

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

ORCID: 0000-0002-4715-6438

dr inż. Paweł Sulik<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0001-8050-8194

# Temperatura wewnątrz aluminiowych profili przeszklonych ścian działowych w warunkach pożaru standardowego

## *Temperature values inside aluminium profiles of glazed partition walls under standard fire conditions*

DOI: 10.15199/33.2023.12.05

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono i omówiono wyniki pomiarów temperatury wewnątrz profili aluminiowych przeszklonych ścian działowych podczas badań odporności ogniowej. W typowych badaniach odporności ogniowej zwraca się uwagę na to, co dzieje się na nienagrzonej powierzchni próbki, natomiast w artykule przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych w jej wnętrzu. W tym celu na przestrzeni lat wykonano 6 badań odporności ogniowej aluminiowych przeszklonych ścian działowych o różnej wysokości (3 – 6 m). Głównym celem badań była weryfikacja wpływu wysokości ściany na jej odporność ogniową, a jednym z badanych parametrów, szeroko omówionym w artykule, temperatura wewnątrz profili słupów.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo pożarowe; odporność ogniowa; wymiana ciepła; badania ogniowe; przeszklone ścianki działowe; profile aluminiowe.

**Abstract.** This paper presents and discusses the results of temperature measurements inside the profiles of aluminium glazed partition walls during fire resistance tests. In typical fire resistance tests, attention is paid to what happens on the unheated surface of the specimen, whereas this article presents the results of measurements carried out inside the specimen. For this purpose, six fire resistance tests of aluminium glazed partition walls of different heights (from 3 to 6 m) were carried out over the years. The main objective of the tests was to verify the influence of the wall height on its fire resistance, and one of the parameters tested, extensively discussed in this article, was the temperature inside the mullion profiles.

**Keywords:** fire safety; fire resistance; heat transfer; fire testing; glazed partitions; aluminium profiles.

Głównym zadaniem ścian działowych jest oddzielenie pomieszczeń w budynku, dlatego też powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby zapewnić m.in. spełnienie wymagań dotyczących bezpieczeństwa pożarowego.

Ściany działowe o odpowiedniej klasie odporności ogniowej wykonywane są najczęściej w lekkiej zabudowie, np. z płyt g-k [1] lub materiałów drewnopochodnych [2], usztywnione stelażem stalowym czy drewnianym, ewentualnie jako murowane z lekkich elementów drobnowymiarowych [3 ÷ 5] lub wykonywane z płyt warstwowych [6, 7]. Przegrody tego typu sprawdzają się idealnie w budownictwie mieszkaniowym i przemysłowym, natomiast w obiektach biurowych lub handlowych stosowane są zdecydowanie bardziej estetyczne przegrody przeszklone [8, 9]. Są one

wykonywane najczęściej jako konstrukcje szkieletowe, w których przestrzenie pomiędzy metalowymi [10] lub drewnianymi [11] profilami wypełniane są specjalnymi przeszkleniami ogniochronnymi [12 ÷ 15]. Profile, z których wykonane są tego typu ściany działowe, mają najczęściej symetryczny przekrój. Metalowe składają się z kształtowników połączonych przekładką termiczną, a drewniane wykonane są z litego lub klejonego drewna. W przypadku profili metalowych, bardzo istotne jest odpowiednie zaizolowanie kształtownika. Wewnątrz profili umieszczane są specjalne wkłady izolacyjne wykonane najczęściej z płyt gipsowo-kartonowych, silikatowo-cementowych, krzemianowo-wapniowych, glino-krzemianowych, chociaż na rynku dostępne są również rozwiązania z wypełnieniem drewnianym [16]. Rodzaj wkładu izolacyjnego oraz sposób wypełnienia profili mają ogromny wpływ na klasę odporności ogniowej danej przegrody [10].

W artykule skupiliśmy się na słupowo-ryglowych przeszklonych ścianach aluminiowych. W konstrukcjach tego typu specjalne szkło ogniochronne mocowane jest w trzykomorowych profilach powstałych z połączenia dwóch kształtowników aluminiowych przez przekładkę termiczną wykonaną najczęściej z poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym. W przypadku przeszklonych przegród aluminiowych o dużej wysokości, profile słupów ścian są dodatkowo wzmocniane przez dokręcenie do nich dodatkowych specjalnych kształtowników aluminiowych, zapewniających większą sztywność całego układu. Utworzone w ten sposób komory wypełniane są opisanymi wcześniej wkładami izolacyjnymi, a stopień ich wypełnienia zależy od oczekiwanej klasy odporności ogniowej przegrody, której określenie wymaga przeprowadzenia odpowiedniego badania [8, 17]. W badaniach tego typu zwraca się uwagę na zachowanie nienagrzewanej powierzchni badanego

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

\*) Adres do korespondencji: p.sulik@itb.pl

elementu, natomiast w artykule przedstawiono wyniki pomiarów wewnątrz elementów próbnych.

W Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej w Pionkach przeprowadzono 6 badań odporności ogniowej aluminiowych przeszklonych ścian działowych o różnej wysokości (3 – 6 m). Głównym celem badań była weryfikacja wpływu wysokości ściany na jej odporność ogniową, czyli zdolność elementu budynku do spełnienia określonych wymagań podczas pożaru. Podczas badania sprawdzano kryteria szczelności i izolacyjności ogniowej oraz zmierzono deformacje elementu próbnego w jego charakterystycznych punktach. Dodatkowo w trakcie badań prowadzony był pomiar temperatury wewnątrz aluminiowych profili słupów szkieletu ścian, którego wyniki omówione zostały w artykule.

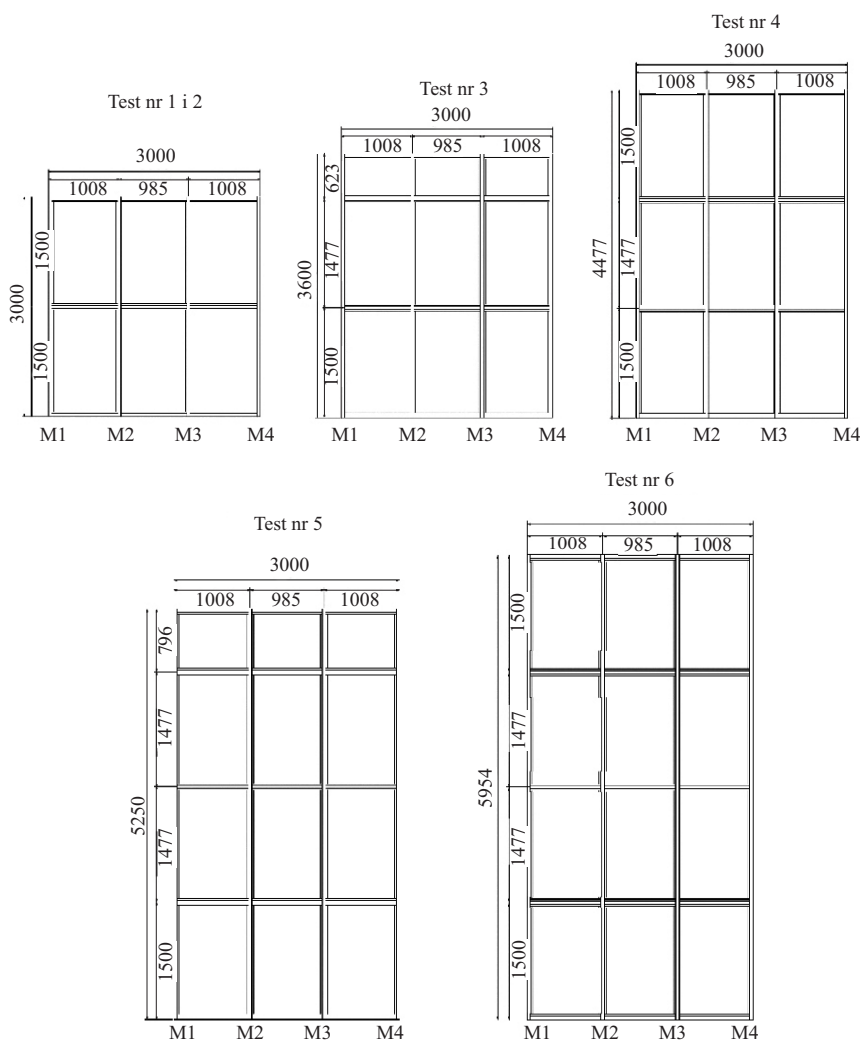
## Materiały i metody badań

Badania odporności ogniowej przeszklonych ścian działowych przeprowadzane są na elementach próbnych, które mogą być wykonane jako w pełni reprezentatywne do zastosowanych (lub planowanych do zastosowania) w praktyce lub w sposób zapewniający najszerszy zakres zastosowania wyników badania. W pierwszym przypadku zasada jest bardzo prosta – na stanowisku badawczym montowany jest element identyczny pod względem budowy i wymiarów z tym, który jest lub ma być zamontowany w danym obiekcie. Istotne jest wówczas także odwzorowanie właściwego sposobu zamocowania elementu próbnego oraz dobranie konstrukcji mocującej odpowiadającej tej, w której element zamontowany jest w praktyce. W drugim przypadku element próbnym do badania odbiega w znacznym stopniu od stosowanych w praktyce, ale dzięki wykorzystaniu w nim różnych kombinacji połączeń oraz odpowiednich wymiarów możliwe jest przeniesienie wyników badań na wiele konstrukcji podobnych.

W badaniach zaprezentowanych w artykule wszystkie przebadane ściany były elementami tego samego typu (ten sam producent, te same profile, takie same przeszklenia), a jedyna różnica polega-

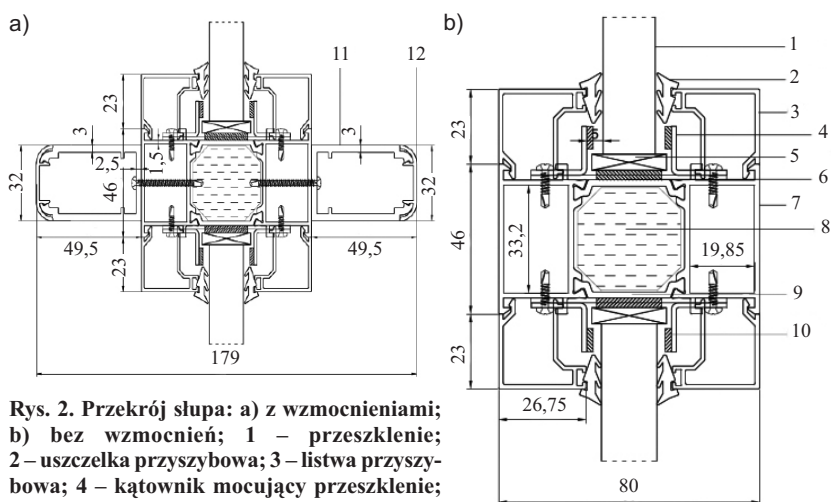
ła na wysokości ścian, która wynosiła 3 – 6 m, z zachowaniem takiej samej szerokości, tzn. 3 m (rysunek 1). Każdy z elementów próbnych zamontowany był do konstrukcji mocującej wzdłuż trzech krawędzi – poziomej górnej i dolnej oraz jednej pionowej, natomiast druga z krawędzi pionowych pozostawała zawsze niezamocowana, a przestrzeń pomiędzy słupem i konstrukcją mocującą wypełniona była w tym miejscu wełną mineralną. W każdym przypadku konstrukcja mocująca została wykonana z bloczków z betonu komórkowego o grubości 240 mm i gęstości ok. 600 kg/m<sup>3</sup>. Szkielet konstrukcyjny wszystkich ścian wykonany był z takich samych profili aluminiowych (ze stopu aluminium EN-AW 6060 T66 zgodnie z PN-EN 573-3 i PN-EN 515). Słupy oraz rygle ściany stanowiły aluminiowe profile trzyko-

morowe o wymiarach 46 × 80,0 mm (szerokość × głębokość), wykonane z dwóch kształtowników aluminiowych połączonych przekładką z poliamidu zbrojonego włóknem szklanym. Środkowa komora utworzonych w ten sposób profili wypełniona została wkładem izolacyjnym wykonanym ze specjalnej glino-krzemianowej płyty ogniochronnej. Dodatkowo do profili wszystkich badanych ścian (z wyjątkiem pierwszej) zamocowane były obustronnie profile wzmacniające słupy (kształtowniki aluminiowe o wymiarach 32,0 × 47,7 × 3,0 mm (szerokość × głębokość × grubość ścianki profilu)). Wzmocnienia zamontowano do słupów środkowych oraz słupa znajdującego się na krawędzi niezamocowanej. Przekroje słupów pokazano na rysunku 2.



Rys. 1. Schematy konstrukcyjne elementów próbnych (M1 – słup na krawędzi zamocowanej przedstawiony na rysunku 2)

Fig. 1. Structural diagrams of the trial elements (M1 – mullion on fixed edge shown in fig. 2)



Rys. 2. Przekrój słupa: a) z wzmocnieniami; b) bez wzmocnień; 1 – przeszklenie; 2 – uszczelka przyszybowa; 3 – listwa przyszybowa; 4 – kątownik mocujący przeszklenie; 5 – podkładka podszybowa; 6 – uszczelka pęczniająca; 7 – kształtownik aluminiowy; 8 – wkład izolacyjny; 9 – przekładka termiczna; 10 – taśma filcowa; 11 – profil wzmacniający; 12 – listwa maskująca

Fig. 2. Mullion cross-section: a) with reinforcements; b) without reinforcements; 1 – glazing; 2 – glazing gasket; 3 – glazing bead; 4 – glazing fixing angle; 5 – glazing bead; 6 – intumescent gasket; 7 – aluminium section; 8 – insulation insert; 9 – thermal break; 10 – felt tape; 11 – reinforcement profile; 12 – masking strip

W każdej ze ścian zastosowano takie same przeszklenia ogniochronne o grubości 20 mm, składające się z dwóch warstw specjalnego żelu o grubości 3 mm, wewnętrznej szyby TVG o grubości 4 mm oraz szyb zewnętrznych ESG o grubości 5 mm każda. Po obwodzie przeszklenia przyklejono do profili

specjalne uszczelki pęczniące. Widok nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych w trakcie badania przedstawiono na fotografii 1, a na fotografiach 2 i 3 widok ściany od strony nagrzewanej.

Elementy próbne nagrzewane były zgodnie ze standardową krzywą temperatura – czas określoną wzorem:

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

gdzie:

T – średnia temperatura w piecu [K];

t – czas w minutach [min].

Wykres nagrzewania poszczególnych elementów próbnych przedstawiono na rysunku 3.



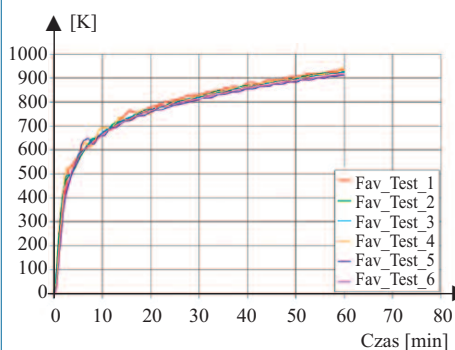
Fot. 2. Widok ściany od strony nagrzewanej po badaniu odporności ogniowej  
Photo 2. View of the wall from the heated side after the fire resistance test



Fot. 1. Widok nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych w trakcie badania: a) nr 1; b) nr 2; c) nr 3; d) nr 4; e) nr 5; f) nr 6  
Photo 1. View of the unheated surface of the test pieces during the test: a) no. 1; b) no. 2; c) no. 3; d) no. 4; e) no. 5; f) no. 6



Fot. 3. Widok ściany od strony nagrzewanej po badaniu odporności ogniowej – detale  
 Photo 3. View of the wall from the heated side after fire resistance testing – details

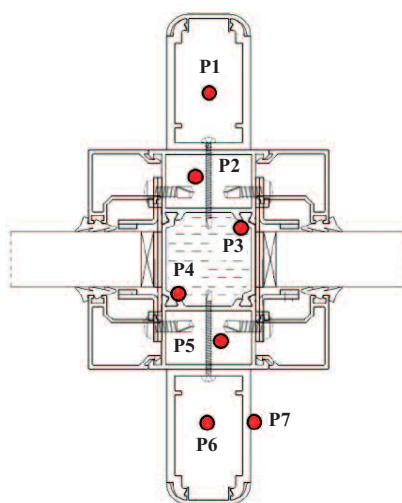


Rys. 3. Przyrost temperatury w piecu podczas badań  
 Fig. 3. Temperature rise in the furnace during the individual tests

Podczas badań prowadzony był pomiar temperatury wewnątrz profili słupów za pomocą termoelementów płaszczyznych typu K wg normy EN 60584-1, które zapewniały pomiar z dokładnością  $\pm 4$  K. Termopary umieszczono każdorazowo w środku wysokości słupa (na wysokości odpowiednio w przypadku próbek: nr 1 i 2 – 1500 mm; nr 3 – 1800; nr 4 – 2238 mm; nr 5 – 2625 mm oraz nr 6 – 2977 mm). Miejsca, w których prowadzono pomiar, przedstawiono na rysunku 4, przy czym z przyczyn technicznych nie zawsze możliwe było umieszczenie termoelementów w danym punkcie pomiarowym. Dodatkowo w środku wysokości każdego ze słupów przeprowadzony został pomiar ugięcia.

### Wyniki badań

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury w słupach skrajnych (oznaczonych jako M1 i M4). Wyniki w przypadku każdego ze słupów, pomimo iż nagrzewane były w podobny sposób (osłonięte z jednej strony ścianą), zestawione zostały osobno ze



● termoelementy  
 Rys. 4. Miejsca pomiaru temperatury wewnątrz i na zewnątrz profili. Nagrzewanie od strony punktu pomiarowego P1  
 Fig. 4. Temperature measuring points inside and outside the profiles. Heating from measuring point P1

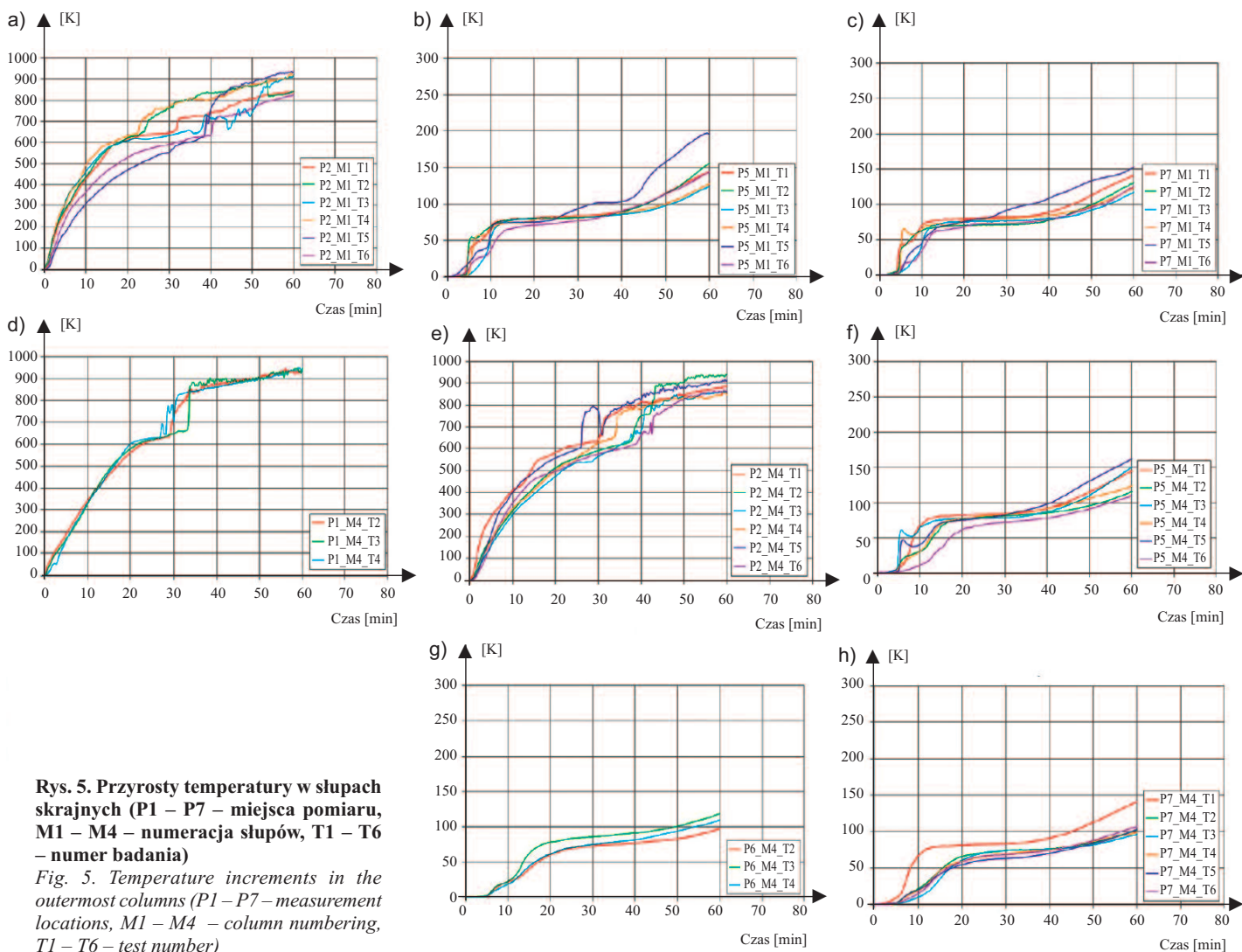
względem na zamocowanie (słup M4 umieszczony był na krawędzi swobodnej). Rysunek 6 pokazuje wyniki pomiarów w słupach środkowych (oznaczonych jako M2 i M3) – wyniki zestawiono razem, ponieważ słupy nagrzewane były w taki sam sposób (działanie ognia na całą powierzchnię nagrzewaną, która w przeciwieństwie do słupów M1 i M4 nie była z żadnej strony osłonięta; w przypadku słupa M1 z jednej strony występowała ściana z bloczków z betonu komórkowego, a w przypadku słupa M4 wełna mineralna).

Porównanie średnich przyrostów temperatury w danym słupie w określonym punkcie przedstawia rysunek 7, a rysunek 8 średni przyrost temperatury w danym słupie w odniesieniu do temperatury wewnątrz pieca oraz różnice pomiędzy temperaturą w piecu a temperaturą

w danym punkcie pomiarowym. Na rysunku 9 widać ugięcie każdego ze słupów w miejscu, w którym prowadzone były pomiary temperatury (środek wysokości słupa).

### Podsumowanie

Analizując wyniki badań, można zaobserwować, jak w czasie oddziaływania wysokiej temperatury profile aluminiowe ulegają stopniowej degradacji. Stopy aluminium topią się w temperaturze 600 – 650°C, a w temperaturze 200 – 250°C konstrukcje z nich wykonane tracą ok. 50% nośności [18]. Stwierdzić można zatem, że wewnętrzne kształtowniki profilu aluminiowego (związane z miejscem pomiaru P1 oraz P2) dosyć szybko przestają mieć jakiegokolwiek właściwości nośne, a cała konstrukcja opiera się tylko i wyłącznie na kształtownikach zewnętrznych. Temperatura wyższa niż 250°C osiągnięta zostaje zarówno w przypadku słupów skrajnych, jak i środkowych pomiędzy 4 a 5 minutą badania, a ok. 18 minutę badania w przypadku słupów wewnętrznych (M2 i M3) oraz 30 minutę w przypadku słupa na krawędzi swobodnej (M4). Temperatura wewnątrz komory utworzonej przez kształtownik wzmacniający (punkt pomiarowy P1) jest już na tyle zbliżona do temperatury wewnątrz pieca, że można uznać, iż kształtownik wzmacniający uległ całkowitemu wytopieniu. To samo dzieje się z wewnętrznym kształtownikiem profilu głównego (punkt pomiarowy P2) odpowiednio w 22 minucie w przypadku słupów środkowych (M2 i M3) i w 40 minucie w przypadku słupów skrajnych (M1 i M4). Po podanym czasie (w punktach P1 i P2) można zauważyć także zwiększenie rozbieżności po-



**Rys. 5. Przyrosty temperatury w słupach skrajnych (P1 – P7 – miejsca pomiaru, M1 – M4 – numeracja słupów, T1 – T6 – numer badania)**

*Fig. 5. Temperature increments in the outermost columns (P1 – P7 – measurement locations, M1 – M4 – column numbering, T1 – T6 – test number)*

między uzyskanymi wynikami badań, co jest spowodowane wysunięciem się termopary z punktu pomiarowego i jej swobodnym przemieszczaniem po przestrzeni komory pieca.

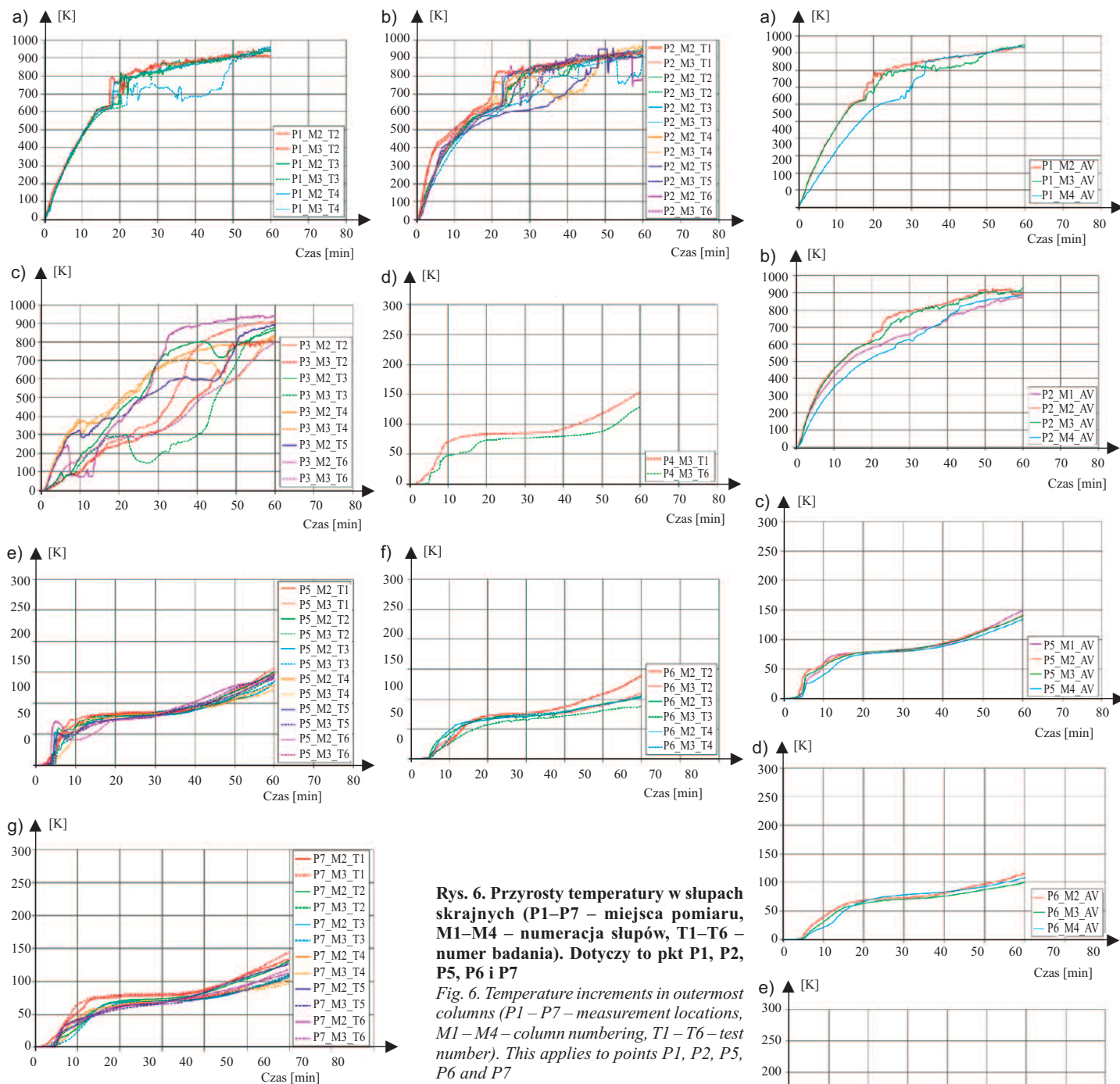
Ciekawe zjawisko zaobserwowano w punkcie pomiarowym P3. Temperatura w tym miejscu, pomimo zbliżonego przebiegu, znacznie się różni. Było to być może związane z oddziaływaniem na termoparę procesów zachodzących w profilu izolacyjnym, a w późniejszej fazie badania związanych z pęcznieniem uszczelnień umieszczonych po obwodzie szyb oraz wydzieleniem się z przeszkleń ogniochronnego żel. Wyjaśnienia tego zjawiska nie udało się jednoznacznie uzyskać na tym etapie prac badawczych. Warto również zauważyć, że wysokość ściany nie miała wpływu na temperaturę panującą wewnątrz pro-

fili. Z tą temperaturą ściśle powiązane jest ugięcie słupów. Szczyt deformacji w początkowej fazie badania wynika z efektu bimetalicznego. Efekt ten wyraźnie słabnie przed 10 minutą badania, a dodatkowo topnienie kształowników aluminiowych po stronie nagrzewanej sprawia, że ugięcie ulega zmniejszeniu. Następnie, ze względu na dalszą degradację materiałów oraz stopniową utratę właściwości nośnych profili zewnętrznych, ponownie zwiększa się ugięcie profili słupów wewnętrznych (M2 i M3), ale już nie w tak gwałtownym tempie jak w początkowej fazie badania. Ugięcie profili słupów skrajnych (M1 i M4), których degradacja następuje w wolniejszym tempie ze względu na ich częściowe osłonięcie ścianą, do końca badania utrzymuje się na stałym poziomie.

W kontekście wpływu wysokości przeszklonej aluminiowej ściany działowej na jej odporność ogniową informacje uzyskane z pomiarów wewnątrz profili są bardzo istotne, ponieważ na ich podstawie możliwe jest szacowanie zmiany sztywności profili w czasie.

#### Literatura

- [1] Thomas G. Thermal properties of gypsum plasterboard at high temperatures. *Fire Mater.* 2002; 26 (1): 37 – 45.
- [2] Roszkowski P, Sulik P, Sędlak B. Fire resistance of timber stud walls. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW For. Wood Technol.* 2015; 92: 368 – 372.
- [3] Ghazi Wakili K, Hugi E, Karvonen L, Schnewlin P, Winnefeld F. Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire. *Cem. Concr. Compos.* 2015; 62: 52 – 58.
- [4] Narayanan N, Ramamurthy K. Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cem. Concr. Compos.* 2000; 22 (5): 321 – 329.



**Rys. 6. Przyrosty temperatury w słupach skrajnych (P1–P7 – miejsca pomiaru, M1–M4 – numeracja słupów, T1–T6 – numer badania). Dotyczy to pkt P1, P2, P5, P6 i P7**

*Fig. 6. Temperature increments in outermost columns (P1 – P7 – measurement locations, M1 – M4 – column numbering, T1 – T6 – test number). This applies to points P1, P2, P5, P6 and P7*

[5] Nguyen T-D, Meftah F, Chammas R, Mebaraki A. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks, Fire Saf. J., May 2009; 44 (4): 629 – 641.

[6] Davies JM. Lightweight sandwich construction. John Wiley & Sons, 2008.

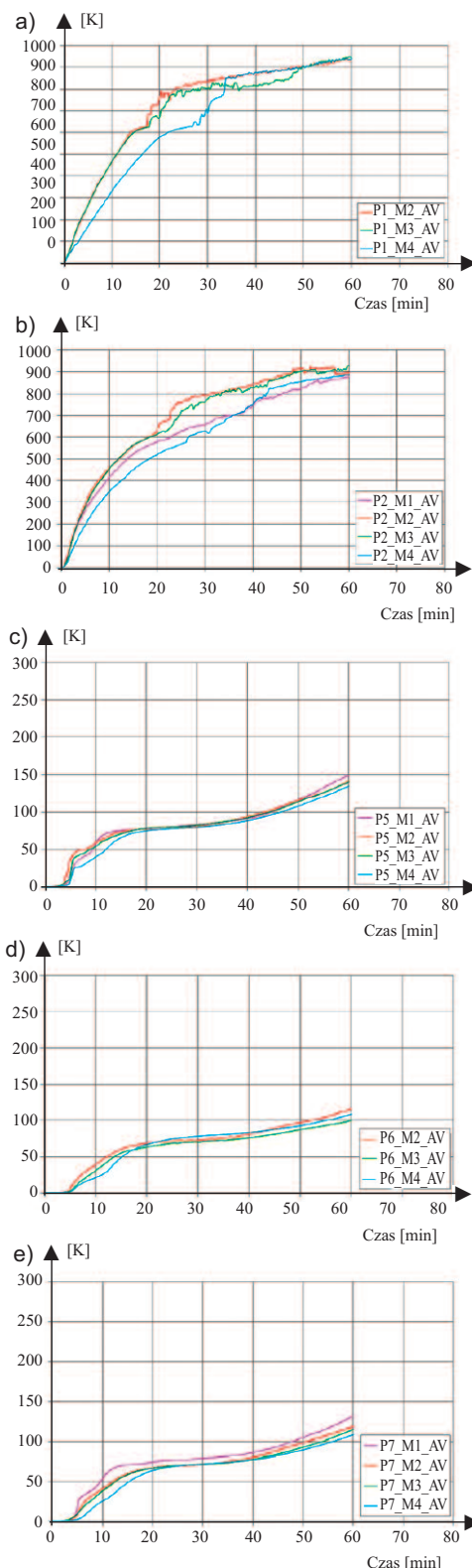
[7] Looyeh MRE, Rados K, Bettess P. Thermochemical responses of sandwich panels to fire. Finite Elem. Anal. Des. 2001; 37 (11): 913 – 927.

[8] Borowy A. Fire Resistance Testing of Glazed Building Elements, in Pożarni Ochrona 2014. 2014; 15 – 17.

[9] Manzello SL, Gann RG, S. Kukuck SR, Prasad KR, Jones WW. An Experimental Determination of a Real Fire Performance of a Non-Load Bearing Glass Wall Assembly. Fire Technol. 2007; 43 (1): 77 – 89.

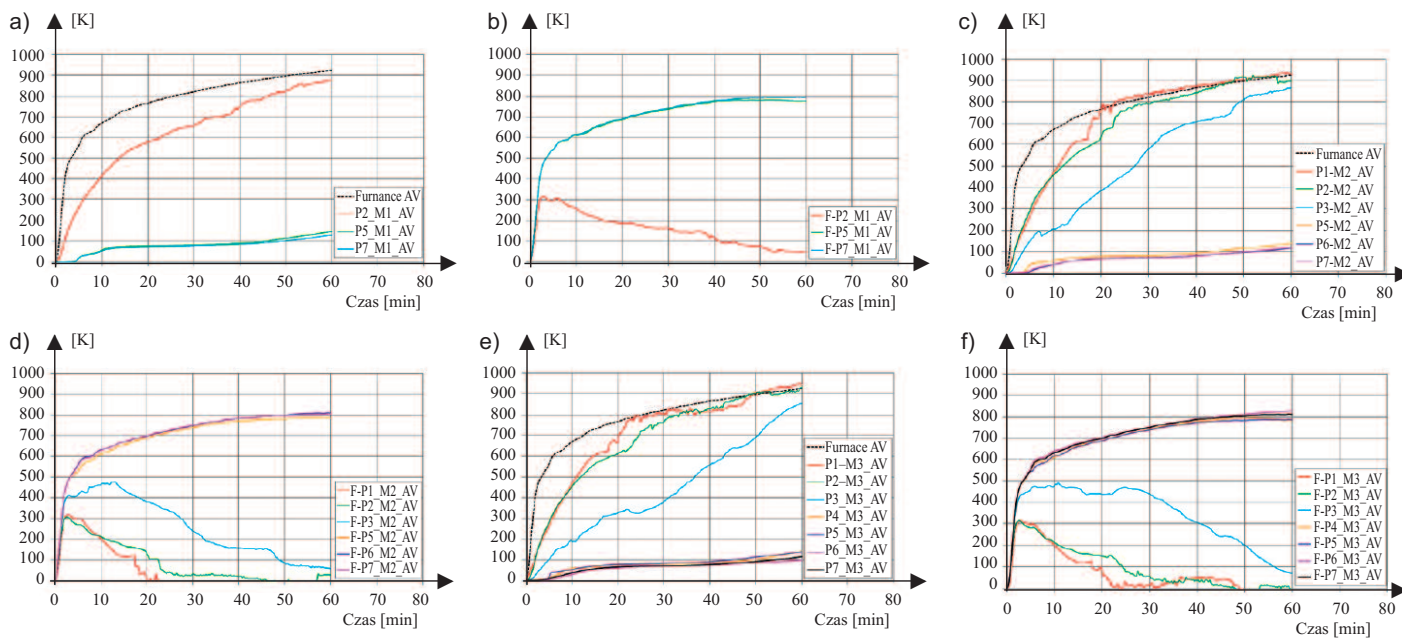
[10] Sędlak B, Roszkowski P, Sulik P. Fire insulation of aluminum glazed partitions depending on the infill solution of framework profiles. Civ. Environ. Eng. Reports. 2017; 26 (3): 91 – 107.

[11] Sędlak B, Izydorczyk D, Sulik P. Fire Resistance of timber glazed partitions. Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW For. Wood Technol. 2014; 85: 221 – 225.



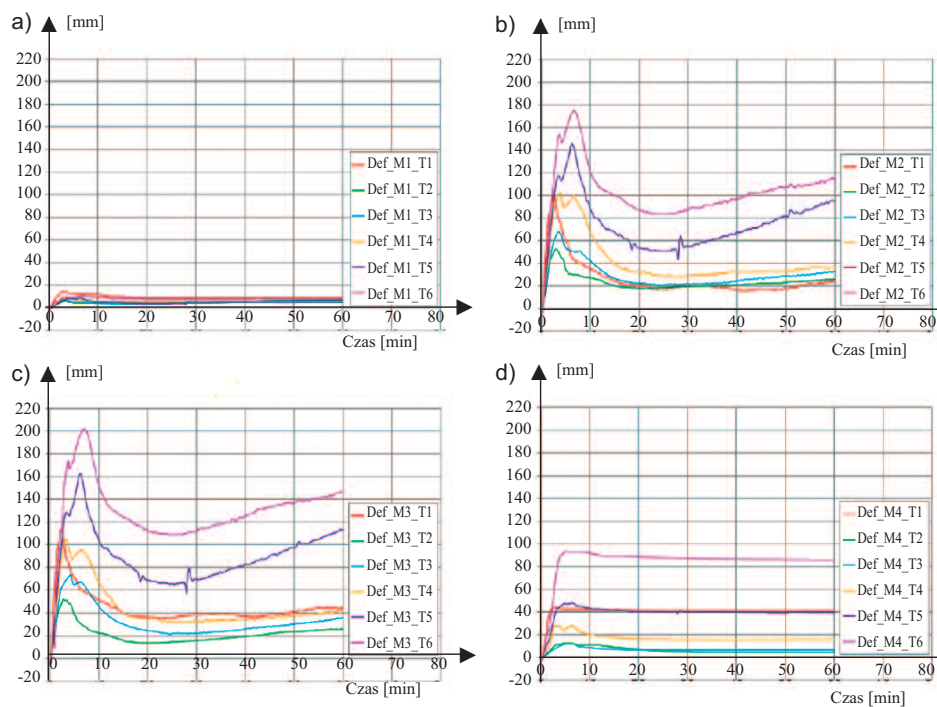
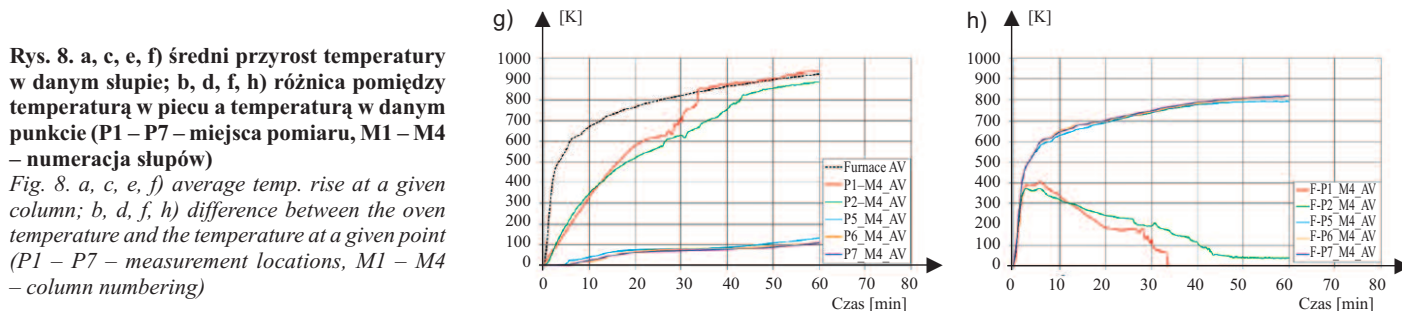
**Rys. 7. Porównanie średnich przyrostów temperatury w danym słupie w określonym punkcie (P1 – P7 – miejsca pomiaru, M1 – M4 – numeracja słupów)**

*Fig. 7. Comparison of average temperature increments in a given pole at a specific point (P1 – P7 – measurement locations, M1 – M4 – pole numbering)*



Rys. 8. a, c, e, f) średni przyrost temperatury w danym słupie; b, d, f, h) różnica pomiędzy temperaturą w piecu a temperaturą w danym punkcie (P1 – P7 – miejsca pomiaru, M1 – M4 – numeracja słupów)

Fig. 8. a, c, e, f) average temp. rise at a given column; b, d, f, h) difference between the oven temperature and the temperature at a given point (P1 – P7 – measurement locations, M1 – M4 – column numbering)



Rys. 9. Ugięcie zmierzone w środku wysokości danego słupa (M1–M4 – numeracja słupów, T1 – T6 – numer badania)

Fig. 9. Deformation measured in the middle height of given column (M1 – M4 – column numbering, T1 – T6 – test numbering)

[12] Wu M, Chow WK, Ni X. Characterization and thermal degradation of protective layers in high-rating fire-resistant glass. *Fire Mater.* 2015; 39 (1): 26 – 40.

[13] Zhan Y, Xia Z, Xin W, L. Hai-lun L. Application and Integrity Evaluation of Monolithic Fire-resistant Glass. *Procedia Eng.* 2011; 11: 603 – 607.

[14] Burmistrov I, Vikulova M, Panova L, Yudinseva T. Development of acrylate-based polymeric layers for fireproof laminated glass. 2017; p. 020003.

[15] Laufs W, Luible A. Introduction on use of glass in modern buildings. *Rapp. N° ICOM 462*, no. January, 2003.

[16] Sędlak B, Sulik P, Roszkowski P. Fire resistance tests of aluminium glazed partitions with timber insulation inserts. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW For. Wood Technol.* 2015; 92: 395 – 398.

[17] Węgrzynski W, Sulik P. The philosophy of fire safety engineering in the shaping of civil engineering development. *Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci.* 2016; 64 (4): 719 – 730.

[18] Skejić D, Čurković I, Rukavina MJ. Behaviour of aluminium structures in fire, A review. *Appl. Struct. Fire Eng.* 2016, no. October.

Przyjęto do druku: 08.11.2023 r.