

mgr inż. Bartłomiej Sędlak<sup>a)</sup>, mgr inż. Jacek Kinowski<sup>a)</sup>, dr inż. Paweł Sulik<sup>a)\*</sup>

<sup>a)</sup>Institut Techniki Budowlanej / Building Research Institute (ITB)

\*Autor korespondencyjny / Corresponding author: p.sulik@itb.pl

## Miejsca krytyczne elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych pod względem izolacyjności ogniowej

Critical Places Regarding Fire Insulation of Glazed Curtain Walls Test Specimens

Критические точки образцов элементов стеклянных фасадных панелей

### ABSTRAKT

**Cel:** Celem pracy jest przedstawienie wiedzy na temat badań oraz klasyfikacji odporności ogniowej przeszklonych ścian osłonowych, a ponadto wyznaczenie punktów krytycznych elementów próbnych ścian osłonowych pod względem izolacyjności ogniowej.

**Wprowadzenie:** Ściana osłonowa składa się zazwyczaj z pionowych i poziomych elementów konstrukcyjnych, połączonych razem, zakotwionych do konstrukcji nośnej budynku i wypełnionych tak, by tworzyć lekkie, ciągłe pokrycie zamykające przestrzeń, które spełnia, samodzielnie lub w połączeniu z konstrukcją budynku, wszystkie normalne funkcje ściany zewnętrznej budynku, ale nie pełni funkcji nośnej.

W niniejszym artykule przedstawione zostały główne aspekty dotyczące odporności ogniowej przeszklonych ścian osłonowych. Omówiono metodykę badań oraz sposób klasyfikacji odporności ogniowej elementów tego typu. Ponadto podjęto próbę zdefiniowania słabych punktów elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych na podstawie badań przeprowadzonych w ostatnich latach w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej (ZBOITB). Przeanalizowano przyrosty temperatur na nienagrzewanej powierzchni 17 elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych badanych w warunkach oddziaływania ognia od wewnątrz zgodnie z normami PN-EN 1364-3:2007 oraz PN-EN 1364-3:2014. Wszystkie z analizowanych elementów próbnych osiągnęły klasę odporności ogniowej min. EI 15.

**Metodologia:** W pracy przedstawiono wyniki analizy przyrostów temperatury na nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych dokonanej podczas badań odporności ogniowej. Badania przeprowadzono zgodnie z normami PN-EN 1364-3:2006 oraz PN-EN 1364-3:2014 w ZBOITB w Warszawie oraz w Pionkach.

**Wnioski:** Największy przyrost temperatury najczęściej rejestrowano w miejscu połączenia słupów oraz rygli. Miejsca te można uznać za najbardziej krytyczne. Duży przyrost temperatury w tych miejscach spowodowany jest najprawdopodobniej dużymi ugięciami elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych w trakcie badania. Deformacja ta powoduje wypinanie się rygli ze słupów fasady, w wyniku czego tworzą się miejsca, przez które przedostają się gorące gazy. Ponadto w miejscach tych dosyć często występują specjalne łączniki, które ograniczają zaizolowaną przestrzeń profilu. Dodatkowo zaobserwowanym ciekawym zjawiskiem jest pojawienie się stosunkowo wysokich temperatur na przeszkleń w odległości 20 mm od słupa lub rygla. Wymagania dotyczące pomiaru temperatury w tych miejscach zostały określone dopiero w nowelizacji normy badawczej z 2014 roku i należy przyznać, że było to właściwe posunięcie, ponieważ miejsca te, pod względem izolacyjności ogniowej, mogą być również słabymi punktami elementów próbnych przeszklonych ścian osłonowych.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo pożarowe, odporność ogniowa, izolacyjność ogniowa, ściana osłonowa, badania ogniowe

**Typ artykułu:** doniesienie wstępne

---

Przyjęty: 19.10.2016; Zrecenzowany: 14.02.2017; Opublikowany: 31.03.2017;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 38–50, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.3;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

---

### ABSTRACT

**Aim:** The presentation of technical know-how associated with fire tests and the classification of glazed curtain walls. The determination of critical places for maximum temperature rise on the unexposed surfaces of curtain wall test specimens.

**Introduction:** A curtain wall is a type of wall which usually consists of vertical and horizontal structural members connected to each other and fixed to the floor-supporting structure of the building to form a lightweight space-enclosing continuous skin, which provides, by itself or in conjunction with the building construction, all the normal functions of an external wall, but doesn't acquire any of the load-bearing properties of the building.

The paper discusses the main issues related to the fire resistance of glazed curtain walls, including the testing methodology and the method of classification of this type of building element. Moreover, the paper presents an attempt to determine the weaknesses of aluminum glazed curtain wall test specimens regarding the maximum temperature-rise measurements, based on the fire-resistance tests performed in recent years by the Fire Research Department

of the Building Research Institute (ITB). The paper analyses the results of the temperature rises on unexposed surfaces of 17 aluminum glazed curtain wall specimens tested for internal fire exposure in accordance with EN 1364-3:2006 and EN 1364-3:2014, which achieved the fire-resistance class of min. EI 15.

**Methodology:** The paper presents the results of the analysis of temperature rises on the unexposed surfaces of curtain wall test specimens during fire-resistance tests. The tests were conducted in accordance with the PN-EN 1364-3:2006 and EN 1364-3:2014 standards in the Fire Testing Laboratory of the Building Research Institute (ITB) in Warsaw and Pionki.

**Conclusions:** The highest temperature rise was recorded on the mullion and transom connections, and these places can be regarded as critical. The significant increase in temperature in those junctions can be explained by the large deformations of the glazed curtain wall specimens during the fire test. Such deformation causes the destruction of beam-to-column connections, which facilitates the flow of hot gases. Additionally, special connectors often occur in these places, which constricts the space of insulation inserts. An interesting phenomenon is the fairly high temperature rise on the glass panes, 20 mm from the mullions or transoms. Requirements regarding temperature measurements in these places were established no earlier than in the new version of the standard issued in 2014 and, as can be observed, this was the correct decision, because these places, in terms of fire resistance, can also be the weakness of glazed curtain wall specimens.

**Keywords:** fire safety, fire resistance, fire insulation, curtain wall, fire tests

**Type of article:** short scientific report

Received: 19.10.2016; Reviewed: 14.02.2017; Published: 31.03.2017;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BITP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 38–50, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.3;

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

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Целью работы является предоставление сведений о тестировании и классификации огнестойкости застекленных светопрозрачных фасадов, а также определение критических точек образцов фасадных стен с точки зрения противопожарной изоляции.

**Введение:** светопрозрачный фасад, как правило, состоит из вертикальных и горизонтальных элементов конструкции, соединенных вместе, прикрепленных к несущей конструкции здания и заполненных таким образом, чтобы образовалось легкое и сплошное покрытие, закрывающее пространство, которое выполняет либо отдельно, либо в сочетании с конструкцией здания, все обычные функции внешней стены здания, кроме функций несущей стены.

В данной статье представлены основные аспекты, касающиеся огнестойкости стеклянных фасадных панелей. Рассматриваются методики тестирования и способы классификации огнестойкости этого типа. Кроме того, предпринята попытка определения слабых мест образцов элементов фасадных панелей на основе исследований, проведенных в последние годы в Отделе Пожарных Испытаний в Институте Строительной Техники (ZBO ITB). Проанализировано рост температуры на ненагреваемой поверхности 17 образцов элементов фасадных панелей, испытанных в условиях пожара с внутренней стороны, в соответствии со стандартами PN-EN 1364-3:2007 и PN-EN 1364-3:2014. Все анализируемые образцы элементов соответствуют классу огнестойкости мин. EI 15.

**Методы:** В работе представлены результаты анализа роста температуры на ненагреваемой поверхности образцов элементов стеклянных фасадных панелей, проведенного в ходе испытаний на огнестойкость. Исследование было проведено в соответствии с нормами PN-EN 1364-3:2006 и PN-EN 1364-3:2014 в ОНИИПСТ в Варшаве и в Пёнках.

**Выводы:** Наибольшее повышение температуры чаще всего было зафиксировано в точках соединений стоек с болтами. Эти точки можно считать наиболее критическими. Значительное увеличение температуры в этих местах, вероятно, обусловлено большими прогибами образцов элементов застекленных светопрозрачных фасадов во время испытания. Такие деформации приводят к отсоединению болтов от стоек фасада, создавая тем самым пространство, через которое проникают горячие газы. Кроме того, в этих местах довольно часто бывают специальные разрезы, которые ограничивают изолированное пространство профиля. Также, наблюдалось интересное явление появления относительно высоких температур на поверхности стекла на расстоянии 20 мм от стойки или болта. Требования относительно измерения температуры в этих местах были выявлены только в поправках к стандартам тестирования от 2014 года, и следует признать, что это был правильный шаг, поскольку эти места, с точки зрения противопожарной изоляции, также могут оказаться слабыми точками образцов элементов фасадных панелей.

**Ключевые слова:** противопожарная безопасность, огнестойкость, противопожарная изоляция, брандмауэр, противопожарное тестирование

**Вид статьи:** предварительный отчет

Принята: 19.10.2016; Рецензирована: 14.02.2017; Опубликована: 31.03.2017;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 38–50, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.3;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## Wprowadzenie

Ściana osłonowa składa się zazwyczaj z pionowych i poziomych elementów konstrukcyjnych, połączonych razem, zamontowanych do konstrukcji nośnej budynku i wypełnionych tak, by tworzyć lekkie, ciągłe pokrycie zamykające przestrzeń, które spełnia, samodzielnie lub w połączeniu z konstrukcją budynku, wszystkie normalne funkcje ściany zewnętrznej budynku, ale nie pełni funkcji nośnej.

W przypadku budynków specjalnego przeznaczenia, takich jak: szpitale, szkoły, hotele, galerie handlowe czy obiekty o znacznej wysokości [1, 2], wymaga się, aby ich nienośne elementy, do których zalicza się też ściany osłonowe, były zaprojektowane i wykonane tak, by w przypadku wystąpienia pożaru ograniczyły rozprzestrzenianie się ognia zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz (na sąsiednie obiekty) budynku, zapewniały bezpieczeństwo ekipie prowadzącej akcję ratowniczą oraz umożliwiały sprawną ewakuację użytkowników budynku. Powyższe szczegółowe wymagania

zazwyczaj nie występują samodzielnie (np. zapewnienie właściwej ewakuacji związane jest z nośnością konstrukcji, rozprzestrzenieniem się ognia i dymu wewnątrz obiektu, a także z bezpieczeństwem ekip ratowniczych) i dlatego podczas pożarów poszczególne elementy budynków mogą spełniać kilka funkcji.

Dotyczy to również ścian osłonowych – elementów budynku, od których najczęściej oczekuje się, że dzięki swojej odpowiedniej konstrukcji i wykonaniu będą przez określony czas ograniczyły rozprzestrzenianie się pożaru na sąsiednie kondygnacje, sąsiadujące obiekty oraz – w specyficznych przypadkach – również sąsiadujące pomieszczenia. Powstrzymanie przenoszenia się pożaru na sąsiednie kondygnacje jest możliwe dzięki odpowiednio wykonanym pasom międzykondygnacyjnym [3], a ograniczenie przenoszenia się pożaru na sąsiednie pomieszczenia – dzięki odpowiedniemu uszczelnieniu złącza liniowego [4, 5] pomiędzy ścianą osłonową a przegrodą wewnętrzną [6]. W celu zapobieżenia rozprzestrzenianiu się pożaru na sąsiednie budynki wymaga się, żeby pomiędzy sąsiadującymi budowlami były zachowane właściwe odległości albo – gdy nie jest to możliwe – żeby określona część powierzchni ściany osłonowej miała odpowiednią klasę odporności ogniowej. Ponadto wymaga się, by ściana była w odpowiedni sposób zamocowana, tak aby zapobiec odpadaniu jej fragmentów podczas ewakuacji oraz prowadzenia prac przez ekipy ratownicze [7–11].

Przeszkłone ściany osłonowe określonej klasy odporności ogniowej są wykonywane najczęściej jako konstrukcje słupowo-ryglowe. Słupy oraz rygle są robione z profili aluminiowych lub stalowych o skrzynkowym przekroju. Wewnątrz profilu umieszczone są specjalne wkłady ogniochronne, wykonywane najczęściej z płyt gipsowo-kartonowych, krzemianowo-wapniowych lub z innych materiałów zapewniających odpowiednie zabezpieczenie profilu przed niekorzystnym działaniem ognia oraz wysokiej temperatury. Liczba i rodzaj zastosowanych wkładów mają ogromny wpływ na właściwości ogniowe danej fasady, co przedstawione zostało w artykułach [12, 13]. Ponadto wewnątrz profili dosyć często stosowane są kształtowniki wzmacniające, których zadaniem jest zwiększenie wytrzymałości całej konstrukcji. Najczęściej są one wykonywane z tego samego materiału co dany profil.

Jako wypełnienia pomiędzy profilami stosowane są specjalne szyby ogniochronne, zespolone z szybą zewnętrzną [14, 15]. Przeszklenia, podobnie jak rodzaj zastosowanych profili, dobierane są odpowiednio do oczekiwanej klasy odporności ogniowej. Pakiety szklane są najczęściej mocowane przy użyciu specjalnych listew dociskowych lub uchwytów przykręcanych do profilu podstawowego. Dopasowanie odpowiedniego sposobu zamocowania przeszklenia odgrywa główną rolę w osiągnięciu oczekiwanej klasy odporności ogniowej. Ma to szczególne znaczenie w przypadku coraz częściej stosowanych przeszkleń o dużych wymiarach [16–19].

Istotnym elementem stosowanym w konstrukcji przeszkłonych ścian osłonowych są specjalne uszczelki pęczniące. „Uszczelki te pod wpływem temperatury zwiększają swoją objętość, dzięki czemu zamykają szczeliny przez które mógłby przedostać się ogień” [20].

Rozwiązania techniczne stosowane w przeszkłonych ścianach osłonowych zostały obszernie omówione w literaturze, m.in. w [21–23]. Warto również zaznaczyć, że bardzo podobne

do nich są stosowane także w elementach poziomych [24, 25] – przeszkłone dachy są wykonywane dokładnie z takich samych profili jak ściany osłonowe.

## Badania oraz klasyfikacja odporności ogniowej

Jedynym sposobem określenia rzeczywistej klasy odporności ogniowej przeszkłonej ściany osłonowej jest wykonanie badania odporności ogniowej, które należy przeprowadzić w akredytowanym laboratorium (np. w ZBOITB). Zgodnie z normą klasyfikacyjną PN-EN 13501-2 w przypadku ścian osłonowych w pełnej konfiguracji (kompletnego zestawu) klasa odporności ogniowej przyznawana jest na podstawie badania wykonanego zgodnie z normą PN-EN 1364-3, a w przypadku częściowej konfiguracji (np. samego pasa międzykondygnacyjnego) – zgodnie z normą PN-EN 1364-4.

W normie badawczej zostały wyróżnione dwa przypadki, w których można określić odporność ogniową ściany osłonowej – nagrzewanie od wewnątrz i nagrzewanie z zewnątrz. Różnią się one od siebie konfiguracją elementu próbnego i sposobem jego zamocowania oraz warunkami panującymi w piecu badawczym.

W przypadku nagrzewania od wewnątrz temperatura w danym czasie badania powinna być zgodna z krzywą standardową, która przyjmowana jest jako właściwa dla odzwierciedlenia pożaru wewnątrz budynku i określona wzorem:

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

gdzie:

$T$  – temperatura (w °C),

$t$  – czas od początku badania (w min)

W przypadku nagrzewania z zewnątrz, odzwierciedlającego pożar na zewnątrz budynku (znacznie łagodniejszy), temperatura w danym czasie badania powinna być zgodna z krzywą zewnętrzną określoną wzorem:

$$T = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20 \quad (2)$$

Wpływ kierunku nagrzewania na wyniki badań odporności ogniowej przeszkłonych ścian osłonowych został obszernie omówiony w artykułach [12, 13, 26, 27].

Badania odporności ogniowej przeszkłonych ścian osłonowych przeprowadza się na elementach próbnym, które są wykonane jako w pełni reprezentatywne dla tych zastosowanych w praktyce lub w taki sposób, aby zapewnić jak największy zakres zastosowania wyników badań.

W normie badawczej została przedstawiona standardowa konfiguracja dla prostego (równego) elementu próbnego (sąsiednie tafle szklane umieszczone w profilach słupów równolegle względem siebie) oraz dla elementu próbnego narożnego (sąsiednie tafle szklane umieszczone w profilach słupów pod danym kątem względem siebie).

W przypadku nagrzewania od wewnątrz element próbny montowany jest dołem i górą do stropów stanowiących konstrukcję mocującą w taki sposób, aby odzwierciedlić warunki, które będą

panować w rzeczywistości. Kiedy ściana osłonowa ma być sprawdzona od strony zewnętrznej, mocowana jest zazwyczaj do specjalnej ramy badawczej i dostawiana do czołowego otworu pieca.

W trakcie badania odporności ogniowej przeszklonych ścian osłonowych mogą być sprawdzane następujące kryteria skuteczności działania: szczelność ogniowa (E), izolacyjność ogniowa (I) oraz promieniowanie (W).

Szczelność ogniowa to zdolność elementu konstrukcji, który pełni funkcję oddzielającą, do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony tak, aby uniemożliwić przeniesienie się ognia w wyniku przeniknięcia płomieni lub gorących gazów na stronę nienagrzewaną. Podczas badania szczelność ogniowa jest sprawdzana za pomocą tamponu bawełnianego, szczelinomierzy lub wizualnie. Szczelność jest zachowana, jeżeli:

- tampon bawełniany nie zapalił się przez 30 s od momentu przyłożenia go do elementu próbnego,
- penetracja (szczelinomierzem o grubości 25 mm lub 6 mm na długości 150 mm) szczeliny powstałej w wyniku działania ognia nie była możliwa,
- nie utrzymał się płomień po stronie nienagrzewaną (nie pojawił się ogień ciągły trwający dłużej niż 10 s).

W przypadku gdy element próbny nie jest oceniany pod względem izolacyjności ogniowej, zapalenie się tamponu bawełnianego nie oznacza utraty szczelności ogniowej.

Izolacyjność ogniowa to zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony tak, aby uniemożliwić przeniesienie się ognia w wyniku znaczącego przepływu ciepła na stronę nienagrzewaną. Izolacyjność jest sprawdzana przy użyciu termoelementów powierzchniowych mocowanych do badanego elementu za pomocą kleju odpornego na temperaturę lub przy użyciu termoelementu ruchomego (przyrost temperatury średniej jest ograniczony do 140°C powyżej początkowej średniej temperatury, natomiast przyrost temperatury maksymalnej w dowolnym punkcie badanej ściany osłonowej ograniczony jest do 180°C powyżej temperatury początkowej).

Promieniowanie jest zdolnością elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony tak, aby – w przypadku znaczącego wypromieniowania ciepła albo

przez element, albo z jego powierzchni nienagrzewanej – ograniczone zostało prawdopodobieństwo przeniesienia się ognia do sąsiadujących materiałów. Sposób pomiaru promieniowania określa norma PN-EN 1363-2 (pomiar przy użyciu radiometru ustawionego w odległości 1 m od geometrycznego środka nienagrzewanej powierzchni ściany osłonowej). Elementy, dla których zostało ocenione kryterium promieniowania, powinny być zidentyfikowane przez dodanie litery W do klasyfikacji (np. EW 30). Klasyfikację tych elementów należy podawać jako czas, przez który maksymalna wartość promieniowania, mierzonego 1,0 m od nienagrzewanej powierzchni elementu próbnego, nie przekroczyła wartości 15 kW/m<sup>2</sup>.

Na podstawie przeprowadzonego badania określana jest, zgodnie z normą PN-EN 13501-2, klasa odporności ogniowej. Przy jej przyznawaniu pod uwagę brane są opisane wcześniej kryteria skuteczności działania.

Wyniki badań są zawsze zaokrąglane w dół do najbliższej niższej klasy, która może być nadana danemu elementowi. W przypadku gdy klasa odporności ogniowej jest kombinacją cech, deklarowany czas jest najkrótszym czasem ustalonym dla którejkolwiek cechy. Przykładowo element próbny przeszklonej ściany osłonowej, który utracił swoją izolacyjność ogniową w 36. minucie badania wskutek przekroczenia temperatury średniej na powierzchni któregoś z przeszkleń, a szczelność ogniową – w 62. minucie wskutek pojawienia się ognia ciągłego na nienagrzewanej powierzchni, powinien być klasyfikowany jako EI 30/E 60 (klasyfikacje będące kombinacją klas i czasów są podawane w kolejności zmniejszającej się liczby parametrów skuteczności działania i zwiększającego się czasu). W przypadku gdy przeprowadzono więcej niż jedno badanie ze względu na oczekiwany zakres zastosowania, klasyfikację dla całego zakresu określa najniższy wynik spośród wyników uzyskanych w poszczególnych badaniach. Ponieważ klasyfikacja jest ściśle powiązana z zakresem zastosowania, więc wyniki pojedynczych badań mogą prowadzić do tego, że dany element zostanie zaszeregowany do wyższej klasy odporności dla bardziej ograniczonego zakresu zastosowania.

W normie klasyfikacyjnej zdefiniowane zostały klasy odporności ogniowej zestawione w tabeli 1.

**Tabela 1.** Klasy odporności ogniowej przeszklonych ścian osłonowych [21]

**Table 1.** Glazed curtain walls fire resistance classes [21]

|    |    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|----|-----|
| E  | 15 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| EI | 15 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| EW | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 |

Dodatkowo, zgodnie z normą PN-EN 13501-2, każdorazowo dla danej klasy odporności ogniowej przeszklonej ściany osłonowej podane jest oznaczenie wskazujące na rodzaj badania, na podstawie którego została nadana klasyfikacja.

„Dla ścian osłonowych badanych przy standardowej krzywej nagrzewania N od wewnątrz oraz zewnętrznej krzywej nagrzewania E od zewnątrz, stosuje się oznaczenie «o ↔ i». W wypadku pojedynczego badania dla danej klasy, przy nagrzewaniu od wewnątrz stosuje się oznaczenie «i → o», zaś przy nagrzewaniu od zewnątrz stosuje się oznaczenie «o → i» [17]. Dokładna procedura badania odporności ogniowej przeszklonych ścian

osłonowych oraz sposób klasyfikacji zostały obszernie omówione w literaturze, m.in. w [28–32].

Przeszkłone ściany osłonowe są z reguły wyposażone w drzwi, które również muszą spełniać wymagania dotyczące odporności ogniowej, a w określonych przypadkach – także wymagania dotyczące dymoszczelności. Elementy te również podlegają badaniu odporności ogniowej i/lub dymoszczelności. Badanie to jednak przeprowadza się zgodnie z inną normą badawczą – elementem próbnym są wtedy dane drzwi, a konstrukcją mocującą jest ściana osłonowa stowarzyszona (w przypadku odporności ogniowej) lub uzupełniająca (w przypadku dymoszczelności).

## RESEARCH AND DEVELOPMENT

Przypadki tego typu oraz metodyka badania odporności ogniowej takich elementów zostały przedstawione w artykułach [33–37], a w zakresie dymoszczelności – w artykułach [35, 38–41].

### Elementy próbnie

W celu wytypowania miejsc krytycznych przeszklonych ścian osłonowych pod względem izolacyjności ogniowej przeanalizowano wyniki badań 17 elementów próbnych poddanych

działaniu ognia w warunkach nagrzewania od wewnątrz. Badania przeprowadzono w ostatnich latach w ZBOITB w Warszawie oraz w Pionkach. Wszystkie elementy zostały przebadane zgodnie z normą PN-EN 1364-3 i osiągnęły klasę odporności ogniowej przynajmniej EI 15. Analizy dokonano dla 7 różnych systemów ścian osłonowych, 4 różnych rodzajów wkładów izolacyjnych oraz 15 typów pakietów szklanych. Rozstaw pomiędzy mocowaniami słupów badanych elementów wynosił 3536–5000 mm. Specyfikację ścian osłonowych, których wyniki badań przeanalizowano, przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Wymiary i specyfikacja elementów próbnych

**Table 2.** Dimensions and specification of the test specimens

| Badanie nr/<br>Test No. | Data badania/Test<br>date | Czas trwania<br>badania<br>[min]/Test<br>duration [min] | Rodzaj sys-<br>temu/Type of<br>system | Rodzaj wkładu izolacyj-<br>nego/Type of insulation<br>insert | Rodzaj przeszkle-<br>nia/Type of glass<br>unit | Szerokość<br>[mm]/Width<br>[mm] | Wysokość<br>[mm]/Height<br>[mm] | Rozstaw mocowa-<br>nia [mm]/Span<br>[mm] |
|-------------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------------|--|
| 1                       | 5.10.2007                 | 47  | 1                                     | 4  | 11   | 3822                            | 4100                            | 3536                                     |
| 2                       | 9.07.2007                 | 62  | 1                                     | 1  | 12   | 3822                            | 4100                            | 3536                                     |
| 3                       | 5.06.2009                 | 66  | 1                                     | 1  | 1  | 3822                            | 4952                            | 3536                                     |
| 4                       | 30.09.2010                | 36  | 1                                     | 4  | 9  | 3822                            | 4952                            | 3536                                     |
| 5                       | 15.10.2010                | 63  | 1                                     | 1  | 10   | 3822                            | 4952                            | 3536                                     |
| 6                       | 14.01.2013                | 62  | 4                                     | 1  | 3  | 5825                            | 5725                            | 5000                                     |
| 7                       | 21.01.2013                | 36  | 4                                     | 3  | 4  | 5825                            | 5725                            | 5000                                     |
| 8                       | 09.07.2014                | 33  | 6                                     | 1  | 6  | 4522                            | 5667                            | 4700                                     |
| 9                       | 15.07.2014                | 63  | 6                                     | 1  | 7  | 4522                            | 5667                            | 4700                                     |
| 10                      | 23.10.2014                | 50  | 7                                     | 1  | 8  | 4730                            | 5426                            | 4700                                     |
| 11                      | 12.01.2015                | 66  | 5                                     | 1  | 5  | 4122                            | 5667                            | 4700                                     |
| 12                      | 12.02.2015                | 68  | 7                                     | 1  | 8  | 4730                            | 5426                            | 4700                                     |
| 13                      | 17.06.2015                | 70  | 3                                     | 2  | 2  | 4520                            | 4550                            | 3900                                     |
| 14                      | 16.10.2015                | 55  | 1                                     | 1  | 14   | 4122                            | 5667                            | 4700                                     |
| 15                      | 23.10.2015                | 34  | 1                                     | 1  | 15   | 4122                            | 5667                            | 4700                                     |
| 16                      | 8.12.2015                 | 56  | 1                                     | 1  | 14   | 4122                            | 5667                            | 4700                                     |
| 17                      | 18.01.2016                | 19  | 3                                     | brak izolacji / no insulation                                | 13   | 4970                            | 5350                            | 4700                                     |

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

Wszystkie wymienione systemy ścian osłonowych były wykonane z aluminiowych profili (stop aluminium EN-AW 6060 T66) o przekroju skrzynkowym i następujących wymiarach (szerokość profilu x głębokość konstrukcyjna):

- 50 x 125 mm (system 1),
- 55 x 104 mm (system 2),
- 46 x 46 mm (system 3),
- 50 x 129 mm (system 4),
- 50 x 165 mm (system 5),
- 50 x 185 mm (system 6),
- 52 x 124 mm (system 7).

Wewnątrz profili umieszczono wkłady izolacyjne. Były nimi:

- płyta glinokrzemianowa (typ 1),
- masa na bazie cementu (typ 2),
- płyta krzemianowo-wapniowa (typ 3),
- płyta gipsowa (typ 4).

Przestrzenie pomiędzy profilami wypełniono przeszkleniami wykonanymi jako szyby zespolone (składające się ze specjalnej szyby ogniowej oraz szyby zewnętrznej) lub jako pojedyncze szyby ogniowe. Były to następujące typy przeszkleń:

- szyba zespolona o całkowitej grubości 43 mm, składająca się z szyby ogniowej o grubości 25 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 1);
- pojedyncza szyba ogniowa o grubości 23 mm (typ 2),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 45 mm, składająca się z szyby ogniowej o grubości 25 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 3),
- pojedyncza szyba ogniowa o grubości 33 mm (typ 4),
- pojedyncza szyba ogniowa o grubości 18 mm (typ 5),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 48 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 30 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 6),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 36 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 22 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 7),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 41 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 28 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 5 mm (typ 8),

- szyba zespolona o całkowitej grubości 46 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 23 mm oraz laminowanej szyby zewnętrznej o grubości 9 mm (typ 9),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 41 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 25 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 10),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 48 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 32 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 11),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 33 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 15 mm oraz laminowanej szyby zewnętrznej o grubości 8 mm (typ 12),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 41 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 23 mm oraz laminowanej szyby zewnętrznej o grubości 8 mm (typ 13),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 34 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 18 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 14),
- szyba zespolona o całkowitej grubości 47 mm składająca się z szyby ogniowej o grubości 25 mm oraz hartowanej szyby zewnętrznej o grubości 6 mm (typ 15),
- T2 – termoelementy umieszczone wzdłuż dolnej powierzchni górnego stropu w środku szerokości elementu próbnego;
- T3 – termoelementy umieszczone wzdłuż dolnej powierzchni górnego stropu w linii słupa elementu próbnego;
- T4 – termoelementy umieszczone na połączeniach słupów oraz rygli;
- T5 – termoelementy umieszczone na ryglach w środku odległości pomiędzy sąsiadującymi słupami;
- T6 – termoelementy umieszczone na słupach w środku odległości pomiędzy sąsiadującymi ryglami;
- T7 – termoelementy umieszczone na przeszkleeniu w odległości 20 mm od słupa lub rygla (ponieważ wymagania dotyczące sprawdzania temperatury w tych miejscach pojawiły się dopiero w wydaniu normy badawczej z 2014 r., więc przeprowadzono w nich pomiar tylko dla elementów nr 10–17).

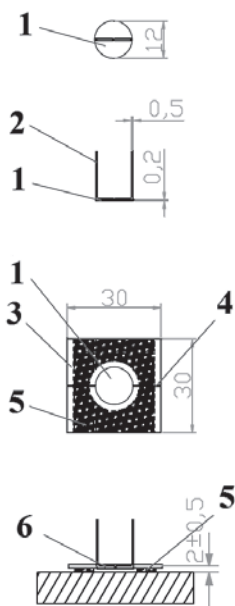
Pomiar temperatury odbywał się przy użyciu termoelementów powierzchniowych typu K (zgodnie z normą PN-EN 1363-1), których schemat przedstawiono na rycinie 1. Przykładowe miejsca pomiaru przyrostów temperatury (T1–T7) przedstawiono na rycinie 2.

Wyniki przyrostów temperatury w wyżej określonych miejscach, odpowiednio w 15., 30., 45. i 60. minucie badania, zestawiono w tabelach 3–6. W tabelach 7–10 przedstawiono natomiast wyniki w postaci procentowej w odniesieniu do najwyższej temperatury w danym badaniu, dzięki czemu można zaobserwować, jak bardzo temperatura w miejscu krytycznym dla danego badania odbiegała od temperatur zarejestrowanych w pozostałych punktach.

## Wyniki badań

W trakcie badania elementów próbnych przedstawionych w tabeli 2 prowadzono pomiar przyrostów temperatury w określonych punktach nienagrzewanej powierzchni tych elementów. W celu wytypowania miejsc krytycznych wyznaczono 7 miejsc, w których odbywały się pomiary:

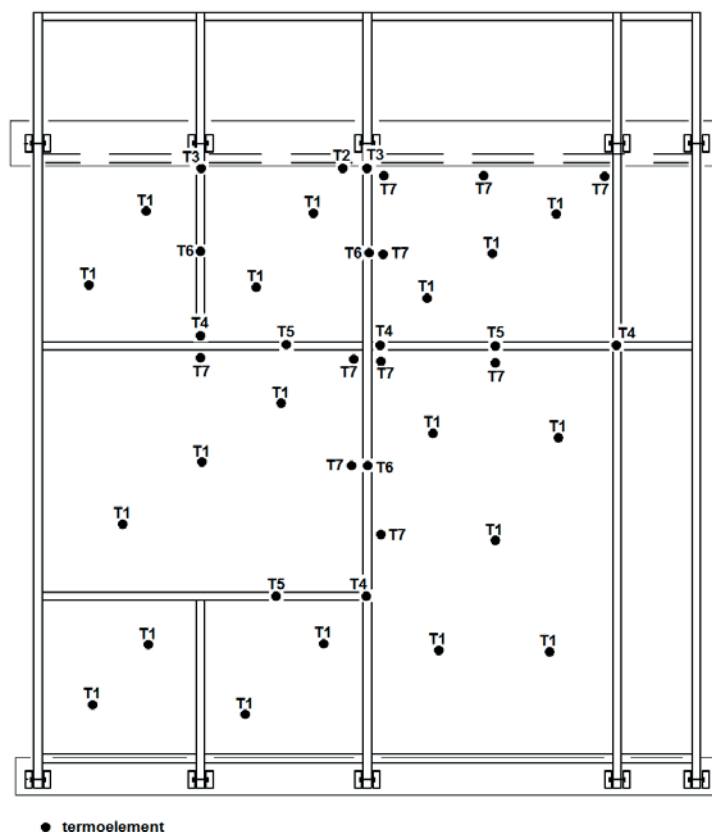
- T1 – termoelementy umieszczone na powierzchni pakietów szklanych służące do pomiaru ich temperatury średniej;



- 1 - krążek miedziany (copper disc),
- 2 - przewód systemu pomiarowego (measuring system wire),
- 3 - nakładka izolacyjna (insulating pad),
- 4 - nacięcie umożliwiające umieszczenie nakładki nad krążkiem miedzianym (incision to allow placement of the cap on the copper disc),
- 5 - przykład położenia kleju pomiędzy termoelementem a elementem próbnym (example of the adhesive placement between the thermocouple and tested specimen),
- 6 - krążek miedziany i nakładka izolująca złączone z powierzchnią elementu próbnego (copper disc and insulating pad connected with the test specimen)

Rycina 1. Schemat budowy termoelementu powierzchniowego (wymiały w mm) [32]

Figure 1. Scheme of the surface thermocouple's structure (dimensions in mm) [32]



**Rycina 2.** Rozkład termoelementów na nienagrzewanej powierzchni elementu próbnego – przykład  
**Figure 2.** Thermocouples arrangement on the unexposed surface of the tested specimen – an example  
**Źródło:** Opracowanie własne.  
**Source:** Own elaboration.

**Tabela 3.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 15. minucie badania  
**Table 3.** Temperature rise in the specific places in 15<sup>th</sup> minute of the test

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [°C] | T2 [°C] | T3 [°C] | T4 [°C] | T5 [°C] | T6 [°C] | T7 [°C] |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                       | 27,0    | 0       | 10,0    | 66,0    | 12,0    | 31,0    | x       |
| 2                       | 10,0    | 0       | 30,0    | 70,0    | 59,0    | 44,0    | x       |
| 3                       | 9,0     | 1,0     | 22,0    | 62,0    | 31,0    | 17,0    | x       |
| 4                       | 7,3     | 0,5     | 60,5    | 72,4    | 74,7    | 72,3    | x       |
| 5                       | 1,9     | 0       | 10,9    | 45,7    | 4,8     | 21,0    | x       |
| 6                       | 9,1     | 6,7     | 9,9     | 28,6    | 11,1    | 13,2    | x       |
| 7                       | 75,3    | 69,5    | 68,1    | 81,3    | 81,7    | 78,2    | x       |
| 8                       | 18,2    | 34,6    | 35,9    | 65,8    | 54,8    | 55,8    | x       |
| 9                       | 12,8    | 0,2     | 52,4    | 70      | 71,1    | 65,6    | x       |
| 10                      | 14,4    | 1,4     | 0,4     | 10,1    | 0,3     | 0,7     | 74,1    |
| 11                      | 9,1     | 0,2     | 4,6     | 13,2    | 15      | 28,6    | 12,9    |
| 12                      | 11,9    | 0,7     | 61,4    | 77,7    | 12,1    | 77,6    | 22,5    |
| 13                      | 9,5     | 8,8     | 29,5    | 74,2    | 30,1    | 17,6    | 12,6    |
| 14                      | 4,8     | 0,1     | 0,2     | 35      | 8,9     | 7,5     | 6,8     |
| 15                      | 10,9    | 0,3     | 8,2     | 21,3    | 21,8    | 9       | 14,9    |
| 16                      | 4,7     | 0,1     | 0,8     | 8       | 14,8    | 5       | 6,2     |
| 17                      | 60      | 33,8    | 36      | 69,3    | 37,5    | 25,2    | 27,8    |

x – brak danych / lack of data  
**Źródło:** Opracowanie własne.  
**Source:** Own elaboration.

**Tabela 4.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 30. minucie badania**Table 4.** Temperature rise in specific places in the 30<sup>th</sup> minute of the test

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [°C] | T2 [°C] | T3 [°C] | T4 [°C] | T5 [°C] | T6 [°C] | T7 [°C] |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                       | 65      | 3       | 75      | 99      | 76      | 93      | x       |
| 2                       | 30      | 2       | 73      | 71      | 74      | 72      | x       |
| 3                       | 26      | 5       | 69      | 78      | 83      | 56      | x       |
| 4                       | 28      | 4,7     | 62,3    | 80,5    | 80      | 83,2    | x       |
| 5                       | 14,9    | 2       | 73,5    | 74,8    | 72,2    | 74,7    | x       |
| 6                       | 25,5    | 21,2    | 37      | 41,6    | 69      | 36,9    | x       |
| 7                       | 78,7    | 74,7    | 92,5    | 137     | 127,9   | 146,1   | x       |
| 8                       | 46      | 56,1    | 66,6    | 68,1    | 66,8    | 81,2    | x       |
| 9                       | 35,3    | 5,3     | 69,7    | 70,6    | 74,7    | 74,3    | x       |
| 10                      | 60,8    | 8       | 1       | 62,4    | 1,4     | 32,1    | 73,6    |
| 11                      | 25,5    | 2,6     | 17,7    | 34,6    | 29,3    | 38,1    | 36,9    |
| 12                      | 33,7    | 65,9    | 70,8    | 79,3    | 67,5    | 79      | 58,1    |
| 13                      | 25,9    | 35,4    | 81,3    | 110,2   | 79,2    | 80      | 48,8    |
| 14                      | 23,8    | 8,2     | 13,6    | 43,4    | 31,5    | 33,8    | 30      |
| 15                      | 33,2    | 4,5     | 26,3    | 42      | 46      | 22,1    | 40,4    |
| 16                      | 24,7    | 9,1     | 19,4    | 32,6    | 35,6    | 31,3    | 29,3    |
| 17                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |

x – brak danych / lack of data

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

**Tabela 5.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 45. minucie badania**Table 5.** Temperature rise in specific places in the 45<sup>th</sup> minute of the test

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [°C] | T2 [°C] | T3 [°C] | T4 [°C] | T5 [°C] | T6 [°C] | T7 [°C] |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                       | 79      | 6       | 78      | 175     | 96      | 166     | x       |
| 2                       | 45      | 4       | 74      | 81      | 86      | 87      | x       |
| 3                       | 36      | 10      | 73      | 96      | 101     | 80      | x       |
| 4                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 5                       | 31,5    | 6,2     | 76,9    | 100,9   | 81,3    | 81,6    | x       |
| 6                       | 33,9    | 29,2    | 36,4    | 47,6    | 70,2    | 54,7    | x       |
| 7                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 8                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 9                       | 58,9    | 15,1    | 70,5    | 87,1    | 80,9    | 109,6   | x       |
| 10                      | 62,3    | 22,5    | 1,9     | 60,1    | 6,2     | 54,1    | 73,4    |
| 11                      | 33,9    | 9,8     | 27,5    | 50      | 42,1    | 43,4    | 54,7    |
| 12                      | 54,9    | 67,5    | 71      | 98,7    | 69,7    | 72,8    | 68,1    |
| 13                      | 36,9    | 51,1    | 103,5   | 127,5   | 72      | 84,7    | 88,5    |
| 14                      | 36,4    | 24,2    | 29,6    | 64,4    | 57,7    | 54,1    | 44      |
| 15                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 16                      | 38,3    | 26,6    | 30,8    | 69,3    | 62,7    | 72,6    | 45,6    |
| 17                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |

x – brak danych / lack of data

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



**Tabela 6.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 60. minucie badania

**Table 6.** Temperature rise in specific places in the 60<sup>th</sup> minute of the test

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [°C] | T2 [°C] | T3 [°C] | T4 [°C] | T5 [°C] | T6 [°C] | T7 [°C] |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 2                       | 56      | 7       | 74      | 104     | 99      | 121     | x       |
| 3                       | 41      | 16      | 77      | 127     | 119     | 103     | x       |
| 4                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 5                       | 42,7    | 12,1    | 78,1    | 117,1   | 93,8    | 104,3   | x       |
| 6                       | 45,1    | 47,4    | 64,5    | 62,1    | 71,9    | 63,4    | x       |
| 7                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 8                       | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 9                       | 52,9    | 24,3    | 81,7    | 122,1   | 116,4   | 146,2   | x       |
| 10                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 11                      | 45,1    | 18,9    | 31,3    | 64,7    | 51,1    | 62,1    | 65,5    |
| 12                      | 68,4    | 68,8    | 73,7    | 102,8   | 70,3    | 93,5    | 83,1    |
| 13                      | 44,6    | 58,9    | 125,7   | 136     | 92,8    | 90,3    | 122,9   |
| 14                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 15                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 16                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |
| 17                      | x       | x       | x       | x       | x       | x       | x       |

x – brak danych / lack of data

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

**Tabela 7.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 15. minucie badania w odniesieniu do maksymalnej temperatury zarejestrowanej w tym czasie badania

**Table 7.** Temperature rise in specific places in the 15<sup>th</sup> minute of the test, with respect to the maximum temperature recorded at this time

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [%] | T2 [%] | T3 [%] | T4 [%]        | T5 [%]        | T6 [%]        | T7 [%]        |
|-------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1                       | 40,91  | 0,00   | 15,15  | <b>100,00</b> | 18,18         | 46,97         | x             |
| 2                       | 14,29  | 0,00   | 42,86  | <b>100,00</b> | 84,29         | 62,86         | x             |
| 3                       | 14,52  | 1,61   | 35,48  | <b>100,00</b> | 50,00         | 27,42         | x             |
| 4                       | 9,77   | 0,67   | 80,99  | 96,92         | <b>100,00</b> | 96,79         | x             |
| 5                       | 4,16   | 0,00   | 23,85  | <b>100,00</b> | 10,50         | 45,95         | x             |
| 6                       | 31,82  | 23,43  | 34,62  | <b>100,00</b> | 38,81         | 46,15         | x             |
| 7                       | 92,17  | 85,07  | 83,35  | 99,51         | <b>100,00</b> | 95,72         | x             |
| 8                       | 27,66  | 52,58  | 54,56  | <b>100,00</b> | 83,28         | 84,80         | x             |
| 9                       | 18,00  | 0,28   | 73,70  | 98,45         | <b>100,00</b> | 92,26         | x             |
| 10                      | 19,43  | 1,89   | 0,54   | 13,63         | 0,40          | 0,94          | <b>100,00</b> |
| 11                      | 31,82  | 0,70   | 16,08  | 46,15         | 52,45         | <b>100,00</b> | 45,10         |
| 12                      | 15,32  | 0,90   | 79,02  | <b>100,00</b> | 15,57         | 99,87         | 28,96         |
| 13                      | 12,80  | 11,86  | 39,76  | <b>100,00</b> | 40,57         | 23,72         | 16,98         |
| 14                      | 13,71  | 0,29   | 0,57   | <b>100,00</b> | 25,43         | 21,43         | 19,43         |
| 15                      | 50,00  | 1,38   | 37,61  | 97,71         | <b>100,00</b> | 41,28         | 68,35         |
| 16                      | 31,76  | 0,68   | 5,41   | 54,05         | <b>100,00</b> | 33,78         | 41,89         |
| 17                      | 86,58  | 48,77  | 51,95  | <b>100,00</b> | 54,11         | 36,36         | 40,12         |

x – brak danych / lack of data

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

**Tabela 8.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 30. minucie badania w odniesieniu do maksymalnej temperatury zarejestrowanej w tym czasie badania

**Table 8.** Temperature rise in specific places in the 30<sup>th</sup> minute of the test, with respect to the maximum temperature recorded at this time

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [%] | T2 [%] | T3 [%] | T4 [%] | T5 [%] | T6 [%] | T7 [%] |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1                       | 65,66  | 3,03   | 75,76  | 100,00 | 76,77  | 93,94  | x      |
| 2                       | 40,54  | 2,70   | 98,65  | 95,95  | 100,00 | 97,30  | x      |
| 3                       | 31,33  | 6,02   | 83,13  | 93,98  | 100,00 | 67,47  | x      |
| 4                       | 33,65  | 5,65   | 74,88  | 96,75  | 96,15  | 100,00 | x      |
| 5                       | 19,92  | 2,67   | 98,26  | 100,00 | 96,52  | 99,87  | x      |
| 6                       | 36,96  | 30,72  | 53,62  | 60,29  | 100,00 | 53,48  | x      |
| 7                       | 53,87  | 51,13  | 63,31  | 93,77  | 87,54  | 100,00 | x      |
| 8                       | 56,65  | 69,09  | 82,02  | 83,87  | 82,27  | 100,00 | x      |
| 9                       | 47,26  | 7,10   | 93,31  | 94,51  | 100,00 | 99,46  | x      |
| 10                      | 82,61  | 10,87  | 1,36   | 84,78  | 1,90   | 43,61  | 100,00 |
| 11                      | 66,93  | 6,82   | 46,46  | 90,81  | 76,90  | 100,00 | 96,85  |
| 12                      | 42,50  | 83,10  | 89,28  | 100,00 | 85,12  | 99,62  | 73,27  |
| 13                      | 23,50  | 32,12  | 73,77  | 100,00 | 71,87  | 72,60  | 44,28  |
| 14                      | 54,84  | 18,89  | 31,34  | 100,00 | 72,58  | 77,88  | 69,12  |
| 15                      | 72,17  | 9,78   | 57,17  | 91,30  | 100,00 | 48,04  | 87,83  |
| 16                      | 69,38  | 25,56  | 54,49  | 91,57  | 100,00 | 87,92  | 82,30  |
| 17                      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |

x – brak danych / lack of data

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

**Tabela 9.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 45. minucie badania w odniesieniu do maksymalnej temperatury zarejestrowanej w tym czasie badania

**Table 9.** Temperature rise in specific places in the 45<sup>th</sup> minute of the test, with respect to the maximum temperature recorded at this time

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [%] | T2 [%] | T3 [%] | T4 [%] | T5 [%] | T6 [%] | T7 [%] |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1                       | 45,14  | 3,43   | 44,57  | 100,00 | 54,86  | 94,86  | x      |
| 2                       | 51,72  | 4,60   | 85,06  | 93,10  | 98,85  | 100,00 | x      |
| 3                       | 35,64  | 9,90   | 72,28  | 95,05  | 100,00 | 79,21  | x      |
| 4                       | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |
| 5                       | 31,22  | 6,14   | 76,21  | 100,00 | 80,57  | 80,87  | x      |
| 6                       | 48,29  | 41,60  | 51,85  | 67,81  | 100,00 | 77,92  | x      |
| 7                       | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |
| 8                       | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |
| 9                       | 53,74  | 13,78  | 64,32  | 79,47  | 73,81  | 100,00 | x      |
| 10                      | 84,88  | 30,65  | 2,59   | 81,88  | 8,45   | 73,71  | 100,00 |
| 11                      | 61,97  | 17,92  | 50,27  | 91,41  | 76,97  | 79,34  | 100,00 |
| 12                      | 55,62  | 68,39  | 71,94  | 100,00 | 70,62  | 73,76  | 69,00  |
| 13                      | 28,94  | 40,08  | 81,18  | 100,00 | 56,47  | 66,43  | 69,41  |
| 14                      | 56,52  | 37,58  | 45,96  | 100,00 | 89,60  | 84,01  | 68,32  |
| 15                      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |
| 16                      | 52,75  | 36,64  | 42,42  | 95,45  | 86,36  | 100,00 | 62,81  |
| 17                      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      |

x – brak danych / lack of data

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT

**Tabela 10.** Przyrost temperatury w określonych miejscach w 60. minucie badania w odniesieniu do maksymalnej temperatury zarejestrowanej w tym czasie badania

**Table 10.** Temperature rise in specific places in the 60<sup>th</sup> minute of the test, with respect to the maximum temperature recorded at this time

| Badanie nr/<br>Test No. | T1 [%] | T2 [%] | T3 [%] | T4 [%]        | T5 [%]        | T6 [%]        | T7 [%]        |
|-------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1                       | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 2                       | 46,28  | 5,79   | 61,16  | 85,95         | 81,82         | <b>100,00</b> | x             |
| 3                       | 32,28  | 12,60  | 60,63  | <b>100,00</b> | 93,70         | 81,10         | x             |
| 4                       | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 5                       | 36,46  | 10,33  | 66,70  | <b>100,00</b> | 80,10         | 89,07         | x             |
| 6                       | 62,73  | 65,92  | 89,71  | 86,37         | <b>100,00</b> | 88,18         | x             |
| 7                       | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 8                       | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 9                       | 36,18  | 16,62  | 55,88  | 83,52         | 79,62         | <b>100,00</b> | x             |
| 10                      | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 11                      | 68,85  | 28,85  | 47,79  | 98,78         | 78,02         | 94,81         | <b>100,00</b> |
| 12                      | 66,54  | 66,93  | 71,69  | <b>100,00</b> | 68,39         | 90,95         | 80,84         |
| 13                      | 32,79  | 43,31  | 92,43  | <b>100,00</b> | 68,24         | 66,40         | 90,37         |
| 14                      | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 15                      | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 16                      | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |
| 17                      | x      | x      | x      | x             | x             | x             | x             |

x – brak danych / lack of data

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

## Podsumowanie

Analizując dane przedstawione w tabelach 3–10, można zaobserwować, że największe przyrosty temperatury zarejestrowano tylko w punktach T4–T7. W tabeli 11 pokazano, jak często w stosunku do całkowitej liczby przeprowadzanych badań

najwyższa temperatura pojawiała się w danym miejscu. Wartości przedstawiono jako procent wystąpienia najwyższej temperatury w danym miejscu w odniesieniu do wszystkich wykonanych badań. W przypadku punktu T7 pod uwagę brano tylko badania nr 10–17, ponieważ tylko w nich temperatura była weryfikowana także w tym punkcie.

**Tabela 11.** Procent pojawienia się najwyższej temperatury w danym miejscu w odniesieniu do wszystkich badań

**Table 11.** The percentage occurrence of the highest temperature in a specific place in respect to all tests made

| Czas/Time                    | T1    | T2    | T3    | T4     | T5     | T6     | T7*    |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 15. min/15 <sup>th</sup> min | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 58,82% | 29,41% | 5,88%  | 12,50% |
| 30. min/30 <sup>th</sup> min | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 31,25% | 37,50% | 25,00% | 14,29% |
| 45. min/45 <sup>th</sup> min | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 41,67% | 16,67% | 25,00% | 33,33% |
| 60. min/60 <sup>th</sup> min | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 50,00% | 12,50% | 25,00% | 33,33% |

\*procent wyznaczony na podstawie badań nr 10–17

\*percentage calculated only for tests No. 10–17

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że najmniejsze przyrosty temperatur zaobserwowano w punktach T1–T3. Zjawisko to można wyjaśnić bardzo prosto. W przypadku pomiarów temperatury w miejscu T1 termoelementy umieszczono równomiernie na powierzchni przeszklenia, gdzie

przyrost temperatury jest stosunkowo niewielki z powodu konstrukcji pakietów szklanych używanych w elementach próbnych ścian osłonowych o przewidywanej określonej klasie odporności ogniowej. Pakiety te składają się z umieszczonego od strony wewnętrznej (w badaniach – po stronie pieca) specjalnego szkła ogniowego, które z reguły jest takim samym przeszkleniem jak to używane w elementach próbnych przeszkłonych

ścian działowych [42–44] czy drzwi [33, 34, 40, 45]. Ze względu na charakterystykę badań elementów tego typu występujące w nich przeszklenia muszą być przygotowane tak, aby powstrzymać przyrost temperatury o 140 K. W przypadku ścian osłonowych pakiet szklany wyposażony jest nie tylko w szybę ogniową, lecz także w dodatkową szybę zewnętrzną, która wraz z występującą pomiędzy obiema szybami pustką powietrzną stanowi dodatkową barierę izolacyjną, co skutkowało małym przyrostem temperatury podczas badań w punkcie T1. Niewielkie przyrosty temperatury w miejscach T2 oraz T3 należy wyjaśnić tym, że punkty te znajdowały się w obszarze pasa międzykondygnacyjnego, który z reguły jest najlepiej zaizolowanym obszarem ściany osłonowej.

Największy przyrost temperatury najczęściej rejestrowano w miejscach połączenia słupów oraz rygli (T4) i punkty te można uznać za najbardziej krytyczne. Przyrost ten był najprawdopodobniej spowodowany dużymi ugięciami elementów próbnymi ścian osłonowych w trakcie badania. Deformacja ta powodowała wypinanie się rygli ze słupów fasady, w wyniku czego tworzyły się miejsca, przez które przedostawały się gorące gazy. Ponadto w punktach tych dosyć często występowały specjalne łączniki, które ograniczają zaizolowaną przestrzeń profilu.

Dodatkowo zaobserwowanym ciekawym zjawiskiem było pojawienie się stosunkowo wysokich temperatur na przeszkleniu w odległości 20 mm od słupa lub rygla (T7). Wymagania dotyczące pomiaru temperatury w tych miejscach zostały określone dopiero w nowelizacji normy badawczej z 2014 roku i należy przyznać, że było to właściwe posunięcie, ponieważ miejsca te, pod względem izolacyjności ogniowej, mogą być również słabymi punktami elementów próbnymi przeszkłonych ścian osłonowych.

## Literatura

- [1] Sassi S., Setti P., Amaro G., Mazzotti L., Paduano G., Cancelliere P., Madeddu M., *Fire safety engineering applied to high-rise building façades*, „MATEC Web Conf.”, 2016, 46, 04002.
- [2] Sulik P., Sędłak B., Turkowski P., Węgrzyński W., *Bezpieczeństwo pożarowe budynków wysokich i wysokościowych*, [w:] *Budownictwo na obszarach zurbanizowanych*, Nauka, praktyka, perspektywy, A. Halicka (red.), Politechnika Lubelska, Lublin 2014, 105–120.
- [3] Sędłak B., Sulik P., *Odporność ogniowa pasów międzykondygnacyjnych aluminium-szkłanych ścian osłonowych*, „Izolacje”, 2016, 21, 1, 66–73.
- [4] Sędłak B., Roszkowski P., *Izolacyjność ogniowa uszczelnień złączy liniowych w zależności od głębokości i szerokości złącza*, „Izolacje”, 2015, 20, 10, 58–63.
- [5] Laskowska Z., Borowy A., *Złącza liniowe – rozwiązania, badania i klasyfikacja w zakresie odporności ogniowej*, „Mater. Bud.” 2013, 7, 1, 2–5.
- [6] Sulik P., Sędłak B., *Ochrona przeciwpożarowa w przegrodach wewnętrznych*, „Izolacje”, 2015, 20, 9, 30–34.
- [7] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., *Falling parts of external walls cladings in case of fire – ITB test method – Results comparison*, „MATEC Web of Conferences” 2016, 46, 02005.
- [8] Móder I., Varga A., Geier P., Vágó B., Rajna E., *Brief summary of the Hungarian test method (MSZ 14800-6:2009) of fire propagation on building façades*, „MATEC Web Conf.”, 2016, 46, 01002.
- [9] Sulik P., Sędłak B., *Bezpieczeństwo pożarowe przeszkłonych elewacji*, „Mater. Bud.”, 2015, 1, 9, 20–22.
- [10] Sulik P., Sędłak B., *Bezpieczeństwo pożarowe szklanych fasad*, „Inf. Bud. Murator – Fasady”, 2015, 38–42.
- [11] Sulik P., Sędłak B., Kinowski J., *Bezpieczeństwo pożarowe ścian zewnętrznych (Cz. 2) Mocowanie okładzin elewacyjnych*, „Ochr. Przeciwpożarowa”, 2015, 51, 1, 9–12.
- [12] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., *Izolacyjność ogniowa aluminium-szkłanych ścian osłonowych w zależności od sposobu wypełnienia profili szkieletu konstrukcyjnego*, „Izolacje”, 2015, 20, 2, 48–53.
- [13] Sędłak B., Kinowski J., Borowy A., *Fire resistance tests of large glazed aluminium curtain wall test specimens – Results comparison*, „MATEC Web of Conferences”, 2013, 9, 02009.
- [14] Laskowska Z., Borowy A., *Szyby zespolone w elementach o określonej odporności ogniowej*, „Świat Szkła”, 2016, 21, 3, 15–20, 28.
- [15] Laskowska Z., Borowy A., *Szyby w elementach o określonej odporności ogniowej*, „Świat Szkła”, 2015, 20, 12, 10–15.
- [16] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., *Large glazing in curtain walls – Study on impact of fixing methods on fire resistance*, „MATEC Web of Conferences”, 2016, 46, 05004.
- [17] Sędłak B., *Odporność ogniowa ścian osłonowych z dużymi przeszkleniami. Cz. 2.*, „Świat Szkła”, 2014, 19, 5, 28–31.
- [18] Sędłak B., *Odporność ogniowa ścian osłonowych z dużymi przeszkleniami. Cz. 1.*, „Świat Szkła”, 2014, 19, 3, 16–19, 25.
- [19] Sędłak B., Sulik P., *Odporność ogniowa wielkogabarytowych pionowych elementów przeszkłonych*, „Mater. Bud.”, 2015, 1, 7, 28–30.
- [20] Sędłak B., *Systemy przegród aluminium-szkłanych o określonej klasie odporności ogniowej*, „Świat Szkła”, 2013, 18, 10, 30–33, 41.
- [21] Sędłak B., *Wymagania z zakresu nienośnych przegród przeciwpożarowych – przeszklone ściany osłonowe i drzwi i bramy*, [w:] G. Grzymkowska-Gałka, *Budynek wielofunkcyjny z częścią usługowo-handlową i garażem podziemnym – w aspekcie projektowania, wykonawstwa i odbioru przez PSP: Materiały pomocnicze do wykładów*, ARCHMEDIA, Warszawa 2016, 43–62.
- [22] Sędłak B., Sulik P., Kinowski J., *Wymagania i rozwiązania techniczne systemów pionowych przegród przeszkłonych o określonej klasie odporności ogniowej*, *BiTP Vol. 42 Issue 2*, 2016, 167–171.
- [23] Sulik P., Sędłak B., *Odporność ogniowa pionowych przegród przeszkłonych. Część 1.*, „Świat Szkła”, 2015, 20(7–8), 37–38, 40, 42–43.
- [24] Roszkowski P., Sędłak B., *Metodyka badań odporności ogniowej dachów przeszkłonych*, „Świat Szkła”, 2011, 16, 6, 50–52.
- [25] Roszkowski P., Sędłak B., *Badania odporności ogniowej poziomych elementów przeszkłonych*, „Świat Szkła”, 2014, 19, 12, 46–51.
- [26] Sędłak B., Kinowski J., *Badania odporności ogniowej ścian osłonowych – przyrosty temperatury na szybach*, „Świat Szkła”, 2013, 18, 11, 20–25.
- [27] Sulik P., Kinowski J., Sędłak B., *Fire resistance of aluminium glazed curtain walls, Test results comparison depending on the side of fire exposure*, „Appl. Struct. Fire Eng.”, 2016.
- [28] Sędłak B., *Badania odporności ogniowej przeszkłonych ścian osłonowych. Cz. 1.*, „Świat Szkła”, 2012, 17, 9, 52–54.
- [29] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., Izydorczyk D., *Fire resistance glazed constructions classification, Changes in the field of application*, „Appl. Struct. Fire Eng.”, 2016.
- [30] Kinowski J., Sulik P., Sędłak B., *Badania i klasyfikacja systemów pionowych przegród przeszkłonych o określonej klasie odporności ogniowej*, *BiTP Vol. 42 Issue 2*, 2016, pp. 135–140.
- [31] Sędłak B., *Badania odporności ogniowej przeszkłonych ścian osłonowych wg nowego wydania normy PN-EN 1364-3*, „Świat Szkła”, 2014, 19(7–8), 49–53.
- [32] Sędłak B., *Badania odporności ogniowej przeszkłonych ścian osłonowych. Cz. 2.*, „Świat Szkła”, 2012, 17, 10, 53–58, 60.

- [33] Sędłak B., *Metodyka badań odporności ogniowej drzwi przeszklonych. Cz. 1.*, „Świat Szkła”, 2012, 17, 3, 50–52, 60.
- [34] Sędłak B., *Metodyka badań odporności ogniowej drzwi przeszklonych. Cz. 2.*, „Świat Szkła”, 2012, 17, 4, 55–58, 60.
- [35] Kinowski J., Sędłak B., Sulik P., *Odporność ogniowa i dymoszczelność drzwi zgodnie z PN-EN 16034*, „Mater. Bud” 2015, 1, 11, 67–69.
- [36] Izydorczyk D., Sędłak B., Sulik P., *Izolacyjność ogniowa drzwi przeciwpożarowych*, „Izolacje”, 2016, 21, 1, 52–63.
- [37] Izydorczyk D., Sędłak B., Sulik P., *Thermal insulation of single leaf fire doors, Test results comparison in standard temperature-time fire scenario for different types of doorsets*, “Appl. Struct. Fire Eng.”, 2016.
- [38] Sędłak B., *Przeszkłone drzwi dymoszczelne – badania oraz klasyfikacja w zakresie dymoszczelności*, „Świat Szkła”, 2013, 18, 4, 35–38.
- [39] Sulik P., Sędłak B., Izydorczyk D., *Odporność ogniowa i dymoszczelność drzwi przeciwpożarowych na wyjściach awaryjnych z tuneli – badania i klasyfikacja*, „Logistyka”, 2014, 6, 10104–10113.
- [40] Sulik P., Sędłak B., *Wybrane zagadnienia związane z drzwiami przeciwpożarowymi*, „Inżynier Budownictwa”, 2015, 11, 90–97.
- [41] Sędłak B., Frączek A., Sulik P., *Wpływ zastosowanego rozwiązania progowego na dymoszczelność drzwi przeciwpożarowych*, „Mater. Bud.”, 2016, 1, 7, 26–29.
- [42] Sędłak B., *Bezsprosowe szklane ściany działowe o określonej klasie odporności ogniowej*, „Świat Szkła”, vol. 19, no. 11, p. 24, 26, 28, 30, 2014.
- [43] Sędłak B., *Badania odporności ogniowej przeszklonych ścian działowych*, „Świat Szkła”, 2014, 19, 2, 30–33.
- [44] Sędłak B., Kinowski J., Izydorczyk D., Sulik P., *Fire resistance tests of aluminium glazed partitions, Results comparison*, “Appl. Struct. Fire Eng.”, 2016.
- [45] Sulik P., Sędłak B., *Odporność ogniowa drzwi z dużymi przeszkleniami*, „Świat Szkła”, 2015, 20, 3, 38–42.

**MGR INŻ. BARTŁOMIEJ SĘDLAK** – absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej. Zatrudniony w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej, gdzie obecnie pełni funkcję kierownika Pracowni Odporności Ogniowej Przegrod, Elementów Instalacyjnych i Dymoszczelności. Specjalista z zakresu badań dotyczących odporności ogniowej przeszklonych ścian działowych i osłonowych, drzwi, okien, uszczelnień przejść instalacyjnych oraz złączy liniowych. Jako autor lub współautor opublikował w prasie branżowej lub wygłosił na krajowych i międzynarodowych konferencjach kilkadziesiąt artykułów technicznych z zakresu bezpieczeństwa pożarowego budynków.

**MGR INŻ. JACEK KINOWSKI** – absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (specjalność: konstrukcje budowlane i inżynierskie). Od 2011 r. pracownik Zakładu Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej. Członek Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa. Specjalista z zakresu badań dotyczących odporności ogniowej ścian działowych, ścian osłonowych, drzwi i złączy liniowych, badań dotyczących dymoszczelności drzwi oraz badań dotyczących odpadania elementów okładzin elewacyjnych. Jako autor lub współautor opublikował w prasie branżowej lub wygłosił na krajowych i międzynarodowych konferencjach kilkadziesiąt artykułów technicznych z zakresu bezpieczeństwa pożarowego budynków.

**DR INŻ. PAWEŁ SULIK** – absolwent Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej (specjalność: konstrukcje budowlane i inżynierskie). W 2002 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie budownictwa na Politechnice Lubelskiej, gdzie przez kilkanaście lat był zatrudniony jako nauczyciel akademicki. Od 2003 r. pracownik naukowy Instytutu Techniki Budowlanej, obecnie pełni funkcję kierownika w Zakładzie Badań Ogniowych. Dodatkowo kontynuuje pracę dydaktyczną w Szkole Głównej Służby Pożarnej. Autor lub współautor ponad 100 artykułów opublikowanych w czasopiśmie technicznych oraz kilkunastu referatów wygłoszonych na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. Członek Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa oraz dwóch Komitetów Technicznych działających przy Polskim Komitecie Normalizacyjnym.