

Wpływ zmiany szczelności obudowy przestrzeni chronionej przed zadymieniem na utrzymywane w nim nadciśnienie

Impact of changing the air leakage flow rate in protected spaces on maintaining stable pressure

MAREK DZIUBIŃSKI, DOROTA BRZEZIŃSKA, MARCIN FRYDA

DOI 10.36119/15.2020.3.4

Zadaniem pożarowych systemów różnicowania ciśnienia w budynku jest niedopuszczenie, aby dym przedostał się do przestrzeni chronionych takich, jak: drogi ewakuacyjne, przeciwpożarowe drogi ratownicze, szyby gaśnicze, szyby windowe, hole, klatki schodowe oraz wszystkie pomieszczenia, które w przypadku pożaru powinny pozostać wolne od zadymienia. W celu utrzymania wymaganej różnicy wartości ciśnienia pomiędzy przestrzenią chronioną a pozostałą częścią budynku, należy określić jak duże nieuszczelności występują w przegrodach pomieszczeń chronionych. Jest to podstawowe kryterium prawidłowego doboru wydajności jednostki napowietrzającej. Wcześniejsze badania koncentrowały się na potwierdzeniu skuteczności systemów ciśnieniowych przy założeniu stałego poziomu nieuszczelności. Celem obecnie przeprowadzonych testów było określenie, jaki wpływ na warunki utrzymania nadciśnienia ma zmiana nieuszczelności obudowy przestrzeni chronionej. Parametr ciśnieniowy został poddany analizie pod względem stabilności utrzymywanego nadciśnienia oraz dynamiki osiągnięcia zakładanych wartości różnicy ciśnienia.

Słowa kluczowe: klatka schodowa, system nadciśnienia, wentylacja pożarowa, ochrona przeciwpożarowa, zabezpieczenie dróg ewakuacyjnych

The main idea of fire pressure differential systems (PDS) in the building is to prevent the passage of smoke into protected spaces such as escape routes, fire escape routes, fire-extinguishing windows, elevator shafts, lobbies, stairwells and all rooms that should remain free from fire smoke. In order to maintain the required pressure difference between the protected space and the rest of the building (the value depends on the applicable legal provisions and standards), it should be determined how large leaks occur in the partitions of protected spaces. This is the basic criterion for the proper selection of the aeration unit efficiency. Previous studies have focused on confirming the effectiveness of pressure systems assuming a constant level of leakage. The purpose of the currently conducted tests was to determine what effect a change in the leakage of the housing of the protected space has on the conditions of maintaining the overpressure. The pressure parameter was analyzed in terms of the stability of the maintained overpressure and the dynamics of achieving the assumed values of the pressure difference.

Keywords: stair case, pressure systems, fire ventilation, fire protection, evacuation routes protection.

Wprowadzenie

Zasada działania pożarowych nadciśnieniowych systemów ochrony dróg ewakuacyjnych przed zadymieniem polega na wytworzeniu wyższego ciśnienia w przestrzeniach chronionych w stosunku do innych części budynku, nie podlegających ochronie. Wszystkie drzwi przestrzeni o podwyższonym ciśnieniu powinny być wyposażone w samozamykacze. Projektanci muszą jednak tak zaprojektować system różnicowania ciśnienia, aby podczas ewakuacji siła otwarcia tych drzwi nie przekra-

czała 100 N. Ponadto, w momencie otwarcia drzwi należy umożliwić przepływ powietrza z przestrzeni chronionej, poprzez pozostałe części budynku do otoczenia.

Wymagana wartość wytwarzanego nadciśnienia jest różna, w zależności od norm oraz przepisów, wg których projektowany jest system i wynosi od 12,5 do 80 Pa [1,2,3]. W momencie otwarcia drzwi, kryterium ciśnienia zostaje zastąpione przez kryterium nadciśnienia 10Pa i/lub kryterium przepływu powietrza. Minimalne wartości szybkości przepływu powietrza wynoszą od 0,5-2 m/s [1,2].

W praktyce projektowej nominalna wydajność jednostki napowietrzającej w większości przypadków wynika z konieczności spełnienia kryterium 10 Pa nadciśnienia przy otwartych drzwiach lub kryterium prędkości przepływu powietrza przez drzwi, przy czym liczba otwartych drzwi zależy od klasy systemu dla danego budynku. Dobrany w ten sposób wentylator ma wydajność kilku-, a nawet kilkunastokrotnie większą, niż strumień objętości powietrza, który jest potrzebny do uzyskania kryterium 50 Pa w klatce przy wszystkich drzwiach zamkniętych, nawet

Prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński – <https://orcid.org/0000-0002-7765-1106>, dr hab. inż. Dorota Brzezińska – <https://orcid.org/0000-0003-4615-4454>, mgr inż. Marcin Fryda – <https://orcid.org/0000-0002-4679-0947> – Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska. Autor do korespondencji/ Corresponding author: dorota.brzezinska@p.lodz.pl

po uwzględnieniu współczynników korekcyjnych. Ograniczenia techniczne związane z pracą wentylatora z falownikiem (minimalna częstotliwość pracy oraz minimalna prędkość wentylatora związana z chłodzeniem silnika) powodują, że tak zaprojektowany układ może wytworzyć w klatce wyższe nadciśnienie, niż oczekiwane 50 Pa. Jednocześnie czasy potrzebne do regulacji systemu w celu uzyskania nadciśnienia 50 Pa, ze względu na strumień objętości włączanego powietrza podczas otwarcia drzwi, ulegną wydłużeniu powyżej oczekiwanych trzech sekund.

Ponadto, wszelkie prace budowlane, powodujące doszczelnienie budynku mogą sprawić, że system będzie działał nieprawidłowo [4].

Coraz lepsze materiały budowlane oraz stolarka okienna i drzwiowa o dużo mniejszych przeciekach powodują, że w obiektach coraz częściej pojawia się problem związany ze zbyt dużą szczelnością obudowy przestrzeni chronionej.

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie, czy wytworzenie w klatce schodowej dodatkowych powierzchni przecieku ma sens i jaki jest wpływ tych zmian na proces regulacji ciśnienia oraz czasów stabilizacji układu.

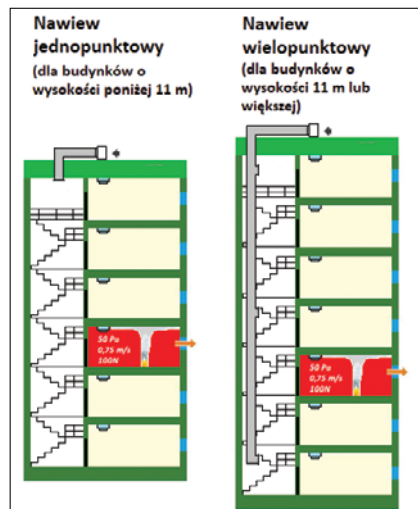
Zasady projektowania systemów różnicowania ciśnienia

Głównym dokumentem w Unii Europejskiej, na podstawie którego projektowane są systemy różnicowania ciśnienia jest norma PN-EN12101 część 6 [1]. Układy różnicowania dają możliwość uzyskania bezpiecznych warunków w przestrzeniach chronionych takich, jak drogi ewakuacyjne lub drogi dostępu dla ekip ratowniczych. Wymaga to utrzymania gradientu ciśnienia od przestrzeni chronionej do powierzchni objętej pożarem, zapewnienia odpowiednich przepływów powietrza oraz sił wymaganych do otwarcia drzwi na drodze ewakuacji. W zależności od przeznaczenia budynku i wymagań dotyczących bezpieczeństwa, norma wyróżnia 6 klas określających kryteria dla projektowanego budynku. Minimalna różnica ciśnienia wg normy wynosi 50 Pa przy wszystkich drzwiach zamkniętych oraz 10 Pa przy otwartych drzwiach dla klas budynków C,D,E. Maksymalna siła otwarcia drzwi nie może przekroczyć 100 N, a minimalna prędkość powietrza w drzwiach w zależności od klasy budynku wynosi 0,75-2 m/s. Dopuszczalna odchyłka pomiarowa stanowi $\pm 10\%$.

Ponadto, norma ta precyzuje liczbę oraz położenie punktów doprowadzenia

powietrza i definiuje sposoby odprowadzania powietrza z przestrzeni objętej pożarem przy czym nawiew wielopunktowy do klatki schodowej jest wymagany, jeżeli klatka ma wysokość większą niż 11 m.

Przykładowy schemat systemu ciśnieniowego klatki schodowej, z nawiewem jedno i wielopunktowym, przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Przykładowy schemat systemu napowietrzania klatek schodowych (opracowanie własne)

Analiza problemu

Pierwszym etapem projektowania systemów różnicowania ciśnienia jest określenie strumienia objętości powietrza nawiewanego do klatki i dobór wentylatora. Głównymi kryteriami obliczeniowymi są utrzymanie odpowiedniego nadciśnienia oraz przepływu powietrza przez drzwi w celu wypchnięcia dymu na zewnątrz budynku w warunkach pożaru. Gradient wartości ciśnienia zapobiega migracji dymu do przestrzeni chronionej utrzymując odpowiednie warunki dla ewakuacji. W przypadku otwartych drzwi strumień powietrza zapobiega przedostawaniu się dymu do pomieszczenia chronionego.

Podstawowym równaniem w systemach kontroli i rozprzestrzeniania się dymu jest zależność opisująca wypływ powietrza przez otwór:

$$Q = 0,839 A \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

Gdzie:

Q [m^3/s] – strumień przepływu powietrza,
 A [m^2] – powierzchnia przepływu,
 Δp [Pa] – różnica ciśnienia przez otwór.

Przekształcając (1), różnicę wartości ciśnienia możemy wyrazić wzorem:

$$\Delta p = 1,42 \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (2)$$

Można zauważyć, że różnica wartości ciśnienia zależy zatem od objętościowego

strumienia powietrza oraz powierzchni nieuszczelnności. Zmiany zachodzące w procesie inwestycyjnym lub użytkowania budynku mogą w sposób znaczący zmienić warunki ochrony dróg ewakuacyjnych [4]. Przyjęte marginesy doboru wentylatorów mogą okazać się zbyt duże lub niewystarczające. Regulatory prędkości obrotowej przy dużej zmianie nieuszczelnności mogą mieć problemy z utrzymaniem ciśnienia, niejednokrotnie doprowadzając do niestabilnej, oscylacyjnej pracy wentylatora.

Autorzy niniejszego artykułu postanowili sprawdzić, jaki wpływ na parametry ciśnienia mają zmieniające się nieuszczelnności. W tym celu, na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku badawczym, przeprowadzili badania w następujących konfiguracjach:

1. wytworzenie nadciśnienia w przestrzeni chronionej za pomocą wentylatora ze stałą wydajnością,
2. wytworzenie nadciśnienia w przestrzeni chronionej za pomocą wentylatora ze zmienną wydajnością.

Wszystkie pomiary zostały wykonane przy trzech poziomach nieuszczelnności dla każdej serii. Dobór strumienia dla poszczególnych nieuszczelnności wykonano w oparciu o przedstawioną wcześniej zależność (1) występującą również w literaturze m.in. u Butchera i Parnella [5] oraz Klote i Milke [6].

Testy laboratoryjne – opis stanowiska badawczego

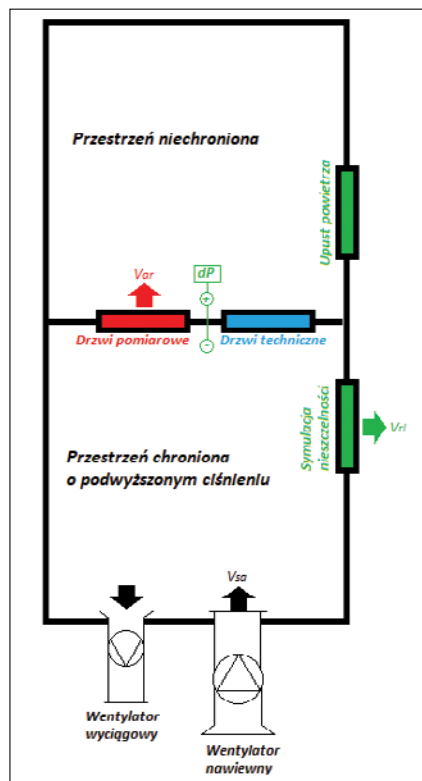
Badania przeprowadzono w Laboratorium Techniki Pożarowej CS w Błoniu pod Wrocławiem (Polska). Komorę wentylatorową przedstawia zdjęcie nr 1.

Pomieszczenie laboratoryjne zostało przygotowane zgodnie z wytycznymi normy N161-prEN12101-6[7]. Stanowisko badawcze składa się z dwóch pomieszczeń pomiarowych:

- pomieszczenia chronionego o kubaturze ok. 125 m^3 (symulującego klatkę schodową),
- pomieszczenia niechronionego o kubaturze ok. 115 m^3 (symulującego korytarz).



Zdjęcie nr 1
Pomieszczenie laboratorium



Rysunek 2
Schemat laboratorium pomiarowego (opracowanie własne)

Z przestrzeni korytarza zapewniony był naturalny upust powietrza. Schemat laboratorium przedstawiono na rysunku 2.

Podczas badań mierzono wartość nadciśnienia utrzymywanego w klatce schodowej w stosunku do korytarza, w zależności od kąta otwarcia drzwi. Pomiar dokonany był za pomocą przetwornika ciśnienia o czasie odpowiedzi 0,1 s i sumarycznym błędzie pomiaru poniżej 1,5%. Kąt otwarcia drzwi odczytywany był jako sprzężenie zwrotne położenia serwonapędu przepustnicy imitującej drzwi. Wszystkie dane pomiarowe rejestrowane były w czasie rzeczywistym w kontrolerze przemysłowym wyposażonym w szybkie moduły pomiarowe z częstotliwością 10Hz i przesyłane w postaci danych arkusza kalkulacyjnego do komputera klasy PC.

Odpowiedni strumień powietrza uzyskano zmieniając za pomocą przetwornicy częstotliwości prędkość obrotową wentylatora o maksymalnej wydajności 56 tys. m³/h. Wartość strumienia powietrza obliczono na podstawie zmierzonego spadku ciśnienia na normowym stożku pomiarowym o znanej charakterystyce.

Testy laboratoryjne – procedura badawcza

Podczas badań wykorzystano przepustnicę wielopłaszczyznową, za pomocą której możliwa była zmiana szczelności

pomieszczenia chronionego. Dla stopnia otwarcia przepustnicy: 0%, 50% i 100% zdefiniowano odpowiednio trzy umowne pojęcia: „klatki z minimalnymi przeciekami (szczelnej)”, „klatki o średnich przeciekach” i „klatki o dużej powierzchni przecieku”. Dla klatki o dużej powierzchni przecieku zachowano wystarczające opory do uzyskania różnicy ciśnienia 50 Pa. W przypadku, gdyby doszło do rzeczywistego całkowitego rozszczelnienia obudowy przestrzeni chronionej, np. na skutek otwarcia drzwi, niemożliwe byłoby utrzymanie parametru ciśnienia 50 Pa. W takiej sytuacji systemy różnicowania ciśnienia mają za zadanie wytworzenie strumienia powietrza o odpowiedniej prędkości przepływającego przez otwór, zabezpieczając przestrzeń chronioną przed zadymieniem.

Na podstawie danych i tabel, które można znaleźć w literaturze [1,8-11] wyznaczono pole powierzchni nieszczelności będące sumą poszczególnych ścieżek wycieku:

$$A_e = \sum_{i=1}^n A_i \quad (6)$$

Gdzie:

A_e – efektywne pole przecieku,
 A_i – pole przecieku poszczególnych ścieżki.

Na rysunku 3 pokazano drogi przecieku dla pomieszczenia laboratoryjnego. Przyjęte wartości pól nieszczelności pokazano w tabeli 1.

Przykładowe obliczenia sumarycznego pola przecieku dla układu szczelnego przedstawiono poniżej:

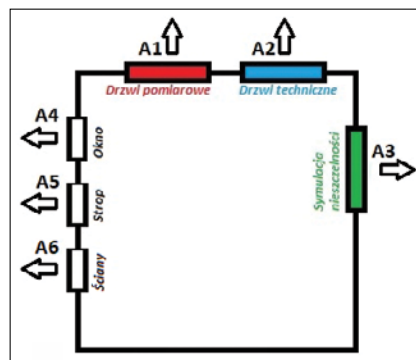
$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 0,0652 \text{ [m}^2\text{]}$$

Teoretyczny strumień objętości powietrza:

$$Q = 0,839 A_e \sqrt{\Delta p} = 0,386 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1392 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tabela 1 – Zestawienie pól przecieku dla poszczególnych ścieżek wypływu (opracowanie własne)

Indeks	Element konstrukcyjny	Powierzchnia nieszczelności [m ²]
A ₁	Drzwi pomiarowe	0,03
A ₂	Drzwi techniczne	0,01
A ₃ (ukł. szczelny)	Przepustnica symulująca nieszczelności	0,0124
A ₃ (ukł. częściowo rozszcz.)	Przepustnica symulująca nieszczelności	0,4244
A ₃ (ukł. rozszcz.)	Przepustnica symulująca nieszczelności	1,41
A ₄	Okno	0,000036
A ₅	Strop	0,004295
A ₆	Ściany	0,008514



Rysunek 3
Równoległe pola przecieku dla pomieszczenia laboratorium (opracowanie własne)

Za pomocą wielopłaszczyznowej przepustnicy wyznaczono trzy potencjalne wielkości nieszczelności, dla których oszacowano całkowity wyciek z pomieszczenia laboratorium. Wielkości te odpowiadają następującym warunkom:

- 1) przepustnica całkowicie zamknięta, klatka schodowa szczelna; oszacowana powierzchnia przecieku: 0,0652 m²; teoretyczny strumień powietrza: 1392 m³/h; przepustnica częściowo otwarta w 50%, klatka schodowa o średnich przeciekach; oszacowana powierzchnia przecieku: 0,477 m²; teoretyczny strumień powietrza: 10191 m³/h;
- 2) przepustnica otwarta w 100%, klatka schodowa o dużej powierzchni przecieku; oszacowana powierzchnia przecieku: 1,463 m²; teoretyczny strumień powietrza: 31241 m³/h.

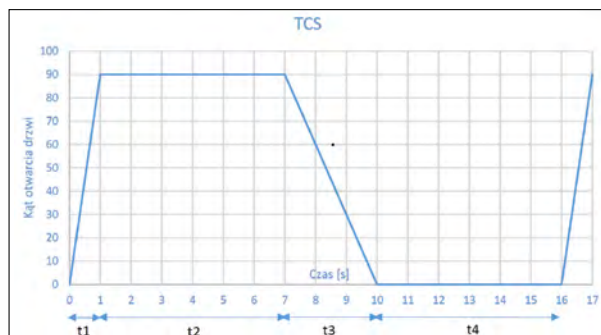
Przeprowadzone badania składały się z dwóch głównych testów uzależnionych od konfiguracji systemu:

- TEST 1 – wytworzenie nadciśnienia w obszarze klatki schodowej przy wykorzystaniu wentylatora napowietrzającego o stałej wydajności:
 - a) dla klatki schodowej z minimalnymi przeciekami (szczelnej),
 - b) dla klatki schodowej o średnich przeciekach,
 - c) dla klatki schodowej o dużej powierzchni przecieku.
- TEST 2 – wytworzenie nadciśnienia w obszarze klatki schodowej przy wykorzystaniu wentylatora napowietrzającego o zmiennej wydajności:
 - a) dla klatki schodowej z minimalnymi przeciekami (szczelnej),
 - b) dla klatki schodowej o średnich przeciekach,
 - c) dla klatki schodowej o dużej powierzchni przecieku.

Każdy z przeprowadzonych testów pomiarowych składał się z cyklu sekwencji (Test Cycle Sequence), symulujących operację otwierania i zamykania drzwi pomiędzy klatką schodową a korytarzem

ewakuacyjnym. Rysunek 4 przedstawia czasy otwierania i zamykania drzwi, które przyjmują następujące wartości:

- t_1 – 1s – czas otwierania drzwi,
- t_2 – 6s – czas, przez który drzwi są otwarte,
- t_3 – 3s – czas zamykania drzwi,
- t_4 – 6s – czas, przez który drzwi są zamknięte.



Rysunek 4
Cykl sekwencji otwarcia drzwi w funkcji czasu (opracowanie własne)

Testy laboratoryjne – przebieg badań oraz wyniki

W celu oceny wpływu nieszczelności na rozkład różnicy ciśnienia pomiędzy klatką schodową, a powierzchnią objętą pożarem, przeprowadzono testy napowietrzania w dwóch konfiguracjach, przedstawionych w punkcie V jako TEST 1, TEST 2, przy trzech poziomach nieszczelności dla każdego testu. Założono, że oczekiwana wartość ciśnienia dla warunków stabilnych wynosi 50 Pa.

Dla układów ze zmienną wydajnością nawiewu wartość ta była osiągana automatycznie, za pomocą sterownika PLC z zaprogramowanym regulatorem PID. Należy podkreślić, że zastosowany w badaniach regulator jest jednym z prostszych elektronicznych układów sterujących, natomiast coraz częściej producenci zestawów różnicowania ciśnienia proponują rozwiązania oparte o algorytmy adaptacyjne, samouczące się lub predykcyjne [12-13]. Badane są również układy oparte o regulatory wykorzystujące wewnętrzny model matematyczny [14]. Przyszłością mogą okazać się systemy regulacji wykorzystujące sieci neuronowe i algorytmy genetyczne [15].

Dla stałej wydajności, wartość ciśnienia osiągnięto poprzez ręczne ustawienie prędkości obrotowej wentylatora za pomocą falownika.

TEST 1

W celu przeprowadzenia testu wykorzystano wentylator napowietrzający o stałej wydajności. Dla układu szczelnego, którego rozkład ciśnienia reprezentowany jest przez linię pomarańczową, usta-

wiona wydajność miała wartość 3459 m³/h. Była to minimalna wartość jaką udało się uzyskać za pomocą falownika (5Hz). Dla układu o średniej powierzchni nieszczelności (rozkład ciśnienia w kolorze zielonym) wydajność wentylatora była na poziomie 12182 m³/h, a dla układu o dużej powierzchni nieszczelności (linia żółta) miała ona wartość 32247 m³/h.

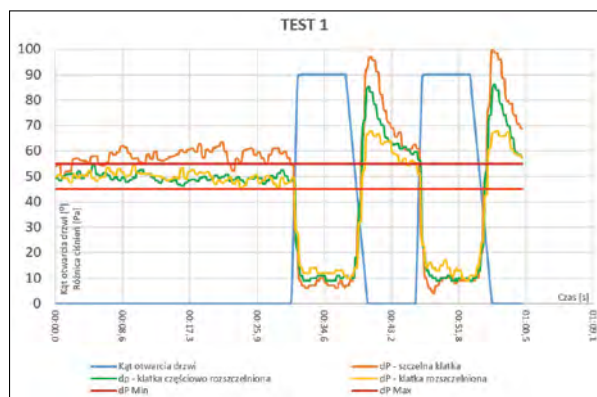
wierzchni nieszczelności, reprezentowany linią żółtą, był zadowalający zarówno podczas stabilnych warunków pracy (drzwi zamknięte), jak również podczas procedury zamykania i otwierania drzwi.

TEST 2

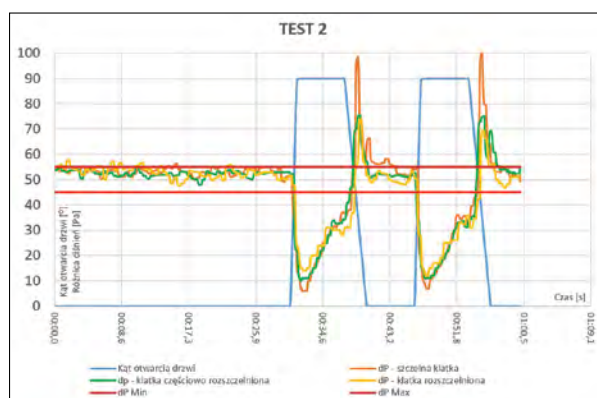
Test 2 był modyfikacją testu 1, polegającą na wykorzystaniu wentylatora o zmiennej wydajności – układ zmiennoprzepływowo z regulacją prędkości obrotowej w pełnym zakresie. Maksymalna wydajność wentylatora wynosiła 56000 m³/h. Rozkłady wartości ciśnienia dla różnych wartości nieszczelności pomieszczenia chronionego przedstawiono na rysunku 6. Pomieszczenie z minimalnymi przeciekami jest reprezentowane przez linię pomarańczową, układ o średnich przeciekach przez linię zieloną, natomiast układ z dużą powierzchnią przecieków ma przyporządkowaną linię żółtą. W obszarze pracy stabilnej, mamy do czynienia z niewielkimi przekroczeniami wartości granicznej różnicy ciśnienia dla układu o minimalnej i dużej powierzchni nieszczelności. W przypadku układu szczelnego możemy zauważyć również znaczne wydłużenie czasu dojścia do oczekiwanej wartości różnicy ciśnienia po zamknięciu drzwi (ok. 2,5 s). Spowodowane jest to bardzo wysokim pikiem ciśnienia (ok. 100 Pa dla linii pomarańczowej) i koniecznością odprowadzenia powietrza w warunkach szczelnego pomieszczenia, co wymaga zastosowania skutecznego hamulca w układzie falownika.

Z wykresu na rysunku 6 wynika, że od 5 s testu linia pomarańczowa znajduje się powyżej wartości granicznej ciśnienia (55 Pa). W dużej mierze jest to spowodowane koniecznością ustawienia wydajności powyżej obliczonej wartości teoretycznej (ograniczenia pracy na falowniku). W momencie zamknięcia drzwi zarówno dla układu o minimalnych (linia pomarańczowa) i średnich nieszczelnościach (linia zielona), czasy dojścia do zakładanej wartości różnicy ciśnienia wynosiły znacznie powyżej 3s. Przebieg dla układu o dużej po-

Rysunek 5
Test TCS dla układu wentylator napowietrzający ze stałą wydajnością (opracowanie własne)



Rysunek 6
Test TCS dla układu wentylator napowietrzający ze zmienną wydajnością (opracowanie własne)



Podsumowanie

W artykule zostały przedstawione badania laboratoryjne dotyczące wpływu zmian szczelności na różnicę wartości ciśnienia pomiędzy przestrzenią chronioną a powierzchnią objętą pożarem w nadciśnieniowych systemach ochrony dróg ewakuacyjnych przed zadymieniem.

Przeprowadzone testy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- w przypadku systemów ze stałą wydajnością, dla układów szczelnych wystąpił wyraźny problem z osiągnięciem wymaganej wartości nadciśnienia, a czas jego osiągnięcia był stosunkowo długi niezależnie od poziomu szczelności klatki,
- dla systemów ze zmienną wydajnością układ nawiewny potrafił osiągnąć docelowe nadciśnienie w zakładanym czasie, niezależnie od poziomu szczelności. Trzeba jednak odnotować, że dla małych szczelności, czas ten był wyraźnie dłuższy,
- rozszczelnienie obudowy pozwoliło zdecydowanie skrócić czas regulacji, a co za tym idzie czas osiągnięcia pożądanej różnicy wartości ciśnienia.

Test nr 1 uwidoczniał, że w przypadku zastosowania wentylatorów o stałej wydajności, spełnienie wszystkich kryteriów stawianych systemom nadciśnieniowym będzie trudne, a wręcz niemożliwe. Układy takie, aby spełniać swoje zadanie muszą dodatkowo zostać wyposażone w elementy i urządzenia umożliwiające automatyczne dopasowanie systemu do panujących warunków, w tym zmiany szczelności obudowy. W przeciwnym razie nie powinny być stosowane jako systemy różnicowania ciśnienia w rozumieniu normy PN-EN12101-6.

W przypadku systemów ze zmiennym strumieniem nawiewanego powietrza, dla utrzymania stabilnego normowego poziomu różnicy wartości ciśnienia pomiędzy klatką schodową, a korytarzem ewakuacyjnym oraz krótkich czasów reakcji, pożądany jest pewien minimalny poziom szczelności obudowy pomieszczenia chronionego. Na podstawie testu 2 można zauważyć pozytywny wpływ zwiększenia szczelności obudowy przestrzeni chronionej na jakość regulacji i utrzymania ciśnienia, a także na skrócenie czasów regulacji. Ma to szczególne znaczenie, w przypadku gdy spełnienie pozostałych kryteriów normowych (kryterium 10Pa i kryterium przepływu przez drzwi) wymaga zastosowania wentylatorów o wydajności kilku – a nawet kilkunastokrotnie większej niż dla kryterium 50Pa.

Podczas badań skupiono się na szczelnościach obudowy przestrzeni chronionej i ich wpływie na parametr ciśnienia dla układów ze stałym i zmiennym strumieniem objętości nawiewanego powietrza. Należy podkreślić, że zastosowanie podczas badań regulatora PID nie wyczerpuje wszystkich oferowanych przez producentów rozwiązań. Na rynku można spotkać systemy nadciśnieniowe wykorzystujące różnego typu algorytmy sterujące zmienną wydajnością wentylatora, jak i zestawy różnicowania ciśnienia z zastosowaniem klapy tensometrycznej, w których napowietrzanie przestrzeni chronionej realizowane jest za pomocą wentylatora o stałej wydajności współpracującego z klapą upustową.

LITERATURA

- [1] PN-EN12101-6:2007, Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień. Zestawy urządzeń

- [2] M. Kosiorek, P. Głąbski, Instrukcja nr 378/2002: Projektowanie instalacji wentylacji pożarowej dróg ewakuacyjnych w budynkach wysokich i wysokościowych, ITB, Warszawa 2002.
- [3] NFPA92, Standard for Control Smoke Systems, National Fire Protection Association: Quincy, MA, USA 2015
- [4] S.Lay, Pressurization systems do not work & present a risk to life safety, Case Studies in Fire Safety, 1/2014, s. 13-17
- [5] E.Butcher, A.Parnell, Smoke Control in Fire Safety Design, E. and F.N. Spon Ltd., 1979
- [6] J. Klote, J.Milke, Principles of smoke management. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc, 2002
- [7] N161-prEN12101-6:DRAFT, Smoke and heat control systems-Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits – DOK TG2 N161,TC191/SC1/WG6/TG2, rev EN12101-6: May 2016
- [8] P.Hobson, L.Stewart, Pressurization of escape routes in buildings, Fire Research Notes 958. Heating, Ventilating Research Association, 1972
- [9] G.Tamura, C.Shaw, Air leakage data for the design of elevator and stair shaft pressurization systems, ASHRAE Transactions 82(2), 1976, s. 179-190
- [10] G.Tamura, C.Shaw, Design of a Stairshaft Pressurization System for Tall Buildings, ASHRAE JOURNAL, 2/1976
- [11] J.Klote, Handbook of Smoke Control Engineering, Chapter 3, 2012
- [12] P. Szałański, J.Misiński, E3S Web of Conferences 22, 2017
- [13] J. Wiche, A. Majdański, Pierwsze na świecie urządzenie wentylacyjne służące bezpieczeństwu ludzi z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, Chłodnictwo & klimatyzacja nr 3, 2012, s.42-44
- [14] K. Kula, K.Pozorski, Układ regulacji z modelem wewnętrznym sterującym obiektem nieliniowym, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 40, 2014, s. 66-68
- [15] A. Rashidifar, A. Abertavi, A novel technique for controller, International Journal of Applied Control, Electrical and Electronics Engineering (IJACEEE), tom 2, Nr 2, Maj 2014