

dr inż. Bartłomiej Sędlak¹⁾
 ORCID: 0000-0002-4715-6438
 mgr inż. Jacek Kinowski¹⁾
 ORCID: 0000-0001-6591-7889
 dr inż. Paweł Sulik^{1)*}
 ORCID: 0000-0001-8050-8194

Wpływ rodzaju zastosowanej ramki w szybie zespolonej na odporność ogniową przegrody przeszklonej

The influence of the type of frame used in the insulating glass unit on the fire resistance of the glazed partition

DOI: 10.15199/33.2024.03.10

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie wpływu zmiany materiału, z jakiego wykonuje się ramki międzyszybowe w przeciwpożarowych szymbach zespolonych, na zachowanie całego zestawu w przypadku pożaru w świetle wymagań dotyczących odporności ogniowej. W ramach pracy wykonano 2 badania, w których sprawdzono 6 elementów próbných wypełnionych szymbami zespolonymi o podobnej budowie, różniących się materiałem oraz wymiarami ramki międzyszybowej. Przeprowadzono badanie ramek wykonanych ze stali, aluminium oraz z tworzywa sztucznego. W każdym przypadku sprawdzone zostały ramki o grubości 12 i 18 mm. Wszystkie przebadane próbki zachowały szczelność oraz izolacyjność ogniową w całym cyklu badań. Artykuł zawiera analizę i porównanie uzyskanych wyników. Stwierdzono, że zmiana materiału ramek międzyszybowych w przeciwpożarowych szymbach zespolonych nie ma istotnego wpływu na rezultat badań.

Słowa kluczowe: szyby ognioodporne; szyby zespolone; odporność ogniowa; izolacyjność ogniowa; szczelność ogniowa; bezpieczeństwo pożarowe.

Abstract. The aim of the study was to investigate the impact of changing the material from which inter frames of insulating glazed units in fire-resistant partitions are made on the behavior of the entire set in the event of a fire in the light of fire resistance requirements. Two tests on six test specimens filled with insulated glazed units of a similar structure, with the difference being the material of the inter-pane frame and its thickness were carried out. The tests were conducted for frames made of steel, aluminium and plastic. For each material thickness of tested frame was 12 and 18 mm. All of the tested samples maintained their integrity and thermal insulation over the full test distance. The work contains an analysis and comparison of the obtained results. The observations stated that changes in the construction of fire-resistant inter-pane frames of insulated glazed units, if the technical solutions described in the content are used, do not have a significant impact on the test results.

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

W ostatnich latach, w odpowiedzi na postępujący wzrost wymagań dotyczących minimalnej izolacyjności termicznej, segment zespolonych szymb przeciwpożarowych zmieniał się dynamicznie. Potrzeby rozwoju potęgowały przede wszystkim rosnące ceny energii oraz niestabilna sytuacja na rynku surowców. Producenci szymb zmuszeni potrzebą poszukiwania nowych rozwiązań zaczęli w przyspieszonym tempie wdrażać nowe pomysły i technologie. Pewnym novum stały się modyfikacje w przestrzeni międzyszybowej, czyli poszukiwania optymalnego materiału do wykonania ramek w szymbach zespolonych jedno- i dwukomorowych (a w przyszłości prawdopodobnie

i 3-komorowych). Stosowane obecnie powszechnie w Europie procedury badawcze w minimalnym stopniu pomagają producentom w ocenie potencjalnego wpływu zmiany sposobu łączenia szklanych tafli na zachowanie elementów zawierających tego rodzaju przeszklania. Brak jednoznacznych wytycznych powoduje konieczność badania każdej możliwej konfiguracji, co znacznie zwiększa koszty ponoszone przez producentów w celu wprowadzenia najpopularniejszych na rynku produktów przeciwpożarowych, takich jak drzwi, okna oraz ściany, zarówno działowe, jak i fasady.

Brak wytycznych dotyczących zastosowania wyników badań może być spowodowany tym, że pomimo iż produkty tego typu występują na rynku już od jakiegoś czasu, to jednak wiedza na temat ich zachowania w warunkach

ogniowych jest jeszcze znikoma. W dostępnej literaturze brakuje publikacji poruszających bezpośrednio zagadnienia związane z wpływem materiału ramki zastosowanej w szybie zespolonej na zachowanie całego zestawu, w którym jest ona zamocowana. Istnieje natomiast wiele publikacji pokrewnych, w których zawarte są informacje dotyczące podstawowej wiedzy związanej z przeszkleniami ognioodpornymi. Odnaleźć można prace dotyczące procedur badawczych stosowanych do określenia klasy odporności ogniowej danych przegród przeszklonych, sposobu ich klasyfikacji oraz przepisów prawa związanych z elementami tego typu, m.in. [1, 2], jak również publikacje opisujące rodzaje szkła stosowanego w przegrodach przeciwpożarowych, m.in. [3, 4]. Istnieje także wiele artykułów [6 – 18] poświęconych zachowaniu się przeszkleń

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych

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

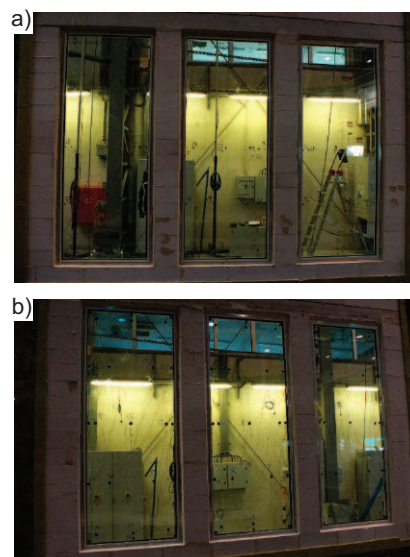
w warunkach pożaru. Większość z nich skupia się na przeszkleniach stanowiących wypełnienie zewnętrznych przegród. W przypadku wystąpienia pożaru szyby w fasadach mogą pękać i wypadać bardzo łatwo pod wpływem oddziaływania ognia. Powstały w wyniku pęknięcia szkła wlot świeżego powietrza oraz wyrzucenie płomieni na zewnątrz powoduje przyspieszenie rozwoju pożaru zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budynku. Zachowanie termiczne szklanej elewacji ma zatem ogromny wpływ na rozprzestrzenianie się ognia, szczególnie w budynkach wysokich i wysokościowych. Jedną z najstarszych publikacji, podkreślających wielką rolę zachowania szkła w warunkach pożaru oraz jego pęknięcia pod wpływem temperatury, opracowana została w 1986 r. [5]. W następnych latach przeprowadzono wiele różnych testów w celu zbadania mechanizmu uszkodzenia szyb w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury oraz konsekwencji związanych z tym uszkodzeniem [6 – 18], np. w [15] wyznaczono teoretyczną krytyczną różnicę temperatury wynoszącą 80°C. W publikacji [14] przedstawiono wyniki badań szkła typu float oraz szkła wzmocnionego drucianą siatką. Autorzy publikacji [12, 13] przeprowadzili eksperymenty w pełnej skali, w specjalnie wykonanym pomieszczeniu, w celu zbadania różnicy w zachowaniu pojedynczego przeszklenia w przypadku różnych miejsc położenia źródła pożaru. W pracach [10, 11] zaprezentowane zostało specjalne oprogramowanie umożliwiające przewidzenie czasu pęknięcia pojedynczych szyb w warunkach pożarowych. Na podstawie tych prac ustalono, że przekroczenie wewnętrznego naprężenia cieplnego wywołanego gradientem temperatury jest zasadniczą przyczyną powstania pęknięć nagrzewanych przeszkleń. W publikacji [8] wykorzystano dane eksperymentalne do weryfikacji modeli termomechanicznych oraz wymiany ciepła, wykonanych przy użyciu oprogramowania ABAQUS. Przeprowadzono dwa badania laminowanych przeszkleń ogrzewanych aż do ich rozbicia. W obu przypadkach źródłem ognia był kwadratowy basen o wymiarach 500 × 500 mm zasilany N-heptanem, przy czym w doświadcz-

niach zastosowano różną ilość tego paliwa. Modele wymiany ciepła opracowane przez oprogramowanie komputerowe zweryfikowano na podstawie zarejestrowanej temperatury na nienagrzewanej powierzchni przeszklenia. W pracy [6] zweryfikowane zostało zachowanie dziewięciu różnych szyb monolitycznych oraz laminowanych poddanych nagrzewaniu przez promieniowanie wytworzone przez specjalny panel grzewczy. Publikacja [18] dotyczyła natomiast tego, co dzieje się już po samym pęknięciu przeszklenia i jakie niesie to za sobą ryzyko dla ludzi ewakuujących się z danego obiektu oraz ekip prowadzących działania ratownicze. Do prac związanych z zachowaniem szyb w warunkach pożaru zaliczyć należy także publikacje [19 – 22], których celem była weryfikacja zachowania szyb poddanych jednocześnie oddziaływaniu ognia symulującego pożar oraz wody służącej do jego ugaszenia, pochodzącej z instalacji tryskaczowej. Jak już wspomniano, wśród dostępnej literatury brakuje natomiast opracowań opisujących wpływ budowy oraz materiałów stosowanych w szybach zespolonych na odporność ogniową przegrody. W związku z tym przeprowadzono badania sześciu elementów próbnych z wypełnieniem szybami zespolonymi o podobnej budowie z różnicą polegającą na materiale oraz wymiarach ramki międzyszybowej. Uzyskane wyniki zaprezentowano w artykule.

Materiały i metody badań

Przeprowadzono badania odporności ogniowej sześciu elementów próbnych nieotwieralnych okien z trzema różnymi typami ramek, zespalających szyby ognioochronne, o deklarowanej klasie odporności ogniowej EI 30 z szybami laminowanymi VSG 44.2. Zastosowano ramki stalowe, aluminiowe oraz wykonane z tworzywa sztucznego. W każdym przypadku przebadano konfigurację z ramką o grubości 12 mm oraz 18 mm. Przeszklenia zamocowane były w aluminiowych profilach, tworząc przegrody o wymiarach zewnętrznych 1200 × 3000 mm. Wszystkie badane elementy próbne zamontowane były w ta-

ki sposób, że szyby VSG znajdowały się po stronie nagrzewanej. Widok elementów próbnych przed badaniem przedstawiono na fotografii 1.



Fot. 1. Nagrzewana powierzchnia elementów próbnych przed badaniem odporności ogniowej: a) szyby zespolone z ramką 12 mm; b) szyby zespolone z ramką 18 mm

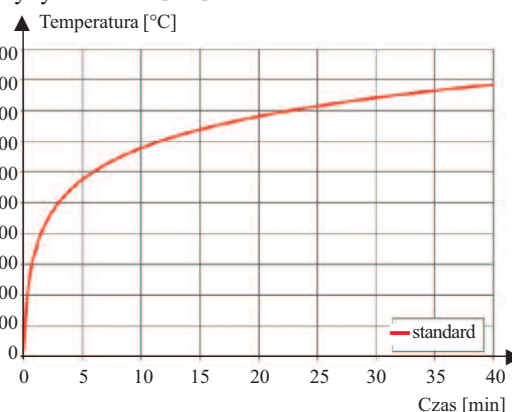
Photo. 1. Heated surface of the test pieces prior to fire resistance testing: a) double-glazed units with a 12 mm frame; b) double-glazed units with an 18 mm frame

Elementy próbne nagrzewane były w piecu badawczym wg standardowej krzywej temperatura-czas, określonej wzorem (1), odzwierciedlającej w pełni rozwinięty pożar wewnątrz budynku. Wykres nagrzewania przedstawiono na rysunku 1.

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

gdzie:

T – średnia temperatura w piecu [°C];
t – czas [min].



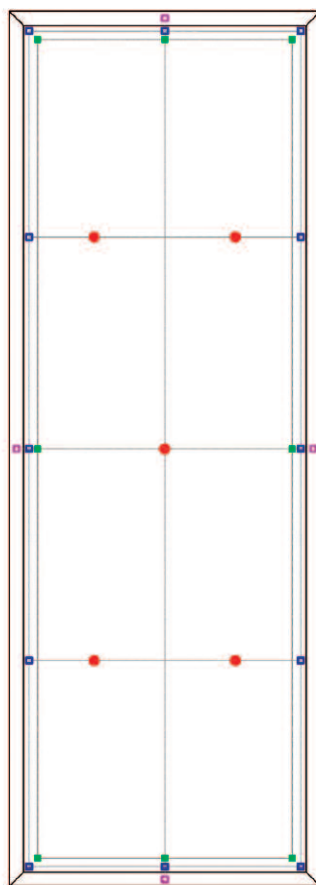
Rys. 1. Wykres nagrzewania elementów próbnych
Fig. 1. Diagram of the heating of the test elements

Podczas badania weryfikowana była szczelność ogniową oraz przyrost temperatury w różnych miejscach nienagrzewanej powierzchni i wewnątrz elementów próbnych. Szczelność ogniową weryfikowano wizualnie oraz przy użyciu tamponu bawełnianego i szczelinomierzy. Utrata szczelności ogniowej następuje po pojawieniu się płomienia trwającego dłużej niż 10 s na nienagrzewanej powierzchni, w momencie gdy przyłożony do powierzchni elementu próbnego tampon bawełniany ulegnie zapłonowi oraz gdy możliwa jest punktowa penetracja elementu próbnego szczelinomierzem o średnicy 25 mm lub penetracja na długości większej niż 100 mm szczelinomierzem o średnicy 6 mm. Miejsca pomiaru temperatury przedstawione zostały na rysunku 2, a na fotografiach 2 i 3 widok nienagrzewanych powierzchni elementów próbnych w trakcie badania.

Wyniki badań i ich analiza

Wszystkie elementy próbne zachowały szczelność oraz izolacyjność ogniową przez całe badanie trwające 40 min. Na rysunku 3 przedstawiono średni przyrost temperatury w każdym miejscu pomiarowym (powierzchnia przeszklenia, 100 mm od krawędzi profilu, 20 mm od krawędzi profilu oraz profile ramy), a na rysunku 4 średni przyrost temperatury zmierzonej wewnątrz elementu próbnego, na ramce zespalającej przeszklenia. W tabeli 1 zestawiono wartości średniego przyrostu temperatury w danym miejscu pomiarowym w 30. minucie badania (czas odporności ogniowej deklarowany dla szyby ogniowej).

Analizując uzyskane wyniki, stwierdzono, że wpływ zastosowanej ramki zespalającej przeszklenia w szybie zespolonej na szczelność ogniową oraz izolacyjność ogniową przegrody, w której zamontowano szybę, jest niewielki w przypadku zastosowanych w badaniach, najczęściej spotykanych na rynku rozwiązań. W przypadku ramki stalowej o grubości 12 mm oraz termoelementów umieszczonych na przeszkleniu, w 30. minucie badania najniższą temperaturę zarejestrowano na nienagrzewanej powierzchni szyby zespolonej tą ramką, natomiast najwyższą na profilu. Z kolei w przypadku ramki sta-



- termoelementy do pomiaru przyrostu temperatury maksymalnej – 20 mm od krawędzi profilu
- termoelementy do pomiaru przyrostu temperatury maksymalnej – 50 mm od krawędzi profilu
- termoelementy do pomiaru przyrostu temperatury średniej i maksymalnej – na przeszkleniu
- termoelementy do pomiaru przyrostu temperatury maksymalnej w 3 miejscach:
 - na profilu 30 mm od krawędzi profilu
 - na listwie przyszybowej, prostopadle do przeszklenia
 - na ramce szyby zespolonej pomiędzy szybą zespoloną i ogniową

Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w zależności od długości zastosowanej izolacji

Fig. 2. Arrangement of measurement points according to the length of insulation used

lowej o grubości 18 mm, temperatura na profilu była najmniejsza. Najniższą temperaturę na powierzchni przeszklenia w omawianym czasie badania osiągnięto w przypadku ramki aluminiowej, a najwyższą ramki stalowej. W odległości 20 mm oraz 100 mm od krawędzi przeszklenia najniższą temperaturę w przypadku ramki grubości 18 mm zarejestrowano w przypadku szyby zespolonej elementem tworzywowym, a najwyższą z zastosowaniem ramki aluminiowej. Różnica pomiędzy minimalną i maksymalną wartością temperatury zarejestrowanej na nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych w przy-

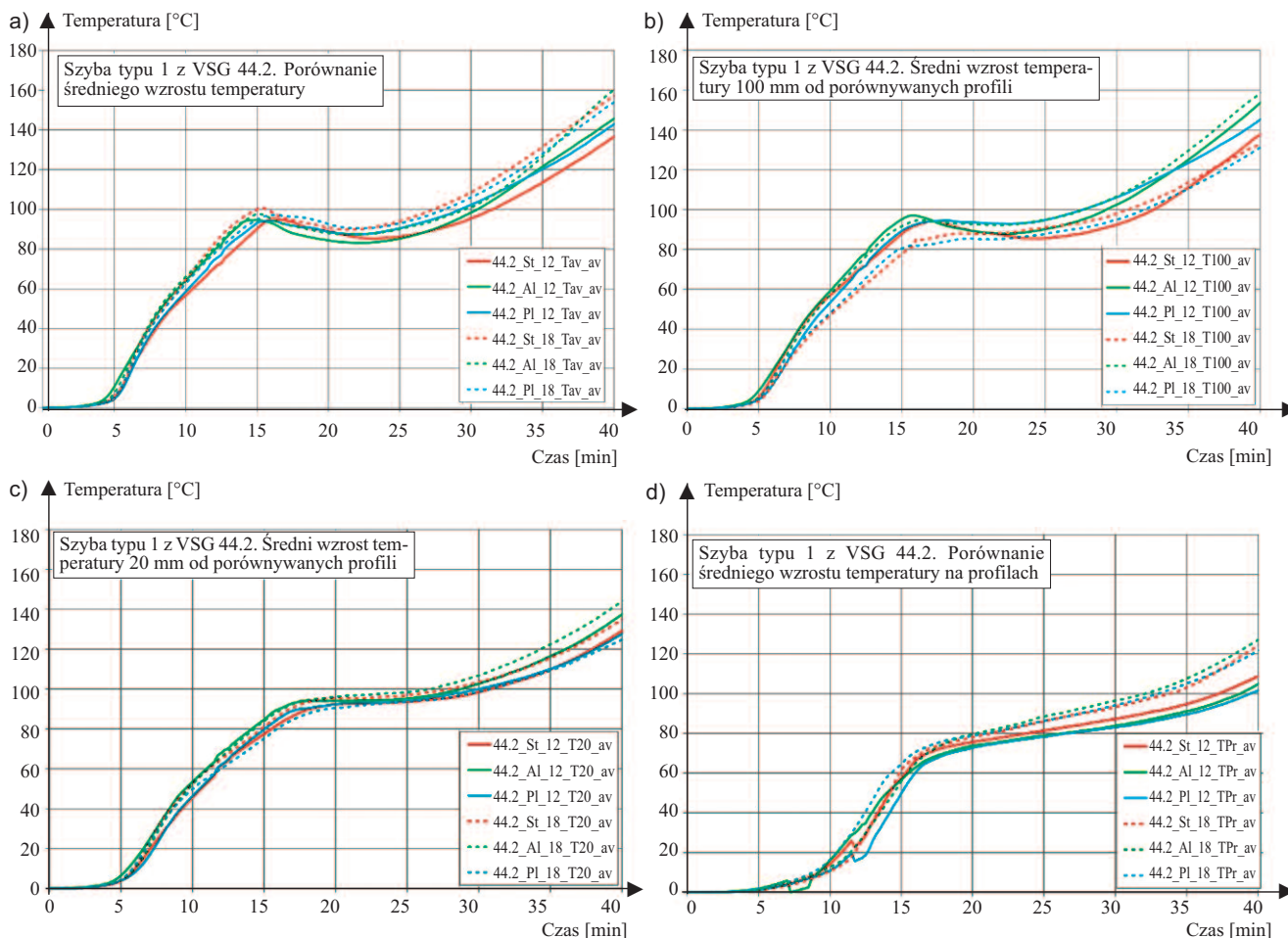


Fot. 2. Szyby zespolone z ramką 12 mm
Photo 2. Double glazing with 12 mm frame



Fot. 3. Szyby zespolone z ramką 18 mm
Photo 3. Double glazing with 18 mm frame

padku obu grubości ramek była niewielka i wynosiła maksymalnie 13,8°C w przypadku ramki 12 mm i pomiaru 100 mm od krawędzi przeszklenia. W każdym przypadku zwiększenie grubości ramki powoduje wzrost temperatury na nienagrzewanej powierzchni obramowania elementu próbnego. Symetryczne ułożenie szyby zespolonej w profilu sprawia, że zwiększenie szerokości ramki zwiększa obszar, na którym nagrzewany jest profil po wypadnięciu przeszklenia bez właściwości ogniowych, co w konsekwencji prowadzi do wyższej temperatury na nienagrzewanej powierzchni elementów prób-



Rys. 3. Średni przyrost temperatury na nienagrzewanej powierzchni elementów próbnych: a) powierzchnia elementu próbnego; b) 100 mm od krawędzi profilu; c) 20 mm od krawędzi profilu; d) profile St – ramka stalowa, Al – ramka aluminiowa, Pl – ramka tworzywowa, 12 – ramka o grubości 12 mm, 18 – ramka o grubości 18 mm

Fig. 3. Average temperature rise on the unheated surface of the test pieces: a) test piece surface; b) 100 mm from profile edge; c) 20 mm from profile edge; d) profiles St – steel frame, Al – aluminium frame, Pl – plastic frame, 12 – 12 mm thick frame, 18 – 18 mm thick frame

nych. Podczas pomiaru prowadzonego wewnątrz najwyższą temperaturę zarejestrowano na ramce aluminiowej, a najniższą na ramce wykonanej z tworzywa sztucznego.

Wnioski

Zaprezentowane wyniki wskazują, że w czasie 30 min badania odporności ogniowej przegród z wypełnieniem w postaci szyb zespolonych, materiał, z jakiego zbudowana jest ramka międzyszybowa, nie ma kluczowego wpływu na zachowanie konstrukcji. Ponadto z badań wynika, że najgorszym z dostępnych na rynku rozwiązań jest ramka aluminiowa – materiał o najwyższym współczynniku przewodzenia ciepła spośród analizowanych rozwiązań. W przypadku, gdyby udało się taką też potwierdzić w kolejnych badaniach, to byłaby to cenna obserwacja pod ką-

tem praktycznego zastosowania wyników analizy. Należy jednak pamiętać, że rozważania dotyczą jedynie szyb przeciwpożarowych oraz jednego typu ramki tworzywowej. Na tym etapie nie można więc uzyskanych wyników odnosić do szyb zespolonych bez określonej klasy odporności ogniowej ani do ramek tworzywowych wykonanych z innego materiału niż zbadany.

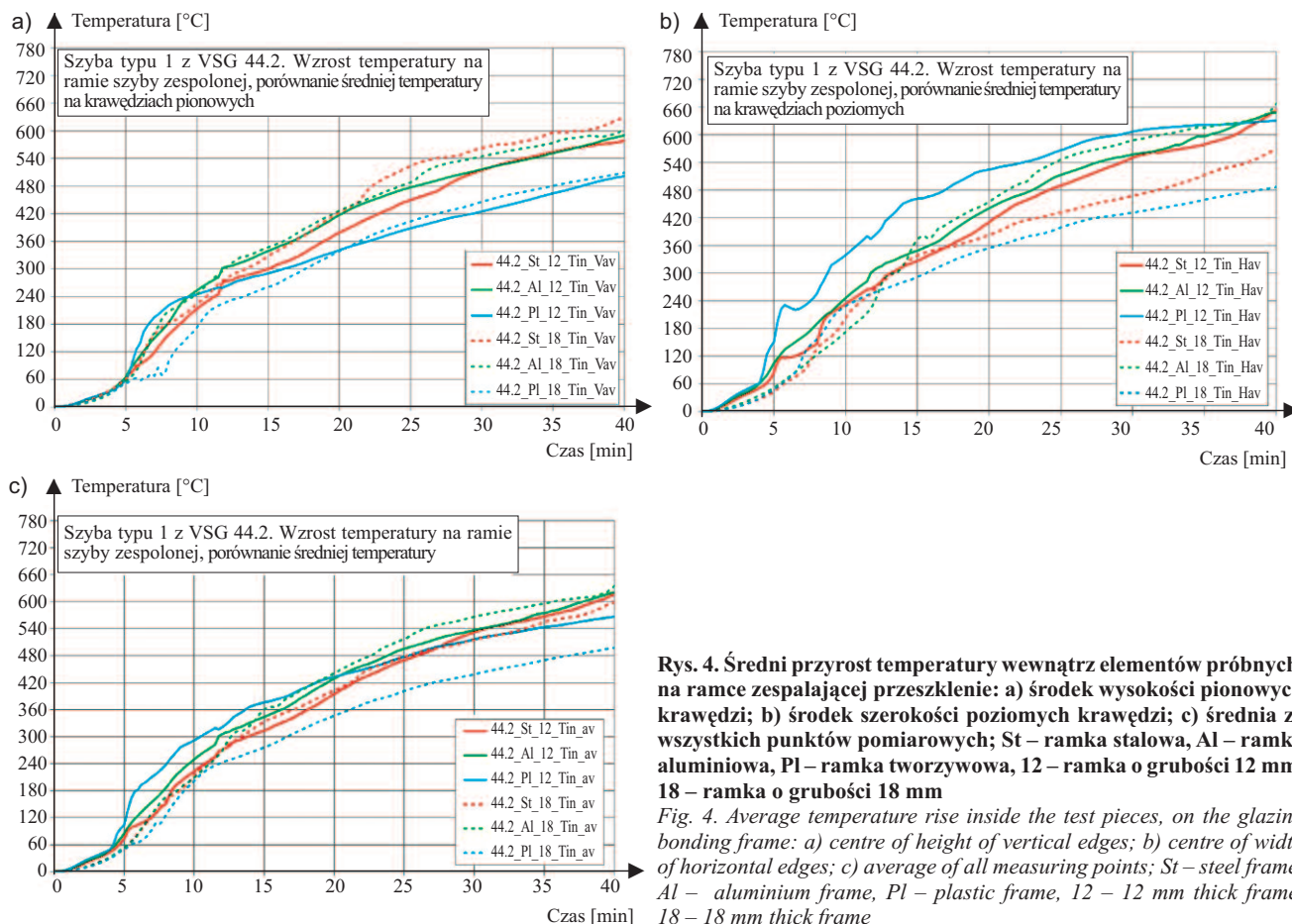
Na podstawie wyników można też zakładać, że uzyskanie pozytywnego wyniku w badaniu konstrukcji z przeszkleciem zespolonym ramką aluminiową oznacza, że konstrukcja o podobnej budowie różniąc się jedynie tym, że materiałem ramki jest stal, powinna również zachować oczekiwaną klasę odporności ogniowej.

Uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ grubości zastosowanej ramki na temperaturę nienagrzewanej po-

wierzchni obramowania badanych elementów. Zwiększenie grubości ramki prowadzi do zwiększenia przyrostu temperatury na profilach, co może mieć kluczowe znaczenie w przypadku wyższych klas odporności ogniowej, kiedy przyrost temperatury na profilach często zbliżony jest do wartości kryterialnej.

Literatura

- [1] Sulik P, Sędlak B. Wybrane aspekty oceny odporności ogniowej przeszklonych elementów oddzielenia przeciwpożarowego. *J. Civ. Eng. Environ. Archit.* 2017; DOI: 10.7862/rb.2017.100.
- [2] Borowy A. Fire Resistance Testing of Glazed Building Elements in Pożarni Ochrona 2014. 2014, pp. 15 – 17.
- [3] Laskowska Z, Borowy A. Szyby w elementach o określonej odporności ogniowej. *Świat Szkła.* 2015; 20(12): 10 – 15.
- [4] Laskowska Z, Borowy A. Szyby zespolone w elementach o określonej odporności ogniowej. *Świat Szkła.* 2016; 21(3): 15 – 20, 28.



Rys. 4. Średni przyrost temperatury wewnątrz elementów próbnych, na ramce zespalającej przeszklenie: a) środek wysokości pionowych krawędzi; b) środek szerokości poziomych krawędzi; c) średnia ze wszystkich punktów pomiarowych; St – ramka stalowa, Al – ramka aluminiowa, Pl – ramka tworzywowa, 12 – ramka o grubości 12 mm, 18 – ramka o grubości 18 mm

Fig. 4. Average temperature rise inside the test pieces, on the glazing bonding frame: a) centre of height of vertical edges; b) centre of width of horizontal edges; c) average of all measuring points; St – steel frame, Al – aluminium frame, Pl – plastic frame, 12 – 12 mm thick frame, 18 – 18 mm thick frame

Średni przyrost temperatury w danym miejscu pomiarowym w 30. minucie badania
The average temperature rise at a given measuring point in the 30th minute of the test

Miejsce pomiarowe	Średni przyrost temperatury w 30. minucie badania [°C], w zależności od zastosowanej ramki					
	stal 12 mm	aluminium 12 mm	tworzywo 12 mm	stal 18 mm	aluminium 18 mm	tworzywo 18 mm
Powierzchnia przeszklenia	95,6	98,4	102,3	108,6	101,0	106,1
100 mm od krawędzi profilu	92,4	102,5	106,2	98,1	106,6	95,0
20 mm od krawędzi profilu	98,5	102,7	100,0	103,4	106,8	98,6
Profil	87,2	83,8	83,1	93,3	96,4	94,0
Ramka	532,5	536,8	516,2	515,5	566,2	438,7

[5] Emmons H. The Needed Fire Science. Fire Saf. Sci. 1986; DOI: 10.3801/IAFSS. FSS. 1-33.
 [6] 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. 2017; DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2016.09.139.
 [7] Wang Y, et al. Fracture behavior of a four-point fixed glass curtain wall under fire conditions. Fire Saf. J. 2014; DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.05.002.
 [8] Wang Y, Hu J. Performance of laminated glazing under fire conditions. Compos. Struct. 2019; DOI: 10.1016/j.compstruct. 2019.110903.
 [9] Wang Y, et al. Experimental study on critical breaking stress of float glass under elevated temperature. Mater. Des. 2014; DOI: 10.1016/j.matdes. 2014.03.038.

[10] Wang Y, Wang Q, Su Y, Sun J, He L, Liew KM. Fracture behavior of framing coated glass curtain walls under fire conditions. Fire Saf. J. 2015; DOI: 10.1016/j.firesaf. 2015.05.002.
 [11] Pagni P, Joshi A. Users Guide to Break, The Berkeley Algorithm for Breaking Window Glass in a Compartment Fire. 1991.
 [12] Shields TJ, Silcock GWH, Flood MF. Performance of a single glazing assembly exposed to enclosure corner fires of increasing severity. Fire Mater. 2001; DOI: 10.1002/fam. 764.
 [13] Shields TJ, Silcock GWH, Flood M. Performance of a single glazing assembly exposed to a fire in the centre of an enclosure. Fire Mater. 2002; DOI: 10.1002/fam. 783.
 [14] Harada K, Enomoto A, Uede K, T. Wakamatsu T. An Experimental Study On Glass Cracking

And Fallout By Radiant Heat Exposure. Fire Saf. Sci. 2000; DOI: 10.3801/IAFSS. FSS. 6-1063.
 [15] Keski-Rahkonen O. Breaking of window glass close to fire. Fire Mater. 1988; DOI: 10.1002/fam. 810120204.
 [16] Babrauskas V. Glass breakage in fires. Fire Sci. Technol. Inc, 2011.
 [17] Pagni P. 2002 Howard W. Emmons Invited Plenary Lecture – Thermal Glass Breakage. Fire Saf. Sci. 2003; DOI: 10.3801/IAFSS. FSS. 7-3.
 [18] Sędkak B, Kinowski J, Sulik P, Kimbar G. The risks associated with falling parts of glazed facades in case of fire. Open Eng. 2018; DOI: 10.1515/eng-2018-0011.
 [19] Shao Q, Li F, Chen T, Sun Z. Heat resistance and water protection effectiveness for large single-pane fireproof glass. J. Cent. South Univ. Technol. 2011; DOI: 10.1007/s11771-011-0961-6.
 [20] Shao G, et al. Maximum temperature to withstand water film for tempered glass exposed to fire. Constr. Build. Mater. 2014; DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2014.01.094.
 [21] Wu C-W, Lin T-H, Lei M, Chung T, Huang C, Chiang W. Fire Test On A Non-heat-resistant Fireproof Glass With Down-flowing Water Film. Fire Saf. Sci. 2005; DOI: 10.3801/IAFSS. FSS. 8-327.
 [22] Wu C-W, Lin T-H. Full-scale evaluations on heat resistance of glass panes incorporated with water film or sprinkler in a room fire. Build. Environ. 2007; DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.08.017.

Przyjęto do druku: 20.02.2024 r.