

dr inż. Bartłomiej Sędlak^{1*)}

ORCID: 0000-0002-8173-3585

mgr inż. Marzena Jakimowicz²⁾

ORCID: 0000-0002-4715-6438

Wpływ cykli otwierania i zamykania na właściwości aluminiowych profilowych przeszklonych drzwi przeciwpożarowych

Influence of closing and opening cycles on the properties of aluminium framed glazed fire door

DOI: 10.15199/33.2024.02.07

Streszczenie. Drzwi przeciwpożarowe pełnią kluczową rolę w spełnieniu wymagań dotyczących bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych. Stanowią one efektywną barierę dla ognia i dymu oraz wysokiej temperatury, dlatego też powinny mieć odpowiednią klasę odporności ogniowej oraz dymoszczelności, a także cechować się zdolnością do samoczynnego zamykania. Zgodnie ze stosowanymi powszechnie w Europie procedurami, każda z wymienionych cech określana jest niezależnie. W warunkach rzeczywistego pożaru może jednak dojść do sytuacji, w której drzwi przeciwpożarowe muszą zadziałać w prawidłowy sposób po wielokrotnych cyklach zamykania i otwierania. W artykule przedstawiono wyniki badań odporności ogniowej przeszklonych drzwi aluminiowych profilowych poddanych wcześniej badaniom cykli zamykania i otwierania. Cykliczne otwieranie i zamykanie drzwi powoduje zwiększenie przepuszczalności powietrza przez element. Może także wpływać na deformację skrzydła drzwiowego w trakcie badania odporności ogniowej, a w efekcie powodować utratę szczelności ogniowej.

Słowa kluczowe: odporność ogniowa; samozamykalność; szczelność ogniowa; izolacyjność ogniowa; przepuszczalność powietrza; trwałość mechaniczna; cykle wielokrotnego otwierania i zamykania.

Abstract. A fire door plays a key role in fulfilling the fire safety requirements of building structures. It is supposed to serve as an effective barrier to fire and smoke, which is why it should have an adequate fire resistance rating, smoke tightness class and it should feature a self-closing function. According to procedures applicable in Europe, each of the features mentioned above is determined independently. In real fire conditions, it might happen that the fire door shall work properly after many closing and opening cycles. This paper presents the results of fire resistance tests on aluminium framed glazed door previously subjected to closing and opening cycles. The numerous closing and opening cycles increase the amount of air migrating through the door. It may also affect the deformation of the door leaf during the fire resistance test. The consequence of which may be loss of fire integrity. However, it cannot be declared unequivocally that subjecting the door to a specific number of closing cycles causes a loss in its fire performance.

Keywords: fire resistance; self-closing; fire integrity; fire insulation; fire doors; air permeability; mechanical durability; repeated opening and closing cycles.

Drzwi przeciwpożarowe pełnią kluczową rolę w spełnieniu wymagań dotyczących bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych. Stosowane są przede wszystkim w budynkach użyteczności publicznej, takich jak galerie handlowe, kina, szkoły czy szpitale, a także w budynkach o dużej wysokości [1 – 3], czy też w budowlach o specjalnym przeznaczeniu, takich jak np. tunele [4]. Ich głównym zadaniem, w przypadku wystąpienia pożaru, jest zapew-

nienie bezpieczeństwa ewakuującym się użytkownikom oraz ekipom prowadzącym akcję ratowniczą. Stanowią one efektywną barierę dla ognia i dymu oraz wysokiej temperatury, dlatego też powinny mieć odpowiednią klasę odporności ogniowej, związaną z izolacyjnością i szczelnością ogniową oraz odpowiednią klasę dymoszczelności. Dodatkowo ze względu na to, że drzwi przeciwpożarowe spełniają swoją funkcję wyłącznie w pozycji zamkniętej, zweryfikowana powinna być także ich zdolność do samoczynnego zamykania. Zgodnie ze stosowanymi powszechnie w Europie procedurami [5], każda z wymienionych cech określana jest niezależnie, ale w warunkach rzeczywistego

pożaru może wystąpić sytuacja, w której drzwi przeciwpożarowe muszą zadziałać w prawidłowy sposób po wielokrotnych cyklach zamykania i otwierania (trwałość użytkowa).

Liczba cykli, jakim poddane są drzwi w normalnym użytkowaniu, zależy od tego, w jakim obiekcie i w jakim miejscu są one wbudowane, ponieważ jest to związane z natężeniem ruchu w budynku (małe, średnie, duże lub bardzo duże), jak również od czasu ich użytkowania. Cykle te z kolei mogą mieć istotny wpływ na właściwości ogniowe drzwi. Należy zatem w tym miejscu postawić pytanie: po jak długim czasie eksploatacji zamontowane drzwi ppoż. i/lub dymoszczelne tracą deklarowany

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych

²⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Inżynierii Elementów Budowlanych

*) Adres do korespondencji: b.sedlak@itb.pl

w chwili ich wbudowania poziom właściwości użytkowych.

Jak już wspomniano, zarówno drzwi dymoszczelne, jak i ognioodporne spełniają swoją funkcję wyłącznie w momencie, gdy znajdują się w pozycji zamkniętej. Dlatego też, w przypadku gdy znajdują się one na drogach ewakuacyjnych, tak istotne jest zapewnienie ich samoczynnego zamknięcia. Funkcje te spełniają sprawnie działający samozamykacz drzwiowy lub sprężyna zainstalowana w zawiasie. Drzwi, które nie spełnią tego warunku, nie powinny być dopuszczone do stosowania. Pytanie jednak, co z danymi drzwiami dzieje się w dalszym cyklu życia obiektu budowlanego. Podczas użytkowania drzwi mogą być narażone nawet na setki tysięcy cykli otwierania i zamykania. Oczywiście większość producentów regularnie konserwuje drzwi narażone na tak częste oddziaływania, ale jednak łatwo wyobrazić sobie sytuację, kiedy do pożaru dochodzi gdzieś pomiędzy konserwacjami. Teoretycznie odpowiedź na pytanie, jak długo drzwi są w stanie funkcjonować bez regulowania, powinno dać badanie ich trwałości użytkowej (cykli zamknięcia i otwarcia) przeprowadzone w odpowiedni sposób oraz sprawdzenie trwałości samoczynnego zamykania. Biorąc pod uwagę, że cecha ta jest sprawdzana niezależnie od odporności ogniowej czy dymoszczelności, niemożliwe jest określenie, czy pożar pomiędzy konserwacjami (o ile będą one wykonane) nie spowoduje znacznie szybszego rozprzestrzenienia się ognia z jednego pomieszczenia do drugiego, niż wynika to z wymagań dotyczących danego obiektu. Kwestia samoczynnego zamknięcia nie jest jednak jedynym problemem związanym z użytkowaniem drzwi przeciwpożarowych. Nawet jeżeli drzwi po wielu tysiącach cykli nadal zamykają się w sposób prawidłowy, to nie możemy mieć pewności, że spełnią wymagania danej klasy odporności ogniowej czy też dymoszczelności. Podczas użytkowania mogą ulegać także innym awariom, które nie doprowadzą do problemów związanych z ich prawidłowym zamknięciem, ale mogą sprawić, że właściwości ogniowe danego zamknięcia otworu zostaną znacznie osłabione. Uszkodzeniu, oprócz elementów zamykających, mogą

ulec również zamki lub zawiasy drzwi. Ponadto może dojść do zwiększenia szczeliny przylgowej i do rozregulowania okuć. Zapadka zamka może więc nie pracować już w prawidłowy sposób i nie ryglować prawidłowo skrzydła w ościeżnicy czy też sąsiedniego skrzydła na takiej głębokości zaczepu jak powinna, co w konsekwencji może spowodować rozszczelnienie krawędzi zamkowej drzwi wskutek oddziaływania ognia oraz podwyższonej temperatury. W przypadku zawiasów, ich rozregulowanie może doprowadzić do takiego zwiększenia szczelin pomiędzy skrzydłem a ościeżnicą drzwi, że nie będzie możliwe ich wypełnienie przez uszczelkę pęczniejącą, pracującą podczas pożaru. Ponadto, uszczelki pęczniejącej może też już dawno nie być na krawędziach drzwi czy ościeżnicy, gdyż odpadnie wskutek ciągłych ruchów skrzydła drzwiowego. Elementy tego typu są zazwyczaj przyklejane do skrzydła lub ościeżnicy, a ich ewentualne odklejenie może spowodować zagrożenie podczas pożaru.

Wskutek wielokrotnych cykli zamykania i otwierania drzwi mogą także ulec deformacjom, które podobnie jak rozregulowane zawiasy spowodują powiększenie przestrzeni pomiędzy skrzydłami i ościeżnicą. Uszkodzone mogą zostać także materiały wypełniające skrzydło. Szczególnie narażone są na to materiały kruche, takie jak np. niektóre z płyt ognioodpornych. Powstanie nieciągłości w strukturze takiej płyty może doprowadzić do utraty izolacyjności ogniowej skrzydła. Są to najczęściej spotykane przypadki uszkodzeń spowodowanych użytkowaniem drzwi. Awariom mogą ulegać jednak również inne elementy stanowiące konstrukcję czy wyposażenie drzwi przeciwpożarowych. Istnieje więc duże ryzyko, że często użytkujemy drzwi przeciwpożarowe, których stan techniczny od dawna śmiało można nazwać awaryjnym.

Z konstrukcyjnego punktu widzenia drzwi przeciwpożarowe podzielić można na trzy podstawowe typy, związane z rodzajem zastosowanych materiałów składowych oraz sposobem, w jaki materiały te są wykorzystane. Są to: stalowe drzwi płaszczowe; drzwi drewniane oraz drzwi o profilach metalowych (stalowych lub aluminiowych). Drzwi po-

dzielić można również ze względu na liczbę skrzydeł (jednoskrzydłowe, dwuskrzydłowe itd.) oraz sposób ich otwierania (rozwierane, przesuwne, zwijane itd.). Wszystkie z nich mogą być zawieszane na ościeżnicach o różnej konstrukcji oraz zamocowane w kilku rodzajach konstrukcji mocujących, co również może stanowić podstawę ich podziału.

W celu oceny drzwi przeciwpożarowych idealnym rozwiązaniem byłoby zweryfikowanie wszystkich możliwych ich kombinacji ze względu na zastosowane materiały konstrukcyjne skrzydła drzwi i ościeżnicy, liczbę skrzydeł oraz sposób ich otwierania. Każde z nich należałoby poddać badaniu cykli, a następnie badaniu odporności ogniowej lub dymoszczelności. Wymagałoby to jednak ogromnych nakładów finansowych oraz czasowych. Badania przeprowadzone w Instytucie Techniki Budowlanej ograniczone zostały do jednego rodzaju konstrukcji – rozwieranych, aluminiowych profilowych, drzwi przeszkłonych. Badaniom odporności ogniowej poddano cztery próbki drzwi, a trzy z nich przed uruchomieniem pieca również różnej liczbie cykli otwierania i zamykania.

Analiza literatury

W dostępnej literaturze nie ma publikacji traktujących bezpośrednio o wpływie użytkowania drzwi przeciwpożarowych na ich odporność ogniową. Można jednak znaleźć kilka artykułów o zbliżonej tematyce, np. w [6] opisano badania terenowe przeprowadzone w kilku obiektach znajdujących się w Korei Południowej w celu określenia wskaźnika awaryjności i przyczyny awarii ze względu na czas użytkowania drzwi przeciwpożarowych. Podczas inspekcji zauważono, że główne wady dotyczą problemów związanych z otwieraniem i zamykaniem drzwi, przekroczeniem dopuszczalnych szczelin czy też ze zużyciem akcesoriów, takich jak samozamykacze. Szczególnie niebezpieczny jest pierwszy z wymienionych problemów, omówiony w [7, 8]. Problemy związane z zachowaniem odpowiednich właściwości drzwi przeciwpożarowych przywołane zostały także w publikacji [9], gdzie analizie poddano procesy sądowe wynikające z rozbieżności po-

między rzeczywistymi a deklarowanymi właściwościami zamknięć otworów.

Badania odporności ogniowej drzwi poddanych wcześniej innym obciążeniom omówione zostały w [10]. Symulowane obciążenia nie były jednak związane z wielokrotnym otwieraniem i zamykaniem skrzydeł, tylko ze wstrząsami natury sejsmicznej. Odporność ogniowa drzwi, poddanych przed jej weryfikacją cyklicznym obciążeniem symulującym trzęsienie ziemi, zmniejszyła się aż o 70%. Jedną z głównych przyczyn przekroczenia kryteriów były szczeliny powstałe pomiędzy skrzydłem drzwi a ościeżnicą, spowodowane m.in. poluzowaniem zawiasów. Obciążenia wynikające z wielokrotnego otwierania i zamykania drzwi nie powinny być aż tak destrukcyjne, jak te wywołane trzęsieniem ziemi, niemniej jednak w świetle przywołanych wyników zweryfikowanie ich wpływu na odporność ogniową drzwi wydaje się zasadne. Wynika to również z wielu ekspertyz i zadawanych przez inwestorów pytań *czy drzwi po danym okresie użytkowania zachowują swoją sprawność jako skuteczną barierę przeciwpożarową i/lub dymoszczelną?*

W ostatnich kilku latach prowadzone były także inne badania odporności ogniowej drzwi. W publikacji [11] porównano wyniki badań odporności ogniowej stalowych drzwi płaszczyznowych w zależności od zastosowanej konstrukcji mocującej. Oczekiwano 30-min. klasę odporności ogniowej udało się osiągnąć jedynie w przypadku sztywnej konstrukcji mocującej. W pracy [12] weryfikowana była izolacyjność ogniowa stalowych drzwi charakteryzujących się jedynie właściwościami związanymi ze szczelnością ogniową. Podobne badania zaprezentowano w publikacji [13], gdzie weryfikowano przyrost temperatury na nienagrzewanej powierzchni drzwi w zależności od rodzaju zastosowanej w nich wełny mineralnej. Podczas badań zaobserwowano, że zdecydowanie większy wpływ na izolacyjność ogniową ma grubość zastosowanej warstwy wełny mineralnej niż jej gęstość. W publikacjach [14, 15] przedstawiono wyniki izolacyjności ogniowej drzwi o różnej konstrukcji w zależności od kierunku otwierania

skrzydła drzwiowego. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły konieczność weryfikacji odporności ogniowej drzwi z obu stron. W [16] opisano badania mające na celu polepszenie odporności ogniowej drewnianych drzwi, w przypadku których cecha ta nie została określona. Zastosowanie dodatkowej okładziny w postaci prototypowych płyt cementowych zwiększyło izolacyjność i szczelność ogniową drzwi do 30 min. Innowacyjne rozwiązania mające na celu polepszenie właściwości ogniowych drzwi przeciwpożarowych sprawdzane były także w ramach kilku innych prac prowadzonych w ostatnich latach. Można wymienić takie rozwiązania, jak specjalne wkłady akustyczne [17], próżniowe panele izolacyjne [18], płyty krzemianowo-wapniowe [19], włókna drzewa kapokowego wymieszane z gipsem [20, 21], specjalna powłoka pęcznijąca do drzwi drewnianych [22], rdzeń z materiałów ziemnych [23], czy też podwójne uszczelki stosowane w drzwiach pozbawionych progu [24]. Na uwagę zasługują także prace, w których odporność ogniowa drzwi weryfikowana była za pomocą metod numerycznych [25–30] oraz badania elementów wielkogabarytowych [31]. W literaturze nie znalaziono jednak odpowiedzi, po jakim czasie eksploatacji drzwi przeciwpożarowe tracą swoje właściwości ogniowe.

Badania

Przeprowadzono badania odporności ogniowej czterech próbek rozwieranych, jednoskrzydłowych, przeszklonych drzwi aluminiowych o jednakowej konstrukcji oraz pochodzących z tej samej linii produkcyjnej. Drzwi wykonane były jako w pełni przeszklone, bez zastosowanej poprzeczki podziałowej. Wymiary zewnętrzne ościeżnicy drzwi wynosiły 1120 x 2070 mm (szerokość x wysokość), a wymiary skrzydła drzwiowego 1018 x 2011 mm. Ramiaki skrzydła oraz stojaki i nadproże ościeżnicy wykonane były z takiego samego trzykomorowego profilu aluminiowego o wymiarach przekroju 46,0 x 80,0 mm wykonanego z dwóch kształtowników aluminiowych, połączonych przekładką termiczną z poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym. Przestrzeń środkowej komory, pomiędzy przekładkami

termicznymi oraz wewnętrznymi ściankami kształtowników aluminiowych, wypełniona była wkładami izolacyjnymi wykonanymi z dwóch płyt gipsowo-kartonowych typu F o grubości 15 mm każda. Drzwi miały szybę ognioodporną o grubości 17 mm, zamocowaną do profili przy użyciu stalowych kątowników, przykrytych aluminiową listwą przyszybową i zostały wyposażone w trzy zawiasy trójskrzydłkowe, trzy bolce antywyważeniowe, zamek jednopunktowy, aluminiową klamkę ze stalowym rdzeniem oraz samozamykacz ramieniowy. Każdy z badanych zestawów drzwiowych zamocowany był w sztywnej konstrukcji mocującej, wykonanej z bloczków oraz nadproża z betonu komórkowego przy użyciu stalowych wkrętów ościeżnicowych. Szczeliny powstałe pomiędzy ościeżnicą badanych drzwi a konstrukcją mocującą wypełniono szczelnie pianką poliuretanową, przykrytą warstwą zaprawy gipsowej.

Przed badaniem odporności ogniowej trzy próbki (oznaczone nr 2, 3 i 4) poddane zostały cyklowi wielokrotnego otwierania i zamykania (trwałość mechaniczna). Próbka pierwsza (oznaczona nr 1), poddana tylko badaniu odporności ogniowej, miała na celu potwierdzenie deklarowanej przez producenta klasy odporności ogniowej i weryfikację jakości produkcji. W przypadku próbki nr 1 sprawdzono jedynie, czy skrzydło jest w stanie samoczynnie się zamknąć. Otworzono je ręcznie do kąta powyżej 90°, przytrzymano w pozycji otwartej, a następnie puszczono tak, aby zamknęło się przy użyciu zamontowanego na skrzydle samozamykacza. Cykle zamykania i otwierania w przypadku pozostałych próbek (nr 2, 3 i 4) przeprowadzone zostały za pomocą specjalnie zaprojektowanego urządzenia. Ruchome ramiona maszyny naciskały na klamkę drzwi, a następnie wypychały skrzydło do pozycji pełnego otwarcia z prędkością dostosowaną do jego masy. Po tym ruchu ramię maszyny wracało do pozycji wyjściowej, a skrzydło drzwi zamykało się za pomocą samozamykacza. W przypadku próbki nr 2 wykonano 50 000 cykli, w przypadku próbki nr 3 – 100 000 cykli, a w przypadku próbki nr 4 – 200 000 cykli zamknięć i otwarć.

Przed tym badaniem oraz po badaniu pomierzone zostały szczeliny przyglowe w próbkach nr 3 i 4 w celu sprawdzenia, czy nastąpiło istotne przesunięcie krawędzi skrzydeł i ościeżnic względem siebie (miejsca pomiaru przedstawiono na rysunku 1). Wykonano też pomiary sił operacyjnych mające na celu sprawdzenie funkcjonalności i ergonomiczności badanych drzwi oraz przeprowadzono oględziny elementów konstrukcyjnych, uszczelniających oraz okuć drzwi w celu określenia ich zużycia. Dodatkowo przed wykonaniem cykli otwierania i zamykania drzwi oraz po ich wykonaniu przeprowadzono badanie przepuszczalności powietrza przez element próbny.

Badanie przepuszczalności powietrza przeprowadzono na próbce zamontowanej w ścianie murowej, z wykorzystaniem specjalnie wykonanej skrzyni połączonej

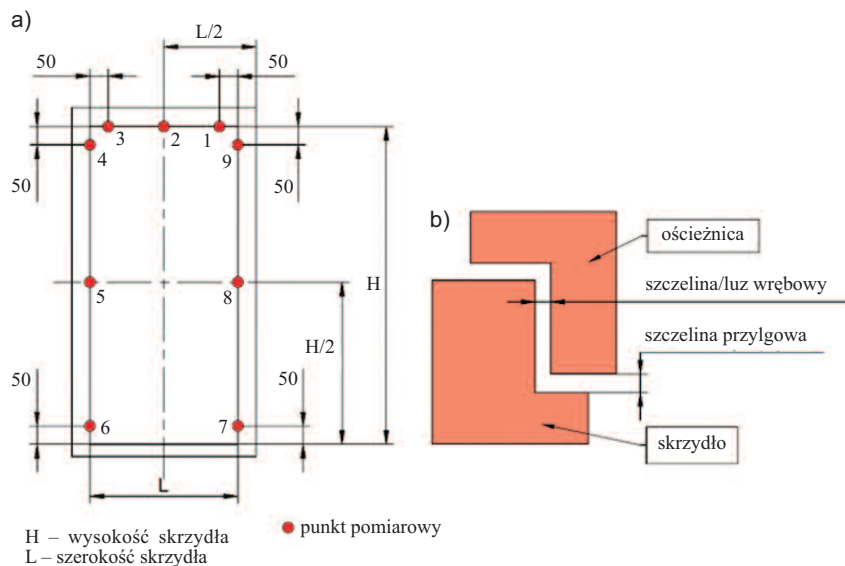


Fot. 1 Element próbny w trakcie badania przepuszczalności powietrza: a) strona zawiasowa drzwi – przeciwna do skrzyni pomiarowej; b) strona przeciwna do zawiasów drzwi – strona skrzyni pomiarowej

Fot. archiwum ITB

Photo 1. The test specimen during the air permeability test: a) door hinge side – opposite to the measuring box; b) side opposite to the door hinges – measuring box side

Photo: archives ITB



Rys. 1. Miejsca pomiaru szczeliny: a) widok ogólny; b) przekrój
Fig. 1. Places of gap measurements: a) general view; b) cross-section

Rys. autorzy
Fig. authors

z jednostką pomiarową przeznaczoną do badania szczelności okien i drzwi (fotografia 1). Badanie polegało na zastosowaniu określonych serii ciśnienia próbnego (dodatniego i ujemnego) oraz pomiaru ilości powietrza, jaka migruje przez badaną próbkę w przypadku danego ciśnienia. Celem badania było określenie zmiany szczelności powietrza drzwi podanych cyklom zamykania i otwierania w porównaniu ze stanem przed badaniem. Przepływ powietrza zweryfikowany został w przypadku wartości 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600 Pa dodatnie-

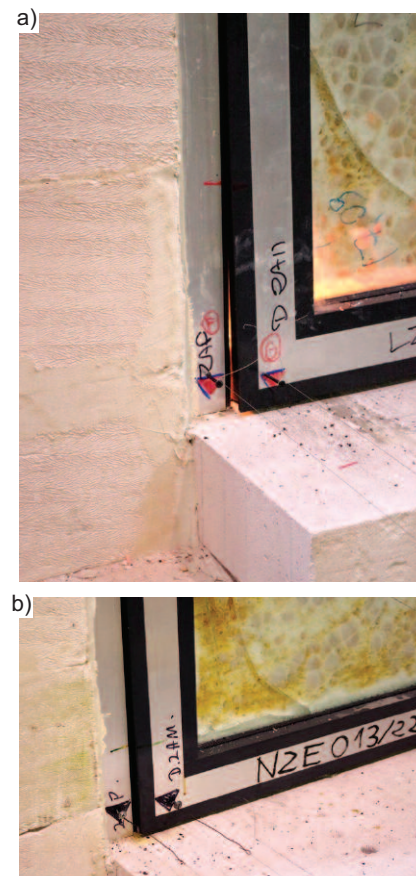
go oraz ujemnego ciśnienia. Wynikiem pomiaru była ilość powietrza niezbędna do utrzymania ciśnienia w szczelnej komorze badawczej zamkniętej badaną próbką (wbudowanymi drzwiami), przy której określona została przepuszczalność powietrza w odniesieniu do powierzchni całkowitej oraz do długości szczeliny otwierającej. Wynik badania (fotografia 2, rysunki 2 ÷ 4) w przypadku każdego stopnia pomiaru został przeliczony do warunków normalnych przepływu powietrza (temperatura normalna – $T_0 = 293$ K; ciśnienie normalne – $P_0 = 101,3$ kPa) od-

dzielnie przy długości linii stykowej otworu oraz powierzchni badanej próbki mierzonej po wewnętrznych wymiarach ościeżnicy próbki. Dodatkowo wyznaczony został współczynnik infiltracji powietrza α każdej próbki określony wzorem (1)

$$\alpha = v_0 / L(\Delta p)^{2/3} \quad (1)$$

gdzie:

α – strumień objętości powietrza, jaki przeniknie w ciągu 1 h przez metr szczeliny stykowej między skrzydłem (skrzydłami) a ościeżnicą oraz między skrzydłami (w wyrobach wieloskrzydłowych), w warunkach normalnych, przy różnicy ciśnienia $\Delta p = 1$ [daPa]; V_0 – strumień objętości powietrza określony w przypadku każdego zadawanego poziomu różnicy ciśnienia [m³/h]; L – łączna długość linii stykowych, elementu otwieranego [m]; Δp – różnica ciśnienia powietrza między stroną zewnętrzną i wewnętrzną drzwi [daPa].

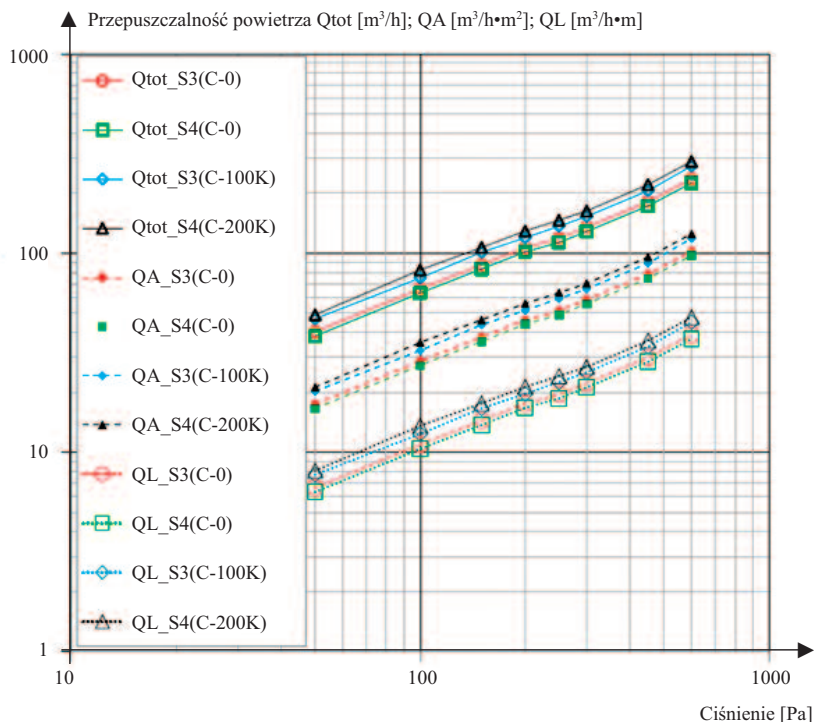


Fot. 2. Dolna część krawędzi zamkowej skrzydła drzwiowego w przypadku badania: a) próbka 2 – 7. minuta badania; b) próbka 4 – 8. minuta badania

Fot. archiwum ITB

Photo 2. The bottom part of the door leaf lock edge in the case of testing: a) sample 2 – 7th minute of the test; b) sample 4 – 8th minute of the test

Photo: archives ITB



Rys. 2. Wykres przepuszczalności powietrza (Q_{tot} – przepuszczalność całkowita, Q_A – przepuszczalność w odniesieniu do powierzchni próbki, Q_L – przepuszczalność w odniesieniu do długości szczelin liniowych)

Rys. autorzy
 Fig. 2. Graphes of air permeability (Q_{tot} – total permeability, Q_A – permeability in relation to the sample surface, Q_L – permeability in relation to the length of linear gaps) *Fig. authors*

Podczas badania odporności ogniowej sprawdzane były kryteria szczelności i izolacyjności ogniowej. Szczelność ogniową weryfikowano wizualnie oraz przy użyciu szczelinomierzy i tamponu bawełnianego, natomiast izolacyjność ogniową sprawdzana była przy użyciu termoelementów rozmieszczonych na nienagrzewanej powierzchni elementu próbnego. Dodatkowo prowadzono pomiar przemieszczeń ościeżnicy oraz skrzydła drzwiowego na krawędzi zamkowej. Rozmieszczenie termoelementów oraz miejsca pomiaru przemieszczeń przedstawiono na rysunku 5.

Elementy próbne nagrzewane były wg standardowej krzywej temperatura – czas, określonej wzorem (2):

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (2)$$

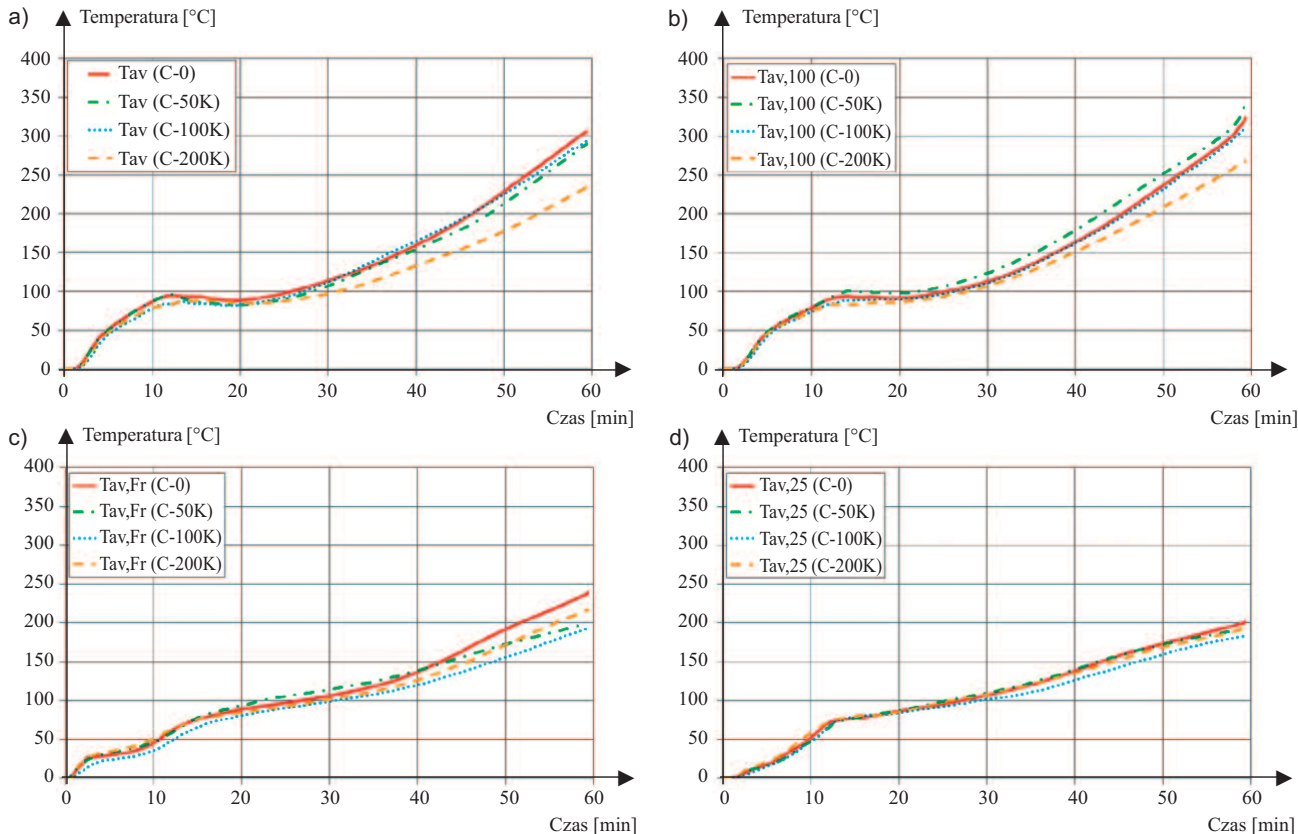
gdzie:

T – średnia temperatura w piecu [$^{\circ}C$];

t – czas [min].

Wyniki

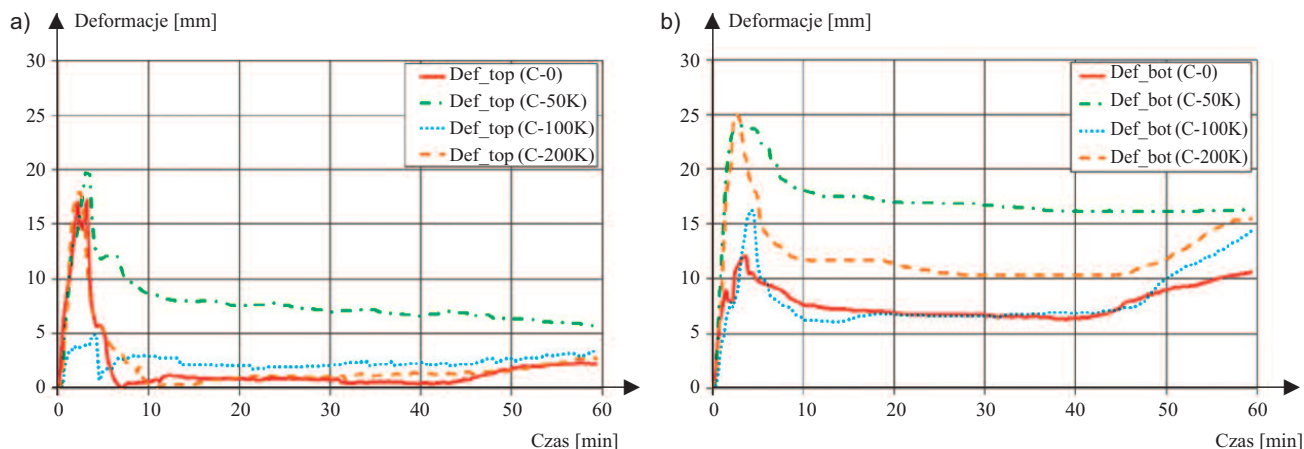
W przypadku każdej z próbek cykle otwierania i zamykania nie spowodowały widocznych uszkodzeń, które



Rys. 3. Porównanie średniego przyrostu temperatury na nienagrzewanej powierzchni próbek nr 1 – 4

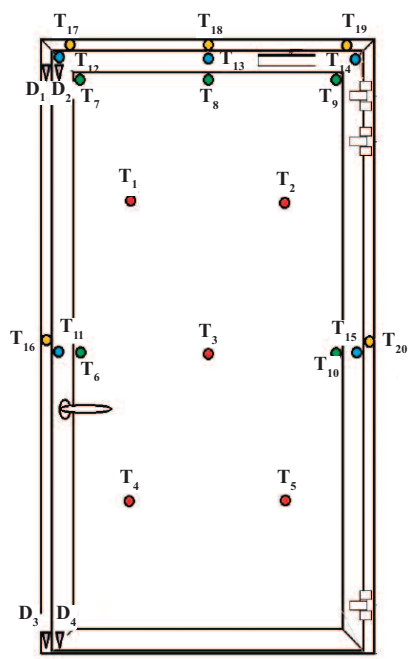
Rys. autorzy
 Fig. 3. Comparison of average temperature rise on the unexposed surface of samples No. 1-4

Rys. autorzy
 Fig. authors



Rys. 4. Porównanie względnej deformacji krawędzi zamkowej skrzydła próbek nr 1 – 4
Fig. 4. Comparison of the relative deformation of the lock edge of the leaf of samples No. 1 - 4

Rys. autorzy
Fig. authors



$T_1 - T_5$ – termoelementy rozmieszczone równomiernie na powierzchni elementu próbnego (przeszklenie)
 $T_6 - T_{10}$ – termoelementy umieszczone 100 mm od widocznej krawędzi skrzydła drzwiowego (przeszklenie)
 $T_{11} - T_{15}$ – termoelementy umieszczone 25 mm od widocznej krawędzi skrzydła drzwiowego (profil aluminiowy)
 $T_{16} - T_{20}$ – termoelementy umieszczone 25 mm na ościeżnicy (profil aluminiowy)
 $D_1 - D_4$ – miejsca pomiaru deformacji

Rys. 5. Rozkład termoelementów oraz miejsca pomiaru przemieszczeń (deformacji)

Rys. autorzy

Fig. 5. Thermocouples arrangement and places of displacement (deformation) measurements
Fig. authors

uniemożliwiłyby przeprowadzenie badań w zakresie odporności ogniowej.

Na rysunku 2 zamieszczono wyniki badania szczelności powietrznej, przeprowadzonego na próbkach nr 3 i 4 (na wykresie oznaczone odpowiednio

jako S3 oraz S4) przed cyklami zamykania i otwierania (na wykresie oznaczenie C-0) oraz po wykonaniu badania trwałości mechanicznej (na wykresie oznaczone jako C-100K w przypadku 100 000 cykli oraz C-200K w przypadku 200 000 cykli). Przedstawiono wartości średnie wyznaczone na podstawie ciśnienia dodatniego (parcie) oraz ujemnego (ssanie).

W tabeli 1 podano maksymalną zmianę przepuszczalności powietrza [%] w przypadku drzwi po wykonaniu cykli zamykania i otwierania, w porównaniu ze stanem pierwotnym przed badaniem zmęczeniowym. Wyniki odniesiono do wielkości przepływu powietrza oddzielnie przy nadciśnieniu oraz podciśnieniu (kierunek dociskania skrzydła drzwiowego oraz kierunku odciągania skrzydła drzwiowego od ościeżnicy) oraz do wartości średniej. Wyniki badania odniesiono również do zmiany współczynnika infiltracji powietrza α .

W tabeli 2 przedstawiono zmianę pomierzonych wielkości szczelin przyłgowych oraz czasu wymaganego do samoczynnego zamknięcia drzwi [%] w przypadku elementów próbnych po wyko-

naniu określonej liczby cykli zamykania i otwierania, w stosunku do stanu pierwotnego przed badaniem zmęczeniowym drzwi. Natomiast w tabeli 3 podano wyniki szczelności oraz izolacyjności ogniowej, wyrażone jako czas (w pełnych minutach), który upłynął od rozpoczęcia badania do przekroczenia danego kryterium.

Kryterium szczelności ogniowej przekroczone zostało przed deklarowanym czasem jedynie w przypadku elementu próbnego nr 2. Szczelność ogniowa pozostałych próbek zachowana została o wiele dłużej, niż przewidywała deklaracja producenta drzwi. Izolacyjność ogniowa w przypadku wszystkich przebadanych elementów zachowana została przez deklarowany przez producenta czas.

Na rysunku 3 przedstawiono średni przyrost temperatury na nienagrzewanej powierzchni próbek. Rysunek 3a obrazuje średni przyrost temperatury na powierzchni skrzydła (średnia z pomiarów prowadzonych w punktach $T_1 - T_5$, zgodnie z rysunkiem 5), rysunek 3b średni przyrost temperatury w odległości 100 mm od widocznej krawędzi skrzydła (średnia z pomiarów

Tabela 1. Wyniki badania przepuszczalności powietrza

Table 1. Air permeability test results

Nr próbki	Liczba cykli	Maksymalna zmiana przepuszczalności powietrza dla poziomów zadawanych ciśnień [%]				
		przepływ powietrza			współczynnik infiltracji	
		parcie	ssanie	średnia	parcie	ssanie
3	100 000	13,8 (600 Pa)	19,8 (50 Pa)	16,2 (50 Pa)	14,8 (600 Pa)	20,8 (50 Pa)
4	200 000	32,5 (250 Pa)	31,8 (100 Pa)	30,5 (100 Pa)	31,1 (250 Pa)	30,4 (100 Pa)

Tabela 2. Wyniki pomiaru szczelin oraz samoczynnego zamykania

Table 2. Results of gap and self-closing measurements

Nr próbki	Liczba cykli	Maksymalna zmiana wielkości szczelin przylgowych [%]	Zmiana czasu samoczynnego zamykania [%]
3	100 000	0,28 (punkt 1 wg rysunku 1)	2,30
4	200 000	0,69 (punkt 1 wg rysunku 1)	0,90

Tabela 3. Wyniki badań odporności ogniowej

Table 3. Fire resistance test results

Charakterystyka	Czas [min]			
	nr próbki (liczba cykli)			
Kryterium szczelności ogniowej	1 (0K)	2 (50K)	3 (100K)	4 (200K)
Utrzymywanie się płomienia (płomień powyżej 10 s na nienagrzewanej powierzchni)	59	59	62	62
Zapalenie się tamponu bawełnianego	59	06 ¹⁾	62	62
Zastosowanie szczelinomierzy: a) szczelinomierz 6 mm; b) szczelinomierz 25 mm	59	59	62	62
Kryterium izolacyjności ogniowej	1.1 (0K)	1.2 (50K)	1.3 (100K)	1.4 (200K)
Przyrost średniej temperatury o 140°C powyżej początkowej średniej temperatury (termoelementy nr T ₁ – T ₃)	36	37	35	41
Przyrost maksymalnej temperatury o 180°C powyżej początkowej średniej temperatury (10 cm od widocznej krawędzi drzwi, termoelementy nr T ₆ – T ₁₀)	40	36	40	39
Przyrost maksymalnej temperatury o 360°C powyżej początkowej średniej temperatury w przypadku ościeżnicy (termoelementy nr T ₁₆ – T ₂₀)	59	59	62	62
Przyrost maksymalnej temperatury o 180°C powyżej początkowej średniej temperatury (2,5 cm od widocznej krawędzi drzwi, termoelementy nr T ₁₁ – T ₁₅)	41	39	46	43
Przyrost maksymalnej temperatury o 180°C powyżej początkowej średniej temperatury w przypadku ościeżnicy (termoelementy nr T ₁₆ – T ₂₀)	39	39	51	49

¹⁾ Tampon zastosowano w dolnym narożu elementu próbnego na krawędzi zamkowej (na połączeniu skrzydła drzwiowego z ościeżnicą)

prowadzonych w punktach T₆ – T₁₀, zgodnie z rysunkiem 5), rysunek 3c średni przyrost temperatury na ościeżnicy (średnia z pomiarów prowadzonych w punktach T₁₆ – T₂₀, zgodnie z rysunkiem 5), a rysunek 3d średni przyrost temperatury w odległości 25 mm od widocznej krawędzi skrzydła (średnia z pomiarów prowadzonych w punktach T₁₁ – T₁₅, zgodnie z rysunkiem 5). W przypadku rysunków 3a oraz 3b termoelementy umieszczone były na powierzchni przeszklenia, natomiast w przypadku rysunków 3c oraz 3d na powierzchni profili aluminiowych.

Krzywe przedstawiające przyrost temperatury w każdej z badanych próbek mają zbliżony kształt, a różnią się uzyskanymi wartościami. Różnica ta jest niewielka w przypadku pierwszych 30 min badania, czyli czasu odpowiadającego deklarowanej klasie odporno-

ści ogniowej drzwi. Po tym okresie różnice pomiędzy wartościami skrajnymi zaczynają wzrastać. W 30. minucie badania w przypadku średniej temperatury powierzchni skrzydła (termoelementy nr T₁ – T₅, zgodnie z rysunkiem 5), najwyższą wartość (114,2°C) osiągnęła próbka nr 1, a najniższą (97,7°C) próbka nr 4. Największy średni przyrost temperatury (124,0°C), w przypadku termoelementów nr T₆ – T₁₀, oddalonych o 100 mm od widocznej krawędzi skrzydła, dotyczył próbki nr 2, a najmniejszy (107,0°C) próbki nr 4. W przypadku profili skrzydła największą wartość w 30. minucie (108,0°C) zarejestrowano w badaniu próbki nr 4, a najniższą (101,5°C) w badaniu próbki nr 3. Zupełnie inaczej wygląda sytuacja w przypadku ościeżnicy, gdzie największa wartość (110,1°C) osiągnięta została w badaniu próbki nr 2,

a najmniejsza (98,9°C) na ościeżnicy próbki nr 3.

W 59. minucie badania (do tego czasu prowadzono pomiar temperatury każdej z próbek) różnica pomiędzy wartościami skrajnymi była już zdecydowanie większa. W przypadku temperatury średniej skrzydła, najwyższa (zarejestrowana w przypadku próbki nr 1) wynosiła 302,7°C, natomiast najniższa (osiągnięta przez próbkę nr 4) – 234,6°C. W odległości 100 mm od krawędzi skrzydła najwyższa wartość (próbka nr 2) wynosiła 331,0°C, a najniższa (próbka nr 4) – 268,5°C. W przypadku profili skrzydła najwyższa temperatura wynosiła 199,0°C (próbka nr 1), a najniższa 183,0°C (próbka nr 3). Jeśli chodzi o ościeżnicę, to największa z zarejestrowanych wartości w 59. minucie wynosiła 236,5°C (próbka nr 1), a najmniejsza 191,8°C (próbka nr 3).

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiarów przemieszczeń na krawędzi zamkowej zespołu drzwiowego. Rysunek 4a pokazuje względną deformację (różnica pomiędzy przemieszczeniem skrzydła i ościeżnicy) górnej części skrzydła, a rysunek 4b względną deformację dolnej części skrzydła. W obu przypadkach, podobnie jak na rysunku 3, próbki nr 1 – 4 oznaczone zostały odpowiednio jako C-0, C-50K, C-100K oraz C-200K. W przypadku górnej i dolnej krawędzi skrzydła największa wartość względnej deformacji każdej z próbek osiągnięta została ok. 5. minuty badania. Analizując górną krawędź skrzydła – największą względną deformacją (19,8 mm) charakteryzowała się próbka nr 2, natomiast najmniejszą (4,92 mm) próbka nr 3. Z kolei w przypadku dolnej krawędzi skrzydła największą deformację względną (25,0 mm) osiągnęła próbka nr 4, a najmniejszą (12,0 mm) próbka nr 1.

Analiza wyników

Analizując wyniki badań podane w tabeli 1, stwierdzono, że wielokrotne cykle zamykania i otwierania (trwałość mechaniczna) spowodowały zwiększenie ilości migrującego powietrza przez drzwi. W przypadku próbki nr 3, poddanej 100 000 cykli wartość przepływu powietrza zwiększyła się o 19,8% (przy ciśnieniu 50 Pa w przypadku ssa-

nia), natomiast w przypadku próbki nr 4, poddanej 200 000 cykli aż o 32,5% (przy ciśnieniu parcia 250 Pa). Określony dodatkowo współczynnik infiltracji powietrza zwiększył się maksymalnie po badaniu cykli zamykania i otwierania o: 20,8% (próbka nr 3) oraz 31,1% (próbka nr 4). Tak duża zmiana szczelności na powietrze drzwi nastąpiła przy nieznacznym zwiększeniu wielkości szczelin. Zgodnie z tabelą 2 wielkość szczelin zwiększyła się maksymalnie o 0,28% w przypadku próbki nr 3 oraz 0,69% próbki nr 4. Zmiany dotyczące czasu zamykania skrzydła można uznać również za niewielkie. W przypadku próbki nr 3 czas zamykania skrzydła drzwiowego był o 2,3% większy od pomiarów dokonanych przed badaniem trwałości, natomiast w przypadku próbki nr 4 czas ten skrócił się o 0,9%.

Funkcjonalność wszystkich zbadanych próbek drzwi została zachowana po wykonaniu cykli zamykania i otwierania, dlatego też możliwe było przeprowadzenie badania ich odporności ogniowej (tabela 3 oraz rysunki 3 i 4). Analizując uzyskane wyniki, nie da się w jednoznaczny sposób ocenić, czy cykle otwierania i zamykania drzwi wpływają na ich właściwości związane z odpornością ogniową. W przypadku **izolacyjności ogniowej** nie zaobserwowano wyraźnych zmian w próbkach poddanych badaniom cykli otwierania i zamykania w porównaniu z próbką odniesienia (próbka nr 1, oznaczona na wykresach jako C-0). Przyrost temperatury wszystkich przebadanych próbek, w przewidzianym czasie klasyfikacyjnym (30 min), był zbliżony. Po tym czasie różnica pomiędzy przyrostem temperatury poszczególnych próbek zwiększa się, przy czym zjawisko to ma raczej charakter losowy i nie można wiązać go z liczbą przeprowadzonych przed badaniem cykli. W przypadku **szczelności ogniowej** jednoznaczna ocena wpływu cykli na jej zachowanie jest zdecydowanie bardziej skomplikowana. Zgodnie z przedstawionymi w tabeli 3 wynikami, szczelność ogniowa próbki 2 (50 000 cykli) została przekroczona w 7. minucie badania, kiedy nastąpiło zapalenie się tamponu bawełnianego

przyłożonego do dolnej części krawędzi zamkowej skrzydła drzwiowego. Przed zastosowaniem tamponu zaobserwowano w tym miejscu wydostające się pojedyncze płomienie ze szczeliny pomiędzy skrzydłem drzwiowym a ościeżnicą. Pojawienie się kolejnego płomienia po przyłożeniu tamponu spowodowało jego zapłon. Do podobnego zjawiska doszło podczas badania próbki 4 (200 000 cykli). W badaniu tym, podobnie jak w przypadku próbki 2, pojawiły się w dolnej części krawędzi zamkowej skrzydła drzwiowego pojedyncze płomienie wydostające się na nienagrzewaną stronę elementu próbnego. Do zjawiska tego doszło minutę później niż w przypadku próbki 2, a przyłożony do opisanego miejsca tampon bawełniany nie uległ zapłonowi. Pojawienie się płomieni w obu przypadkach związane było ze znacznym przemieszczeniem dolnej części profilu skrzydła na krawędzi zamkowej względem stojaka ościeżnicy (rysunek 4b). Opisane zjawisko przedstawione zostało na fotografii 2. W obu przypadkach okres, w którym pojawiały się płomienie, trwał nie dłużej niż minutę. Nie były to płomienie ciągłe. Ogień pojawiał się jedynie na kilka sekund i znikał. W przypadku próbki 2 zjawisko wystąpiło 3 razy w ciągu minuty, natomiast w przypadku próbki 4 – 2 razy. Do końca badania nie zaobserwowano już tego zjawiska w omawianym miejscu. Sposób przekroczenia szczelności ogniowej może być dyskusyjny z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego. Mało prawdopodobne jest bowiem to, że krótkotrwałe, nawet kilkakrotne pojawienie się niewielkiego płomienia w szczelinie powstałej pomiędzy dolnym narożem skrzydła drzwiowego a ościeżnicą doprowadzi do rozprzestrzenienia się pożaru na sąsiednią strefę.

Z analizy rysunku 4b wynika, że maksymalna wartość względnej deformacji dolnej krawędzi skrzydła była większa w przypadku drzwi poddanych wcześniej badaniom cykli zamykania i otwierania. Nie można natomiast powiązać tej wartości z liczbą wykonanych cykli. Była ona bowiem zdecydowanie większa w przypadku badania wykonanego po 50 000 cykli niż po 100 000 cykli,

a po 200 000 cykli była zbliżona do wartości uzyskanej po 50 000 cykli.

Ciągły pomiar przemieszczeń podczas badania potwierdził zjawisko, istotne z punktu widzenia metody badania odporności ogniowej, zaobserwowane w przypadku przeszklonych ścian aluminiowych, przedstawione w [32, 33]. W powszechnie stosowanych w Europie procedurach badawczych zaleca się przeprowadzenie pierwszego pomiaru przemieszczeń w 10. minucie testu. Przeprowadzone przez nas badania wskazują, że największe przemieszczenia nastąpiły w ciągu pierwszych 5 minut badania, natomiast w 10. minucie wartość przemieszczenia była zdecydowanie mniejsza.

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że:

1) różnica przepływu powietrza przez badane drzwi przed wykonaniem cykli zamykania i otwierania oraz po ich wykonaniu może świadczyć o zmianach geometrii profili skrzydeł drzwi w stosunku do profili ościeżnicy (niewielkie punktowe zwiększenie szerokości szczelin przylgowych), a także o degradacji uszczelki przylgowej podczas pracy skrzydła drzwiowego oraz nieznacznym zmianach początkowego ustawienia okuć (zawiasów i zapadki zamka);

2) nastąpiło zwiększenie przepływu powietrza drzwi poddanych cyklom zamykania i otwierania na poziomie: ok. 20% po wykonaniu 100 000 cykli oraz ok. 30% po wykonaniu 200 000 cykli, co może świadczyć o degradacji uszczelki przylgowej podczas pracy skrzydła drzwiowego;

3) uzyskana różnica wielkości szczelin przylgowych przez badane drzwi przed oraz po wykonaniu cykli zamykania i otwierania zwiększyła się o 0,28% po 100 000 cykli oraz 0,69% po 200 000 cykli, co może świadczyć o zmianach geometrii profili skrzydeł drzwi w stosunku do profili ościeżnicy (niewielkie punktowe zwiększenie szerokości szczelin przylgowych) oraz o nieznacznym zmianach początkowego ustawienia okuć (zawiasów i zapadki zamka);

4) na podstawie oceny wizualnej (jedno z kryterium badania trwałości

mechanicznej) dokonywanej podczas badania cykli zamykania i otwierania nie jest w pełni możliwe określenie stopnia zużycia komponentów drzwi, takich jak np. uszczelka przylgowa, zawiasy czy zamki. W związku z tym w dalszych badaniach należałoby opracować plan eksperymentu dotyczącego określenia stopnia zużycia uszczelki przylgowej jako elementu uszczelniającego szczelinę pomiędzy skrzydłem a ościeżnicą i określenia zachowania jej sprawności po przeprowadzeniu cykli zamykania i otwierania. Badania te należałoby przeprowadzić z wykorzystaniem zapisów serii norm PN-EN-12365 – 1 ÷ 4 [34];

5) cykliczne otwieranie i zamykanie może wpłynąć na deformację skrzydła drzwiowego podczas badania odporności ogniowej. Konsekwencją dużej wartości względnej deformacji może być utrata szczelności ogniowej, na co wskazują wyniki badania próbki nr 2;

6) nie można przyjąć, że poddanie drzwi określonej liczbie cykli zamknięć powoduje utratę ich szczelności ogniowej. Oprócz przywołanego w punkcie 5 wniosku dotyczącego próbki nr 2 trzeba mieć na uwadze wyniki pozostałych próbek poddanych badaniom cykli, gdzie pomimo zwiększonej liczby otwarć i zamknięć skrzydła drzwiowego szczelność ogniowa zachowana została o wiele dłużej niż przewidywany czas klasyfikacyjny badanych drzwi;

7) największe przemieszczenia elementów próbnych nastąpiły w ciągu pierwszych 5 minut badania. W stosowanych powszechnie w Europie normach badawczych zaleca się przeprowadzenie pierwszego pomiaru w 10. minucie badania. W celu określenia rzeczywistego maksymalnego ugięcia elementu próbnego w trakcie badania, pomiar przemieszczeń powinien być prowadzony w sposób ciągły.

Literatura

- [1] Dundar U, Selamet S. Fire load and fire growth characteristics in modern high-rise buildings. *Fire Saf. J.* 2023; DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103710.
- [2] Alianto B, Nasruddin N, Nugroho YS. High-rise building fire safety using mechanical ventilation and stairwell pressurization: A review. *J. Build. Eng.* 2022, DOI: 10.1016/j.job.2022.104224.
- [3] Yi X et al. Numerical Simulation of Fire Smoke Spread in a Super High-Rise Building for Different Fire Scenarios. *Adv. Civ. Eng.* 2019; DOI: 10.1155/2019/1659325.
- [4] Izydorczyk D, Sędlak B, Sulik P. Fire doors in tunnels emergency exits – smoke control and fire resistance tests in IFireSS 2017 – 2nd International Fire Safety Symposium Naples, Italy, June 7-9, 2017, 2017, pp. 1–8.
- [5] EN 13501-2:2023 Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services.
- [6] Kim Y-S, Huh Y-R, Jin S-H, Kwon Y-J. Derivation of Defect Factors and Defect Rates of Fire Doors in Apartment Buildings through Field Investigation. *Fire Sci. Eng.* 2022; DOI: 10.7731/KIFSE.11bc3934.
- [7] McKeen P, Liao Z. Numerical analysis on the hazards of open stairwell doors in high-rise residential buildings. *J. Build. Eng.* 2022; DOI: 10.1016/j.job.2022.104561.
- [8] Hopkin C, Spearpoint M, Wang Y. Internal door closing habits in domestic premises: Results of a survey and the potential implications on fire safety. *Saf. Sci.* 2019; DOI: 10.1016/j.ssci.2019.06.032.
- [9] Joon M-O. A Study on Major Issues in Litigation on Fire Door Performance. *Fire Sci. Eng.* 2021; DOI: 10.7731/KIFSE.265d7867.
- [10] Calayir M, Selamet, S Wang YC. Post-earthquake fire performance of fire door sets. *Fire Saf. J.* 2022; DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103589.
- [11] Ayman N, Isamu Y, orn V. Thermal and mechanical transient behaviour of steel doors installed in non-load-bearing partition wall assemblies during exposure to the standard fire test. *Fire Mater.* 2016; DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.2365>.
- [12] Seo HW, An JH, Choi DH. A Study on the Fire Resistance Performance of the Steel Fire Doors Depending on Core Material. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 2013; DOI: 10.9798/KOSHAM.2013.13.5.247.
- [13] Kim M, Min S. Study on the Analysis of the Temperature-Rise Tendencies of Insulated Steel Fire Doors According to the Properties of the Core Materials. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 2022; DOI: 10.9798/KOSHAM.2022.22.1.141.
- [14] Sędlak B, Paweł S. Thermal distributions through profiled aluminum fire-resistant doors depending on the side of the fire exposure. *Mater. Bud.* 2023; DOI: 10.15199/33.2023.01.06.
- [15] Izydorczyk D, Sędlak B, Papis B, Turkowski P. Doors with Specific Fire Resistance Class. *Procedia Eng.* 2017; DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.010.
- [16] Panno C, Goncalves J, Prager G, Bolina F, Tutiikian BF. Analysis of the fire resistance of normal wooden doors exposed to fire conditions. *Rev. la Construcción.* 2020; DOI: 10.7764/rdlc.19.2.359.
- [17] Khalid MH, Abd Rahman, Abdul Latif RH, Yahya MN. Prototyping and Performance Evaluation of Fire Rated Acoustic Door. *Int. J. Integr. Eng.* 2018; DOI: 10.30880/ijie.2018.10.04.002.
- [18] Kim YU, Chang SJ, Lee Y-J, No H, Choi GS, S. Kim S. Evaluation of the applicability of high insulation fire door with vacuum insulation panels: Experimental results from fire resistance, airtightness, and condensation tests. *J. Build. Eng.* 2021; DOI: 10.1016/j.job.2021.102800.
- [19] Levinskas R et al. Modified xonotlite-type calcium silicate hydrate slabs for fire doors. *J. Fire Sci.* 2018; DOI: 10.1177/0734904118754381.
- [20] Azieyanti NA, Hakim A, Hasini H. Mixture of natural fiber with gypsum to improve the fire resistance rating of a fire door: The effect of kapok fiber. *J. Phys. Conf. Ser.* 2017; DOI: 10.1088/1742-6596/914/1/012019.
- [21] Nor Hishamuddin Manaf M, Nurul Farhanah Azman, Nor Musa M, Syahrullail Samion, Nor Azwadi Che Sidik, Asako Y. Fire Resistance Rating for Gypsum and Kapok Fiber Composite Materials. *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.* 2022; DOI: 10.37934/arfmts.98.2.1523.
- [22] Kwang Yin JJ, Yew MC, Yew MK Saw LH. Preparation of Intumescent Fire Protective Coating for Fire Rated Timber Door. *Coatings.* 2019; DOI: 10.3390/coatings9110738.
- [23] Mansor MNL et al. Development of a Fire Retardant Door Made of Earth Materials. 2022, pp. 117 – 121.
- [24] Won S-H, Lee J, Lee H-Y. Double Gasket Research and Development to Improve the Fire Resistance Performance of a No Threshold Fire Door. *Fire Sci. Eng.* 2022; DOI: 10.7731/KIFSE.51a66e01.
- [25] Moro L, Boscarior P, De Bona F, Gasparetto A, Srnc Novak J. Innovative Design of Fire Doors: Computational Modeling and Experimental Validation. *Fire Technol.* 2017; DOI: 10.1007/s10694-017-0658-y.
- [26] Tripathi A, Kumar C, Grinnaert T, Kumar A. Testing a Fire Door Through Simulation. 2020, pp. 233–248.
- [27] Kyaw Oo D'Amore G, Mauro F, Marinò A, Caniato M, Kašpar J. Towards the Use of Novel Materials in Shipbuilding: Assessing Thermal Performances of Fire-Doors by Self-Consistent Numerical Modelling. *Appl. Sci.* 2020; DOI: 10.3390/app10175736.
- [28] Khalifa MA, Aziz MA, Hamza M, Abdo S, Gaheen OA. Improvement of fire door design using experimental and numerical modelling investigations. *J. Struct. Fire Eng.* 2022; DOI: 10.1108/JSFE-07-2021-0048.
- [29] Boscarior P, De Bona F, Gasparetto A, Moro L. Thermo-mechanical analysis of a fire door for naval applications. *J. Fire Sci.* 2015; DOI: 10.1177/0734904114564955.
- [30] Zhang S, Li C, Miao H, Zhang J, Zhang H. Design and Thermal Analysis of the Large Fire Door for AP1000 Nuclear Reactor. *J. Therm. Sci.* 2020; DOI: 10.1007/s11630-019-1138-0.
- [31] Thanasoulas I, Lauridsen D, Husted B, Giulliani L. Large-Scale Fire Tests on Sliding Doors for Building Applications. *Fire Technol.* 2022; DOI: 10.1007/s10694-022-01255-w.
- [32] Sędlak B, Sulik P, Garbacz A. Scale effect in the evaluation of the fire resistance of glazed partitions. *J. Build. Eng.* 2022; DOI: 10.1016/j.job.2022.104108.
- [33] Sędlak B, Sulik P, Garbacz A. Fire resistance of aluminium – glazed partitions depending on their height. *Fire Mater.* 2021; DOI: 10.1002/fam.2971.
- [34] PN-EN 12365-1÷4 – Okucia budowlane – Uszczelki i taśmy uszczelniające do drzwi, okien, żaluzji i ścian osłonowych.

Przyjęto do druku: 10.01.2024 r.