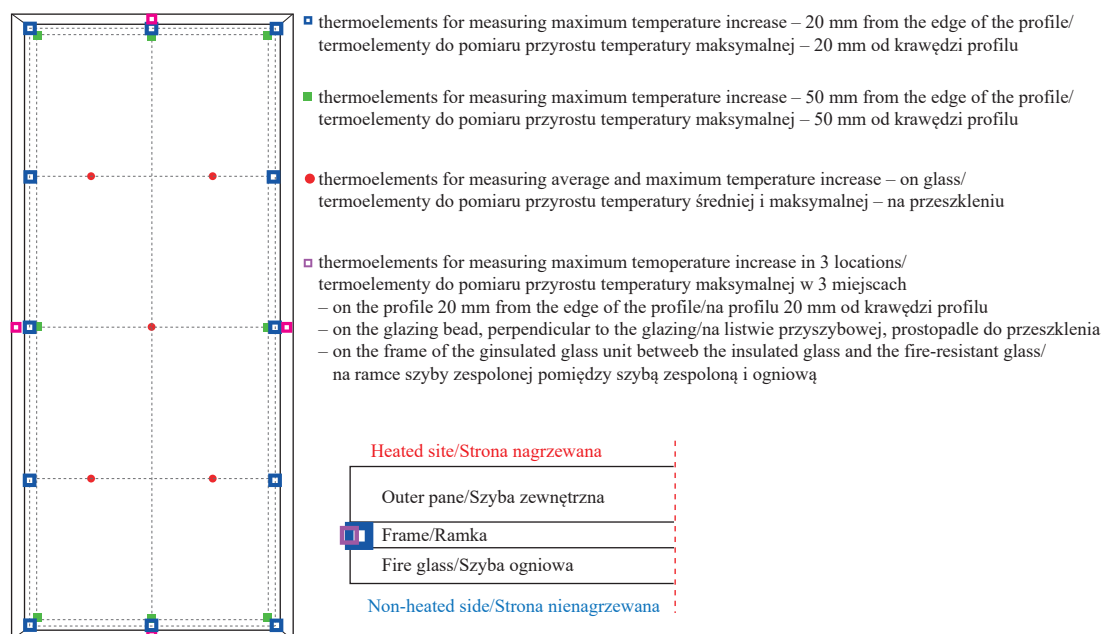


Fig. 2. Location of measuring points

Rys. 2. Rozmieszczenie termoelementów pomiarowych

## Results

All test specimens maintained both integrity and fire insulation for the declared fire resistance period of 60 minutes. As none of the failure criteria were reached, the tests were continued without interruption until the 70<sup>th</sup> minute. In both test series, cracking and subsequent detachment of the internal, unclassified glass panes into the furnace occurred between the second and third minutes of fire exposure. No correlation was identified between the timing of glass failure and the spacer frame material.

The figures 3 and 4 as well as in tables 1–3 the average temperature increases recorded at the measurement locations shown in Figure 2 where presented. Measurements were taken on the glazing surfaces, at distances of 100 mm and 20 mm from the perimeter profiles, on the profiles themselves, and within the spacer frames.

o średnicy 6 mm. Miejsca pomiaru temperatury przedstawiono na rysunku 2. Zostały one wytypowane na podstawie normy badawczej ścian i drzwi [16], przy czym w celu lepszego zgłębienia opisywanego problemu zwiększono liczbę miejsc pomiarowych, mając na uwadze ukierunkowanie pomiarów na ocenę wpływu zmiany ramki na zachowanie całej przegrody. Na fotografiach 2÷5 przedstawiony został widok nienagrzewanych powierzchni elementów próbnych w trakcie badania.

## Wyniki

Wszystkie elementy próbne zachowały szczelność oraz izolacyjność ogniową przez oczekiwany, deklarowany okres 60 min. Ze względu na brak utraty kryteriów oceny, oba badania konty-



**Photo 2. The test specimens with IGUs with 8 mm spacers frame in 5<sup>th</sup> minute of the test**

*Fot. 2. Elementy próbne z szybami zespolonymi z ramkami grubości 8 mm – 5. minuta badania*



**Photo 3. The test specimens with IGUs with 8 mm spacers frame in 68<sup>th</sup> minute of the test**

*Fot. 3. Elementy próbne z szybami zespolonymi z ramkami grubości 8 mm – 68. minuta badania*



**Photo 4. The test specimens with IGUs with 14 mm spacers frame in 5<sup>th</sup> minute of the test**

*Fot. 4. Elementy próbne z szybami zespolonymi z ramkami grubości 14 mm – 5. minuta badania*



**Photo 5. The test specimens with IGUs with 14 mm spacers frame in 68<sup>th</sup> minute of the test**

*Fot. 5. Elementy próbne z szybami zespolonymi z ramkami grubości 14 mm – 68. minuta badania*

## Discussion

The changing the spacer frame material used in the construction of the insulated glass units incorporated in the tested fixed glazing did not have a decisive effect on the fulfilment of the nominal integrity (E) and fire insulation (I) criteria. Similarly, increasing the spacer frame thickness by almost a factor of two did not result in a significant change in performance. For fixed glazing incorporating insulated glass units with 8 mm spacer frames, the most favourable performance was observed for the composite spacer frame. In this case, the lowest temperature increases were recorded on the surface of the glazing infill, as well as at distances of 20 mm and 100 mm from the profile edge.

Higher temperature increases were recorded for solutions incorporating aluminium and steel spacer frames; however, no clear or consistent trend can be identified between these two materials. For configurations with 8 mm thick spacer frames, the composite spacer frame itself exhibited higher internal temperatures than the metallic solutions, although the difference was not significant, with a maximum deviation of approximately 3%.

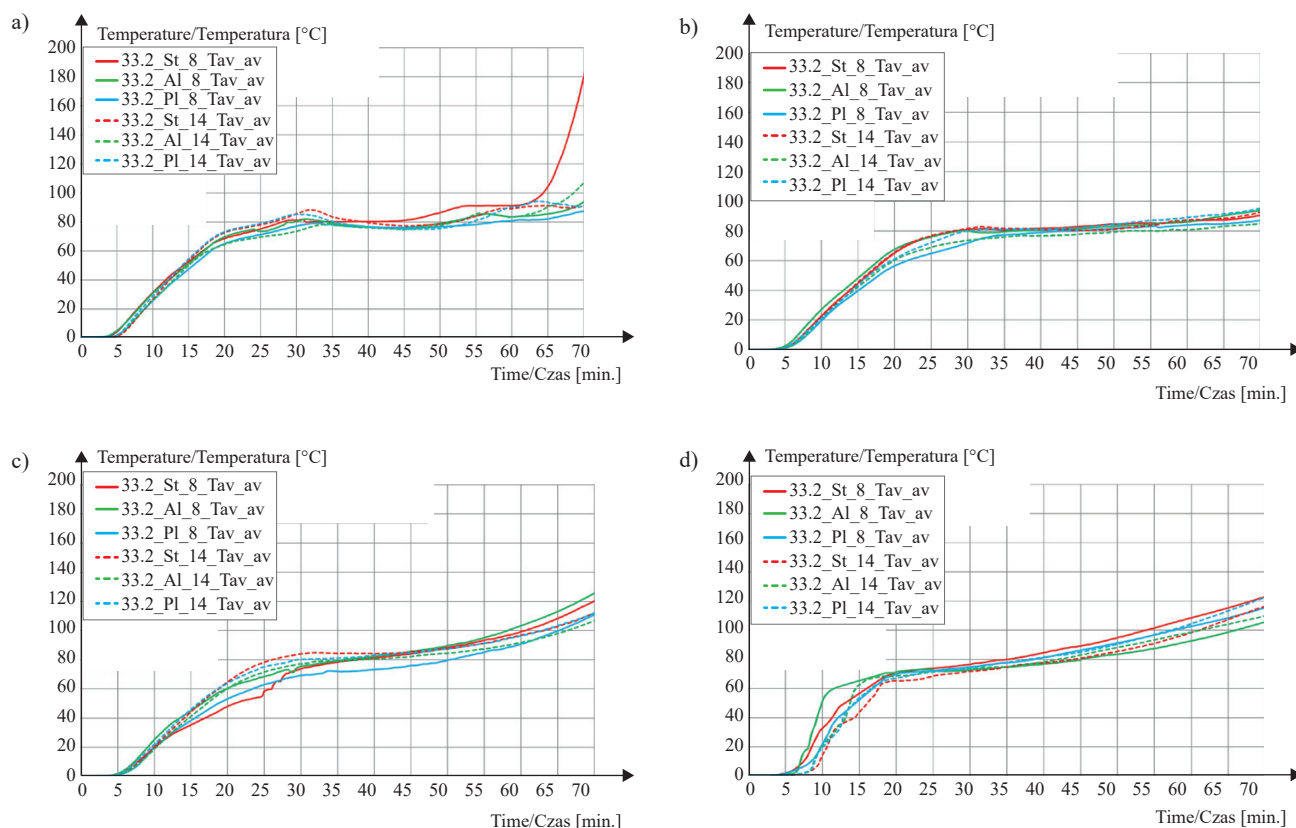
For fixed glazing incorporating insulated glass units with 14 mm thick spacer frames, the most favourable performance

was observed for the composite spacer frame. In both tests, the second and third minutes after the start of the test, the temperature of the internal glass surfaces, without classifying the glass units. It was observed that there was a correlation between the moment of the temperature rise and the moment of the temperature drop of the test specimen.

On figures 3 and 4 and in tables 1÷3 presented average temperature increase in the measurement points distributed according to figure 2. The temperature increase was measured on the surfaces of the glass panes, at a distance of 100 mm from the edge of the test elements and 20 mm from the edge of the profiles, on the profiles of the perimeter frame and inside the spacer frames.

## Omówienie wyników

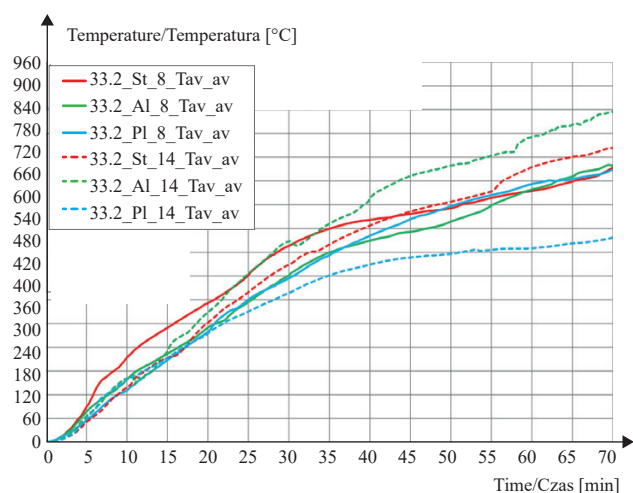
Zmiana materiału zastosowanych ramek dystansowych użytych do budowy szyb zespolonych, wypełniających badane stałe przeszklenia, nie miała decydującego wpływu na kryterialną wartość ich nominalnej szczelności [E] i izolacyjności [I] ogniowej, podobnie, jak niemal dwukrotne zwiększenie grubości ramek dystansowych. W przypadku stałych przeszkleń z szybą zespoloną z ramką dystansową o grubości 8 mm, naj-



Legend/Oznaczenia: St – steel spacer frame/St – stalowa ramka dystansowa; Al – aluminium spacer frame/Al – aluminiowa ramka dystansowa; Pl – composite spacer frame/Pl – ramka dystansowa z tworzywa sztucznego; 8, 14 – spacer frame thickness in mm./8, 14 – grubość ramki dystansowej [mm]

**Fig. 3. Graph of average temperature rise on the unexposed surface of test specimen with declared fire resistance class EI 60: a) surface of IGUs; b) 100 mm from profile edge; c) 20 mm from profile edge; d) profiles of outer edge**

*Rys. 3. Średni przyrost temperatury na nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych z szybami przeciwpożarowymi o deklarowanej klasie odporności ogniowej EI 60: a) powierzchnia przeszkleń; b) 100 mm od krawędzi profili ramy obwodowej; c) 20 mm od krawędzi profili ramy obwodowej; d) profile ramy obwodowej*



Legend/Oznaczenia: St – steel spacer frame/St – stalowa ramka dystansowa;  
Al – aluminium spacer frame/Al – aluminiowa ramka dystansowa;  
Pl – composite spacer frame/Pl – ramka dystansowa z tworzywa sztucznego;  
8, 14 – spacer frame thickness in mm/8, 14 – grubość ramki dystansowej [mm]

**Fig. 4.** Graph of the average temperature rise inside the test specimens, average from all measuring points on the spacer bar

*Rys. 4. Przyrost temperatury wewnątrz próbek, na ramce dystansowej: średnia ze wszystkich punktów pomiarowych*

**Table 1.** Average temperature increase at specified measurement points at 60 minutes into the test, panes with 8 mm spacer frames

*Tabela 1. Wynik średniego przyrostu temperatury w wyszczególnionych miejscach pomiarowych w 60. minucie badania, szyby z ramkami 8 mm*

| Measurement location/<br>Miejsce pomiaru                            | Average temperature increase in the 60th minute of the test [°C] for double-glazed units with 8 mm spacer frames/<br>Średni wzrost temperatury w 60. minucie badania [°C], szyby zespolone z ramkami grubości 8 mm |                |                         |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|
|                                                                     | Composite/<br>kompozyt                                                                                                                                                                                             | Steel/<br>stal | Aluminium/<br>aluminium |
| Glazing area/<br>Powierzchnia przeszkleń                            | 80.9                                                                                                                                                                                                               | 91.2           | 83.5                    |
| 100 mm from the edge of the element/<br>100 mm od krawędzi elementu | 87.8                                                                                                                                                                                                               | 90.5           | 95.7                    |
| 20 mm from the edge of the profile/<br>20 mm od krawędzi profilu    | 112.0                                                                                                                                                                                                              | 116.4          | 122.8                   |
| Profil                                                              | 122.9                                                                                                                                                                                                              | 131.8          | 119.1                   |
| Profile/<br>Ramka dystansowa                                        | 652.2                                                                                                                                                                                                              | 634.6          | 638.2                   |

was observed for the aluminium spacer frame. In this configuration, the lowest temperature increases were recorded on the surface of the glazing infill, as well as at distances of 20 mm and 100 mm from the profile edge. A similar pattern to that observed for specimens with 8 mm spacer frames was noted: in the configuration exhibiting the lowest temperature increases on the surface of the test elements (excluding the perimeter profiles), the highest temperature increase occurred within the spacer frame itself.

**Table 2.** Average temperature increase at specified measurement points at 60 minutes into the test, panes with 14 mm spacer frames  
*Tabela 2. Wynik średniego przyrostu temperatury w wyszczególnionych miejscach pomiarowych w 60. minucie badania, szyby z ramkami 14 mm*

| Miejsce pomiaru                                                     | Average temperature increase in the 60th minute of the test [°C] for double-glazed units with 14 mm spacer frames/<br>Średni wzrost temperatury w 60. minucie badania [°C], szyby zespolone z ramkami grubości 14 mm |                |                         |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|
|                                                                     | Composite/<br>kompozyt                                                                                                                                                                                               | Steel/<br>stal | Aluminium/<br>aluminium |
| Glazing area/<br>Powierzchnia przeszkleń                            | 90.2                                                                                                                                                                                                                 | 89.1           | 83.4                    |
| 100 mm from the edge of the element/<br>100 mm od krawędzi elementu | 102.7                                                                                                                                                                                                                | 105.0          | 85.2                    |
| 20 mm from the edge of the profile/<br>20 mm od krawędzi profilu    | 115.9                                                                                                                                                                                                                | 109.6          | 109.3                   |
| Profile/Profil                                                      | 130.2                                                                                                                                                                                                                | 115.0          | 121.1                   |
| Spacer frame/Ramka dystansowa                                       | 490.0                                                                                                                                                                                                                | 694.7          | 771.3                   |

**Table 3.** Maximum percentage differences in average temperature increases at specified measurement points at the 60-minute mark of the test

*Tabela 3. Maksymalna procentowa różnica średnich przyrostów temperatur w wyszczególnionych miejscach pomiarowych w 60. minucie badania*

| Measurement location/<br>Miejsce pomiaru                            | Percentage differences in average temperature increases after 60 minutes of fire exposure/Procentowe różnice średnich przyrostów temperatur w 60. minucie badania |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                     | insulated glass units with 8 mm frames/<br>szyby zespolone z ramkami grubości 8 mm                                                                                | insulated glass units with 14 mm frames/<br>szyby zespolone z ramkami grubości 14 mm |
| Glazing area/<br>Powierzchnia przeszkleń                            | 13%                                                                                                                                                               | 8%                                                                                   |
| 100 mm from the edge of the element/<br>100 mm od krawędzi elementu | 9%                                                                                                                                                                | 23%                                                                                  |
| 20 mm from the edge of the profile/<br>20 mm od krawędzi profilu    | 10%                                                                                                                                                               | 6%                                                                                   |
| Profile/Profil                                                      | 11%                                                                                                                                                               | 13%                                                                                  |
| Spacer frame/<br>Ramka dystansowa                                   | 3%                                                                                                                                                                | 57%                                                                                  |

lepsze okazało się rozwiązanie z ramką kompozytową, gdzie najmniejszy przyrost temperatury zanotowano na powierzchni wypełnienia, a także w odległości 20 mm od krawędzi profilu i 100 mm od krawędzi elementu. Większe wartości zanotowano

The high temperatures recorded inside the spacer frames (Tables 1 and 2), reaching up to 771°C for the aluminium frames, are a direct consequence of the early fracture and detachment of the outer VSG pane, which resulted in direct exposure of the frames to fire. The distinction between the behaviour of spacer frames of different thicknesses is crucial for the interpretation of the results.

For spacer frames with a thickness of 8 mm, the temperature differences between materials were relatively small, with a maximum deviation of approximately 3%. This indicates that the limited cross-sectional area of the frames led to rapid and nearly uniform heating of all tested materials to temperatures approaching those in the furnace environment, resulting in comparable measurement values.

In contrast, for spacer frames with a thickness of 14 mm, the observed temperature differences were substantial, reaching up to 57%. This clearly demonstrates the influence of the thermophysical properties of materials when a larger cross-section is present, allowing differences in heat absorption and transfer rates to become apparent. In the case of the 14 mm aluminium spacer frame, the recorded temperature of 771°C exceeds the softening temperature of the aluminium alloy (approximately 600°C), leading to significant mechanical degradation. The steel spacer frame, owing to its higher melting temperature, retained partial structural integrity while heating to approximately 695°C. The comparatively low temperature measured for the 14 mm composite spacer frame (490°C) may be attributed to early charring of the polymeric core. The resulting char layer likely acted as an effective thermal barrier, limiting further heat transfer to the inner regions of the frame.

The fact that even the extremely high temperatures recorded in the aluminium spacer frame did not lead to a loss of integrity or fire insulation of the partition constitutes a key observation. This demonstrates that, in the analysed system, the EI 60 fire-resistant glass pane served as the primary fire barrier. Its edge, despite intense heating from the red-hot spacer frame, remained effectively protected and securely fixed within the profile–seal system.

Consequently, the achieved fire resistance was governed primarily by the stability of the fire-resistant glass, the correct activation and performance of the intumescent seals, and the adequacy of the glazing fixation within the perimeter frame, rather than by the spacer frame itself. This finding is consistent with results obtained in previous studies on glazing with a declared fire resistance class of EI 30 [1], which likewise demonstrated the secondary role of the spacer frame in determining the effective fire insulation of the element. At the same time, these results indicate a potential robustness of such systems against local overheating of spacer frames, provided that the glazing is correctly installed and fixed within the aluminium framing system.

Notably, in both studies no direct heat transfer from the spacer frame to the surrounding perimeter profile was observed. In each case, the highest temperature increase recorded within the spacer frame did not correspond to the highest temperature increase measured on the perimeter profile. The average temperature increase of the perimeter profiles reached

dla rozwiązań z ramką aluminiową i stalową, przy czym nie da się tu wskazać wyraźnego trendu. Ponadto, w przypadku rozwiązań z ramkami dystansowymi grubości 8 mm ramka kompozytowa nagrzewała się do wyższej temperatury niż ramki metalowe, lecz różnica ta nie była duża (maksymalnie 3%).

W stałych przeszkleniach z szybą zespoloną z ramką dystansową grubości 14 mm najlepsze było rozwiązanie z ramką aluminiową, w przypadku którego najmniejszy przyrost temperatury zanotowano na powierzchni wypełnienia, a także w odległości 20 mm od krawędzi profilu i 100 mm od krawędzi elementu.

Powtórzył się więc scenariusz z badania elementów próbnych z ramką grubości 8 mm, a mianowicie odnotowano największy przyrost temperatury wewnątrz ramki dystansowej w przypadku rozwiązania z najmniejszymi przyrostami temperatury na powierzchni elementów próbnych (wyłączając profile ramy obwodowej).

Wysoka temperatura wewnątrz ramek (tabele 1 i 2), sięgająca 771°C w przypadku aluminium, jest bezpośrednią konsekwencją wczesnego pęknięcia i odpadnięcia zewnętrznej szyby VSG, co odsłoniło je na bezpośrednie działanie ognia. Kluczowe w interpretacji jest rozróżnienie między zachowaniem ramek o różnej grubości. W przypadku ramek 8 mm różnica temperatury między materiałami była stosunkowo niewielka (maksymalnie 3%), co sugeruje, że ich mały przekrój poprzeczny prowadził do szybkiego i niemal całkowitego nagrzania wszystkich badanych materiałów do temperatury w piecu, co skutkowało zbliżonymi wartościami pomiarowymi.

W przypadku ramek 14 mm różnica temperatury jest już znaczna (maksymalnie 57%), co wskazuje na wyraźny wpływ właściwości termofizycznych materiałów przy większym przekroju, który umożliwia wystąpienie różnicy w szybkości nagrzewania. Temperatura wynosząca 771°C dla ramki aluminiowej 14 mm, przekracza punkt mięknięcia tego stopu (~600°C), prowadząc do znacznej degradacji mechanicznej. Ramka stalowa, o wyższej temperaturze topnienia niż aluminiowa, zachowała pewną integralność, nagrzewając się do 695°C. Zaskakująco niska temperatura ramki kompozytowej 14 mm (490°C) może być wynikiem wczesnego zwęglenia elementu tworzywowego. Powstała warstwa zwęglonego materiału działała jako izolator termiczny, ograniczając skutecznie dalsze nagrzewanie głębszych warstw.

Fakt, że nawet ekstremalnie wysoka temperatura na ramce aluminiowej nie spowodowała utraty szczelności ani izolacyjności ogniowej przegrody, jest kluczowym spostrzeżeniem. Świadczy ono o tym, że w analizowanym systemie zasadniczą barierę ogniową stanowiła szyba EI 60, a jej krawędź, pomimo intensywnego nagrzewania przez rozżarzoną ramkę, pozostała skutecznie osłonięta i zamocowana w systemie profile-uszczelki. Ostateczna odporność ogniowa była zatem funkcją stateczności samej szyby ognioodpornej, odpowiedniego działania uszczelki pęczniących oraz zamocowania przeszklenia w ramie obwodowej, a nie samej ramki dystansowej. Jest to zgodne z wynikami uzyskanymi w badaniach przeszkleń o deklarowanej klasie odporności ogniowej EI 30 [1], gdzie również wykazano wtórny charakter wpływu ramki na efektywną izolacyjność ogniową elementu. Jednocześnie wskazuje to na potencjalną odporność układów na lokalne przegrzewanie ramek, pod warunkiem prawidłowego zamocowania w systemowej ramie aluminiowej.

a maximum of 91.2°C for specimens with 8 mm spacer frames and 90.2°C for those with 14 mm spacer frames. The maximum recorded temperature increases were 131.8°C and 130.2°C for the 8 mm and 14 mm spacer frames, respectively.

The absence of a direct correlation between spacer frame temperature and perimeter profile temperature can be explained by the system geometry and the heat transfer mechanisms that occur after the outer glass pane has detached. Once exposed, the spacer frame is subjected to intense, multidirectional heating by the flames. However, its thermal contact with the perimeter profile is limited to a relatively small frontal contact area. In the case of composite spacer frames, thermal degradation of the polymeric core, including charring, further contributes to the formation of a layer with insulating properties at the interface with the metallic components.

Moreover, the aluminium perimeter profile, owing to its high thermal conductivity, effectively dissipates and redistributes heat over a large surface area. This effect, combined with convective cooling on the unexposed side, results in comparatively low temperature readings at the thermocouple locations when contrasted with the local temperature of the spacer frame itself. These observations indicate that the local temperature of the spacer frame alone is not the sole factor governing the heating of the perimeter profile. Instead, the design and interaction of all components within the peripheral glazing fixation zone—namely the spacer frame, seals, profile, and the edges of the EI 60 fire-resistant glass—are of decisive importance.

When considering the absolute temperature values alone, it is reasonable to question whether increasing the spacer frame thickness has a greater influence on heat transfer within the insulated glass unit than the spacer frame material itself, bearing in mind that the analysis was deliberately limited to material solutions commonly available on the market. Increasing the spacer frame thickness did not result in a significant increase in temperature on the surface of the insulated glass; however, noticeable temperature increases were observed at locations 20 mm from the profile edge and 100 mm from the edge of the glazing element. The most pronounced effect of increased spacer frame thickness was observed within the spacer frames themselves, resulting in a reduction in temperature for the composite frame and an increase for the aluminium frame.

Post-test inspection revealed that the nature and overall extent of degradation of both the glazing and the external frame profiles were very similar across all specimens (Photos 3 and 5). The degree of charring of the spacer frames could not be reliably assessed due to the presence of residual molten glass, which, upon cooling after the test, formed a uniform, hard, black mass (photos 6 and 7).

In summary, the results indicate that, for insulated glass units with a declared fire resistance class of EI 60, both the thickness and the material of the spacer frame influence the local temperature distribution. However, these effects are not sufficiently pronounced to determine compliance with the fire resistance criteria. Nevertheless, identifiable trends—such as higher temperatures in metallic spacer frames and increased heating of perimeter profiles associated with greater spacer frame thickness—may become relevant in the design of partitions with

W obu badaniach nie było też bezpośredniego przełożenia transmisji ciepła z ramki na profil ramy obwodowej znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie. W obu przypadkach największy przyrost temperatury wewnątrz ramki dystansowej nie skutkował największym przyrostem temperatury na ramie obwodowej. Średni wzrost temperatury wyniósł maksymalnie 91,2°C w przypadku ramki dystansowej grubości 8 mm i 90,2°C ramki dystansowej grubości 14 mm. Maksymalny wzrost temperatury ramki dystansowej grubości 8 mm wyniósł 131,8°C, a ramki dystansowej grubości 14 mm – 130,2°C.

Obserwowany brak bezpośredniego przełożenia pomiędzy temperaturą ramki a profilem można wyjaśnić geometrią układu i mechanizmami wymiany ciepła, które zachodzą po odpadnięciu zewnętrznej szyby. Odslonięta ramka dystansowa jest nagrzewana przez płomienie w sposób intensywny i wielokierunkowy, ale jej kontakt termiczny z profilem obwodowym jest ograniczony do niewielkiej powierzchni czołowej. W przypadku ramki z kompozytu, w procesie jej termicznej, częściowej degradacji (zwęglenia części tworzywowej) dodatkowo powstaje na styku z metalem warstwa o właściwościach izolacyjnych. Ponadto, aluminiowy profil, charakteryzujący się dobrym przewodnictwem cieplnym, efektywnie odprowadza i rozprowadza ciepło na swojej znacznej powierzchni, co w połączeniu z chłodzącym wpływem powietrza po stronie nienagrzewanej skutkuje relatywnie niskimi wskazaniami termopar w porównaniu z temperaturą samej ramki. Oznacza to, że lokalna temperatura ramki nie jest wyłącznym czynnikiem decydującym o nagrzewaniu się profilu. Kluczowe znaczenie ma konstrukcja i wzajemne oddziaływanie wszystkich elementów w obwodowej strefie mocowania szyby, czyli ramki dystansowej, uszczelek, profilu i krawędzi szyby EI 60.

Patrząc jedynie na wartości bezwzględne, można zastanawiać się, czy zwiększenie grubości ramek dystansowych nie ma większego wpływu na transmisję ciepła wewnątrz szyby niż sam materiał ramki, mając oczywiście świadomość, że rozważania zostały celowo zawężone do rozwiązań materiałowych stosowanych popularnie na rynku. Zwiększenie grubości ramki nie skutkowało wyraźnym zwiększeniem przyrostu temperatury na powierzchni szyb zespolonych, ale już w obszarze 20 mm od krawędzi profili i 100 mm od krawędzi elementu wzrost był zauważalny. Zwiększenie grubości ramek generowało największą różnicę w przyroście temperatury w ramce dystansowej – ujemną w przypadku ramki kompozytowej i dodatnią ramki aluminiowej.

Po badaniu charakter i ogólny poziom degradacji szyb i profili ram zewnętrznych (fotografie 3 i 5) był bardzo zbliżony. Stopień zwęglenia ramek dystansowych nie był możliwy do oceny ze względu na pozostałości stopionej szyby, która stygnąc po badaniu, zamienia się w jednolitą, twardą, czarną masę (fotografie 6 i 7).

Uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku szyb zespolonych o klasie EI 60 zarówno grubość, jak i materiał ramki dystansowej wpływają na lokalny rozkład temperatury, ale wpływ ten nie jest na tyle istotny, aby decydował o spełnieniu kryteriów odporności ogniowej. Zauważalne tendencje – wyższa temperatura w ramkach metalowych oraz zwiększone nagrzewanie profili przy większej szerokości ramki – mogą mieć jednak zna-



**Photo 6. The exposed surface of test specimens with IGUs with 8 mm spacers frame after the test**

*Fot. 6. Nagrzewana powierzchnia elementów próbnych z szybami zespolonymi z ramkami grubości 8 mm po badaniu*

higher fire resistance classes. Accordingly, the findings of this study constitute a meaningful contribution to the assessment and optimisation of insulated glass components used in EI 60 fire-resistant glazing systems.

## Conclusions

The results presented in Section 3 clearly confirm that, in fire resistance tests of elements with a declared fire resistance class of EI 60 incorporating insulated glass infills, the material of the inter-pane spacer frame does not play a decisive role in satisfying the standard fire resistance criteria [16–17]. This observation is consistent with earlier findings for elements with a declared fire resistance class of EI 30 [1]. The comparison was based on a set of solutions representative of those currently available on the market; therefore, it may be assumed that for spacer frames of smaller thicknesses, a composite spacer frame—commonly referred to in the industry as a “warm” frame—constitutes the most favourable solution.

For spacer frames of greater thickness, aluminium or steel frames appear to provide a safer solution. However, it should be noted that the temperature increase observed in aluminium spacer frames of larger width was very high, indicating imminent and potentially complete material degradation. Such degradation could result in a loss of mechanical stability, leading to sliding of the glass out of the perimeter profiles and, consequently, to a loss of both integrity and fire insulation of the element.

With respect to metallic spacer frames, the results obtained suggest that a positive fire resistance test outcome for a glazing system incorporating aluminium spacer frames implies that a system of analogous design, differing only in the substitution of aluminium with steel, should likewise achieve the expected fire resistance class.

Furthermore, the findings indicate that future research should extend to the behaviour of insulated glass units under prolonged fire exposure, as well as to tests on larger-area elements and assessments of the effects of material ageing under service conditions. To enhance the comprehensiveness of such



**Photo 7. The exposed surface of test specimens with IGUs with 14 mm spacers frame after the test**

*Fot. 7. Nagrzewana powierzchnia elementów próbnych z szybami zespolonymi z ramkami grubości 14 mm po badaniu*

czenie przy projektowaniu przegród o wyższych klasach odporności. Wyniki te stanowią zatem istotny wkład w ocenę komponentów szyb zespolonych stosowanych w konstrukcjach EI 60.

## Wnioski

Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają, że w badaniu odporności ogniowej elementów o deklarowanej klasie EI 60 z wypełnieniami w postaci szyb zespolonych, podobnie jak to miało miejsce w przypadku rozważań o deklarowanej klasie EI 30 [1], materiał, z którego zbudowana jest ramka międzyszybowa, nie odgrywa kluczowej roli w zachowaniu kryteriów normowych [16, 17] konstrukcji przeciwpożarowych. Można przyjąć, że w przypadku ramek o mniejszej grubości najlepszym rozwiązaniem będzie ramka kompozytowa, określana zazwyczaj w branży jako „ciepła”, a ramek o większej grubości bezpieczniejsze rozwiązanie to ramka aluminiowa lub stalowa. Należy jednak zaznaczyć, że wzrost temperatury na ramce aluminiowej w przypadku grubszej, szerszej ramki dystansowej jest bardzo duży. Oznacza to bliską nieuchronną i całkowitą degradację takiej ramki, co mogłoby prowadzić do wysunięcia się szyby z profili i w konsekwencji utarty szczelności i izolacyjności ogniowej elementu.

W przypadku ramek metalowych można zakładać, że uzyskanie pozytywnego wyniku w badaniu konstrukcji z przeszkleniem zespolonym ramką aluminiową oznacza, że konstrukcja o podobnej budowie, z różnicą polegającą jedynie na zamianie materiału ramki na stal, powinna w badaniu odporności ogniowej zachować również oczekiwaną klasę odporności ogniowej. Ponadto, uzyskane wyniki wskazują, że dalsze badania powinny obejmować analizę zachowania szyb zespolonych podczas dłuższej ekspozycji ogniowej, badania elementów o większej powierzchni oraz wpływu starzenia materiałów w warunkach eksploatacyjnych. W celu zwiększenia ich kompleksowości zasadne byłoby przeprowadzenie badań z możliwością szczegółowej analizy wizualnej, obejmującej obserwację zmian w strukturze ramek w czasie badania. Po-

investigations, it would be advisable to conduct tests enabling detailed visual analysis, including direct observation of structural changes in spacer frames during fire exposure. In addition, extending the scope of testing to include extreme spacer frame thicknesses—both minimum and maximum—would provide a more complete dataset and reduce the risk of overlooking phenomena that may only manifest under non-standard conditions. Such an approach would facilitate a more comprehensive understanding of the role of spacer frames in EI 60 glazing systems and their significance in partitions designed to operate under elevated thermal loads.

Received: 09.09.2025

Revised: 20.10.2025

Published: 23.12.2025

mocne byłoby też rozszerzenie analizy o skrajną (minimalną i maksymalną) grubość ramek międzyszybowych w celu uzyskania pełniejszego spektrum rezultatów i zminimalizowania ryzyka nieuwzględnienia zjawisk, które mogą ujawnić się dopiero w sytuacjach odbiegających od standardowych. Pozwoli to na pełniejsze opisanie roli ramek dystansowych w układach EI 60 oraz ich znaczenia w przegrodach przeznaczonych do pracy w warunkach podwyższonego obciążenia termicznego.

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.09.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 20.10.2025 r.

Opublikowano: 23.12.2025 r.

## Literatura

- [1] Sędlak B, Kinowski J, Sulik P. "Wpływ rodzaju zastosowanej ramki w szybie zespolonej na odporność ogniową przegrody przeszklonej." *Materiały Budowlane*, vol. 3, no. 619, pp. 45–49, 2024, DOI: 10.15199/33.2024.03.10.
- [2] Wang Y, Hu J. "Performance of laminated glazing under fire conditions," *Compos. Struct.*, vol. 223, 2019, DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.110903.
- [3] Liu W, Ge X, Zhang Z. "Study of the relationship between thermal insulation behavior and microstructure of a fire-resistant gel containing silica during heating," *Fire Mater.*, vol. 42, no. 1, pp. 44–49, Jan. 2018, DOI: 10.1002/fam.2455.
- [4] Debuyser M, Sjöström J, Lange D, Honfi D, Sonck D, Belis J. "Behaviour of monolithic and laminated glass exposed to radiant heating," *Constr. Build. Mater.*, vol. 130, pp. 212–229, Jan. 2017, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.139.
- [5] Bedon C. "Structural Glass Systems under Fire: Overview of Design Issues, Experimental Research, and Developments," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2017, pp. 1–18, 2017, DOI: 10.1155/2017/2120570.
- [6] Burmistrov I, Vikulova M, Panova L, Yudinseva T. "Development of acrylate-based polymeric layers for fireproof laminated glass," 2017, p. 020003, DOI: 10.1063/1.5009828.
- [7] Wu M, Chow WK, Ni X. "Characterization and thermal degradation of protective layers in high-rating fire-resistant glass," *Fire Mater.*, vol. 39, no. 1, pp. 26–40, Jan. 2015, DOI: 10.1002/fam.2228.
- [8] Wang Y *et al.*, "Experimental study on critical breaking stress of float glass under elevated temperature," *Mater. Des.*, vol. 60, pp. 41–49, Aug. 2014, DOI: 10.1016/j.matdes.2014.03.038.
- [9] Wang Y *et al.*, "Fracture behavior of a four-point fixed glass curtain wall under fire conditions," *Fire Saf. J.*, vol. 67, pp. 24–34, Jul. 2014, DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.05.002.
- [10] Babrauskas V. "Glass breakage in fires," *Fire Sci. Technol. Inc.*, 2011.
- [11] Zhan Y, Xia Z, Xin W, Hai-lun L. "Application and Integrity Evaluation of Monolithic Fire-resistant Glass," *Procedia Eng.*, vol. 11, pp. 603–607, 2011, DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.702.
- [12] Pagni P. "2002 Howard W. Emmons Invited Plenary Lecture – Thermal Glass Breakage," *Fire Saf. Sci.*, vol. 7, pp. 3–22, 2003, DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.7–3.
- [13] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [14] Harada K, Enomoto A, Uede K, Wakamatsu T. "An Experimental Study On Glass Cracking And Fallout By Radiant Heat Exposure," *Fire Saf. Sci.*, vol. 6, pp. 1063–1074, 2000, DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.6–1063.
- [15] Keski-Rahkonen O. "Breaking of window glass close to fire," *Fire Mater.*, vol. 12, no. 2, pp. 61–69, Jun. 1988, DOI: 10.1002/fam.810120204.
- [16] Sulik P, Sędlak B, "Wybrane aspekty oceny odporności ogniowej przeszklonych elementów oddzielenia przeciwpożarowego," *J. Civ. Eng. Environ. Archit.*, vol. 64, pp. 17–29, 2017, DOI: 10.7862/rb.2017.100.
- [17] Borowy A. "Fire Resistance Testing of Glazed Building Elements," in *POŻÁRNÁ OCHRANA 2014*, 2014, pp. 15–17.