

mgr inż. Grzegorz Krajewski<sup>1</sup>  
mgr inż. Wojciech Węgrzyński<sup>1</sup>

Przyjęty/Accepted/Принята: 13.06.2016;  
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 19.08.2016;  
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

## Bariera powietrzna jako podział przestrzeni o charakterze liniowym w warunkach pożaru<sup>2</sup>

### Air Barrier as a Compartmentation of Longitudinal Space in Fire Conditions

### Использование воздушной преграды для разделения линейного пространства в условиях пожара

#### ABSTRAKT

**Cel:** Przedstawienie wyników badań własnych autorów w obszarze zastosowania barier powietrznych do wydzielenia obszarów niezadymionych w czasie pożaru w przestrzeniach o charakterze liniowym. Wyniki zaprezentowane w pracy są rezultatem badań przeprowadzonych w Zakładzie Badań Ogniowych ITB.

**Wprowadzenie:** Bariery powietrzne są stosowane jako „wirtualne przegrody” pozwalające na zredukowanie wymiany ciepła i masy pomiędzy dwoma przyległymi do siebie strefami o różnych parametrach środowiska. Bariera powietrzna wytwarza odpowiednio duże ciśnienie dynamiczne na wylocie, uniemożliwiając tym samym poprzeczny przepływ poprzez otwór, w którym jest zlokalizowana. Kurtyny powietrzne mogą być wykorzystane do ograniczenia rozprzestrzeniania dymu w przypadku pożaru poprzez wydzielenie stref niezadymionych. Prawidłowe zastosowanie bariery powietrznej jako elementu systemu wentylacji pożarowej pozwala na podzielenie przestrzeni liniowych, jakimi są np. korytarze, na odcinki, w których dym będzie utrzymywany w obszarze od kurtyny do wyciągu powietrza. Jednym z kluczowych aspektów w tym obszarze jest zapewnienie jak najwyższej szczelności takiej kurtyny.

**Metodologia:** W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w skali rzeczywistej, które są podstawą do weryfikacji przyjętego modelu numerycznego. Badania dotyczyły pomiaru rozkładu prędkości w osi płaskiej strugi ograniczonej dla różnych szerokości szczeliny nawiewnej. Po przeprowadzonej weryfikacji wykonano szereg analiz numerycznych funkcjonowania bariery powietrznej dla różnych zmiennych, do których należały: wysokość korytarza, szerokość szczeliny nawiewnej, prędkość w przekroju korytarza przy uwzględnieniu oddziaływania gazów powstałych w wyniku pożaru.

**Wnioski:** W przypadku przestrzeni o charakterze liniowym, takich jak korytarze czy tunele, dym i ciepło powstałe w czasie pożaru rozprzestrzeniają się znacznie szybciej niż w przestrzeniach o dużej kubaturze i rozległej geometrii. Z uwagi na ewakuację ludzi i podjęcie działań ratowniczo-gaśniczych istotne jest ograniczenie obszaru, w którym dym może się rozprzestrzenić. Bariery powietrzne o prawidłowo dobranych parametrach są w stanie skutecznie powstrzymać rozprzestrzenianie się dymu i ciepła dzięki wytworzeniu „przegrody”, która jednocześnie umożliwi swobodny przepływ ludzi i urządzeń. W zależności od wymagań stawianych przez projektanta kurtyna może być „przegrodą” dla dymu i ciepła bądź tylko dla dymu (co wiąże się z niższymi prędkościami na wylocie ze szczeliny nawiewnej). Rozwiązanie to może być stosowane zarówno w tunelach, łącznikach między stacjami, korytarzach, jak i w wszelkich przestrzeniach, gdzie zastosowanie stałej przegrody w postaci drzwi nie jest możliwe.

**Słowa kluczowe:** wentylacja pożarowa, bariery powietrzne, wentylacja korytarzy

**Typ artykułu:** oryginalny artykuł naukowy

#### ABSTRACT

**Objective:** The aim of the paper is to present the results of research carried out by the authors in the field of using air barriers to separate smoke-free areas during a fire in linear spaces. The results presented in the paper are a culmination of research conducted at the Fire Research Department of the Building Research Institute.

**Introduction:** Air barriers are used as virtual partitions for reducing heat and mass transfer between two zones adjacent to each other of different environmental parameters. It produces sufficiently high dynamic pressure at the exit, thereby preventing lateral movement through the aperture in which it is located. Air curtains can be used to limit the spread of smoke in case of a fire by separating smoke-free zones. Proper use of air barrier as part of a fire ventilation system allows to divide linear spaces such as corridors into sections, where the smoke will be maintained in the area from the curtain to the air extraction shaft. One of key aspects is to ensure the highest tightness of the curtain.

**Methodology:** The study presents the results of laboratory tests in real scale, which is the basis for verification of the adopted numerical model.

<sup>1</sup> Instytut Techniki Budowlanej / Building Research Institute, Poland; g.krajewski@itb.pl;

<sup>2</sup> Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

The research referred to the measurement of velocity distribution in the axis of a flat jet limited for different widths of the inlet slot. After verification, a series of numerical analyzes was carried out to estimate the functioning of the air barrier for different variables, which included: the height of the corridor, the width of the slot diffuser, the speed in the cross-section of the corridor taking into account the interaction of gases produced by the fire.

**Conclusions:** In the linear spaces which are corridors and tunnels, smoke and heat caused by the fire spread much faster than in areas of large volume and extensive geometry. Due to the evacuation of people and rescue and firefighting operations, it is essential to limit the area where the smoke and heat can spread. Air barriers with properly selected parameters can effectively stop the spread of smoke and heat by creating a “partition”, which also allows free movement of people and equipment. Depending on the requirements set by the designer, an air barrier can be used as a partition for smoke and heat, or only for smoke which is associated with lower velocities at the outlet of the inlet slot. This solution can be used in tunnels, connections between stations, corridors and all areas where the use of a fixed partition in the form of solid doors is impossible.

**Keywords:** fire ventilation, air barrier, corridor ventilation

**Type of article:** original scientific article

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Представить результаты собственных исследований авторов в области использования воздушных преград для выделения незадымлённых участков во время пожара в линейном пространстве. Результаты, представленные в работе, являются кульминацией исследований, проведенных в Отделе огневых испытаний.

**Введение:** Воздушные преграды используются в качестве виртуальных преград для уменьшения тепло- и массообмена между двумя соседними зонами с разными характеристиками окружающей среды. Преграда производит достаточно высокое динамическое давление на выходе, тем самым предотвращая поперечное перемещение через отверстие, в котором она расположена. Воздушные преграды могут быть использованы для ограничения распространения дыма в случае пожара и выделения незадымлённых зон. Правильное использование воздушной преграды в качестве компонента системы пожарной вентиляции, позволяет разделить линейные пространства, такие как коридоры, на секции, в которых дым будет задерживаться в районе от преграды до места выхода воздуха. Одним из ключевых аспектов является обеспечение максимальной герметичности преграды.

**Методология:** В исследовании представлены результаты лабораторных испытаний проведенных в реальном масштабе, которые являются основой для проверки принятой числовой модели. Исследования касались измерения распределения скорости по оси плоской струи, ограниченной для различной ширины отверстия диффузора. После проверки, проведена серия числовых анализов функционирования воздушной преграды для различных переменных, к которым принадлежали: высота коридора, ширина отверстия диффузора, скорость в поперечном сечении коридора с учетом взаимодействия газов, возникших в ходе пожара.

**Выводы:** В случае линейного пространства, которым являются в частности коридоры и туннели, дым и тепло, которые появились во время пожара, распространяются гораздо быстрее, чем в пространствах большой кубатуры и обширной геометрии. Из-за эвакуации людей и проведения спасательно-гасящих действий необходимо изолировать место, в которое может распространяться дым. Воздушные барьеры с правильно подобранными параметрами способны эффективно остановить распространение дыма и тепла, создавая „преграду”, которая в то же время позволяет свободно передвигаться людям и оборудованию. В зависимости от требований проектанта преграда может быть барьером для дыма и тепла, или только дыма. Это связано с более низкими скоростями на выходе воздуха из отверстия. Это решение может быть использовано как в туннелях, соединениях между станциями, в коридорах и других помещениях, где использование стационарной перегородки в виде двери является невозможным.

**Ключевые слова:** пожарная вентиляция, воздушные барьеры, вентиляция коридоров

**Вид статьи:** оригинальная научная статья

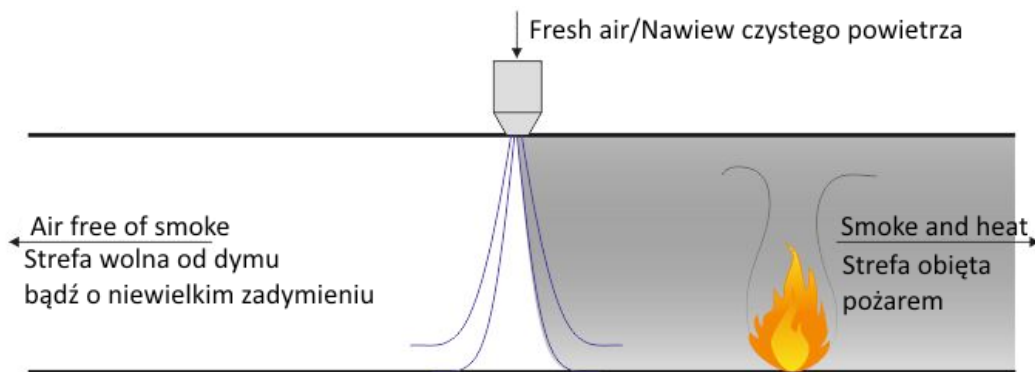
## 1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych zadań towarzyszących wnoszeniu nowych obiektów budowlanych oraz modernizacji obiektów już istniejących jest zapewnienie wymaganego bezpieczeństwa pożarowego. Zadanie to można realizować poprzez zastosowanie zarówno zabezpieczeń pasywnych w postaci przegród budowlanych o odpowiedniej klasie odporności ogniowej, jak i rozwiązań aktywnych w postaci różnorodnych systemów i instalacji, takich jak systemy detekcji pożaru, tryskaczy oraz wentylacji pożarowej. Podstawowym założeniem systemów wentylacji pożarowej jest wydzielenie obszarów o ograniczonym zadymieniu, które umożliwią ewakuację użytkowników obiektu oraz prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych. W większości budynków i obiektów budowlanych pomieszczenia techniczne oraz lokale handlowo-usługowe połączone są tzw. przestrzeniami o charakterze liniowym. Typowym ich przykładem są korytarze umożliwiające ludziom przemieszczanie się pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami bądź przyległymi do nich obszarami.

W przypadku pożaru w obiektach liniowych (np. korytarzach, tunelach bądź pionowych ciągach komunikacyjnych) bardzo ważne jest ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu i ciepła, które pozwoli zachować w tych obiektach wymagane warunki środowiska. Rozprzestrzenianie się dymu i przepływ

ciepła podczas pożaru można ograniczyć między innymi poprzez podział przestrzeni za pomocą przegród budowlanych. Tego typu rozwiązanie nie zawsze jest możliwe do zastosowania z uwagi na uwarunkowania architektoniczne i funkcjonalne. Ponadto przegrody fizyczne ograniczają dostęp do strefy objętej pożarem oraz możliwość przemieszczania się. Zdaniem autorów innym rozwiązaniem, które w wielu przypadkach może z powodzeniem zastąpić fizyczną przegrodę budowlaną, jest bariera, która spełniałaby rolę przegrody fizycznej ograniczającej rozprzestrzenianie się dymu i przepływ ciepła, ale jednocześnie nie zakłócałaby ruchu osób i urządzeń. Proponowane rozwiązanie to bariera powietrzna, która łączy obie wyżej wymienione cechy (ryc. 1).

Aktualny stan wiedzy pozwala stwierdzić, iż bezpośrednio oddziaływanie wysokiej temperatury nie jest głównym czynnikiem zagrażającym życiu ludzkiemu podczas pożaru. Większość wypadków w takich zdarzeniach spowodowane jest zatruciem toksycznym dymem. W celu zmniejszenia liczby ofiar pożarów można zastosować kurtyny powietrzne, które pozwalają na wydzielenie przestrzeni objętej zadymieniem. Kurtyny mają za zadanie kontrolować rozprzestrzenianie się dymu i toksycznych gazów, a w konsekwencji zapewniać dostęp do obiektu dla ekip ratowniczo-gaśniczych oraz do wyjść ewakuacyjnych dla ludzi znajdujących się w obiekcie [4]



Ryc. 1. Schemat zastosowania kurtyn powietrznych w tunelu do celów bezpieczeństwa pożarowego

Fig. 1. Diagram of applying air curtains in a tunnel for fire safety reasons

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Idea zastosowania kurtyn powietrznych powstała w 1904 roku. Pierwszy opatentował je w USA T. Van Kennet – jako metodę na powstrzymanie przepływu powietrza dzięki sztucznie wytworzonemu strumieniowi powietrza nawiewanego. Pomysł ten doczekał się pierwszej realizacji ponad 10 lat później.

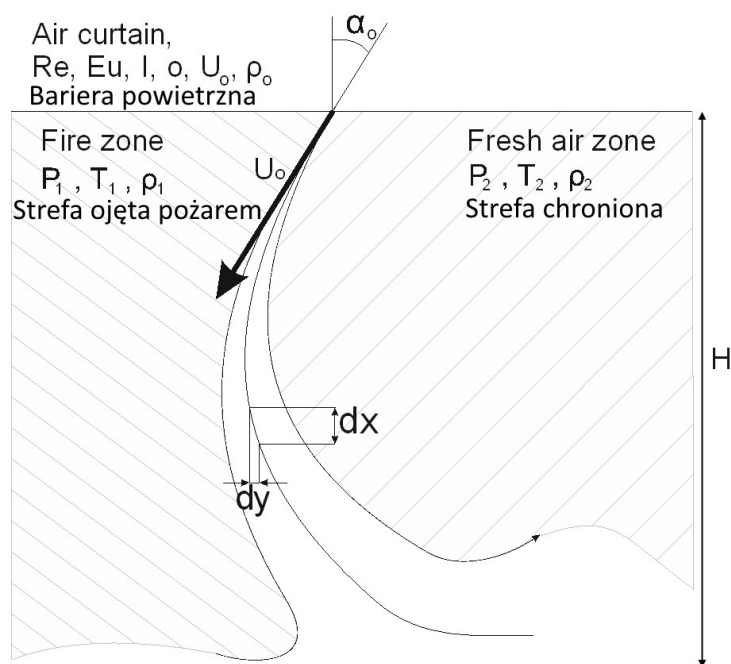
Pierwsza (pionowa) kurtyna powietrzna została zbudowana w 1916 roku przez Caldwell'a i służyła do wydzielenia hipodromu od przestrzeni zewnętrznej trzema kurtynami powietrznymi. Od tego czasu można zauważyć znaczny rozwój kurtyn powietrznych oraz zwiększający się obszar ich zastosowania [1].

Kurtyny powietrzne są instalowane przy wejściach do budynków użyteczności publicznej (takich jak domy towarowe, kina, biura, restauracje) oraz w bramach budynków przemysłowych (magazynów, hali produkcyjnych, hangarów). Zastosowanie kurtyn nie zakłóca przemieszczania się ludzi, pojazdów oraz transportu towarów.

Kurtyny powietrzne znalazły także bardzo szerokie zastosowanie w niektórych procesach technologicznych np. do odcięcia przestrzeni o znacznych zyskach ciepła oraz o znacznym wydzielaniu się substancji szkodliwych, takich jak opary chemiczne, zapachy, bakterie, kurz, insekty i cząsteczki radioaktywne [2-3].

Obecnie istnieje bardzo mało opracowań, które odnoszą się do kurtyn wykorzystywanych do celów wydzielenia stref niezadymionych w czasie pożaru. Według wiedzy autorów jedyną kurtyną powietrzną, która znalazła zastosowanie w tunelu drogowym, znajduje się w Paryżu we Francji na łączeniu tras A13 i A86. Strumień kurtyny nachylony jest pod kątem  $35^\circ$ , zaś prędkość na wylocie wynosi 30 m/s. Szczelność kurtyny sięga niemal 100% przy różnicy ciśnienia do 80 Pa [5].

Prawidłowo zaprojektowana kurtyna powietrzna jest w stanie wytworzyć ciśnienie dynamiczne zapobiegające bądź znacznie ograniczające przepływ masy i ciepła pomiędzy dwoma płynami, które rozgranicza (ryc. 2). Zasadniczym kryterium skuteczności kurtyny powietrznej jest jej szczelność.



Ryc. 2. Schemat funkcjonowania kurtyny powietrznej w warunkach pożaru

Fig. 2. Diagram of the operation of an air curtain in fire conditions

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Zgodnie z przedstawionym na ryc. 2 modelem wpływ na kształt bariery powietrznej poddanej oddziaływaniu różnicy ciśnienia i temperatury ma wiele zmiennych. Można do nich zaliczyć: różnicę ciśnienia, różnicę temperatury, kąt i prędkość nawiewanego powietrza oraz szerokość szczeliny, różnicę temperatury ( $\Delta P$ ,  $\Delta T$ ,  $H$ ,  $e$ ,  $\alpha$ ,  $U_0$ ,  $I_0$ ,  $\nu$ ,  $\rho$ ). Zależności między nimi można przedstawić w formie równania:

$$\frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_0^2} = f\left[\frac{H}{e}, \frac{U_0 e}{\nu}, I_0, \alpha, \Delta T, C_{dymu}\right] \quad [1]$$

gdzie:

- $g$  – przyspieszenie grawitacyjne [ $m/s^2$ ],
- $\Delta P$  – różnica ciśnienia [Pa],
- $\rho$  – gęstość powietrza [ $kg/m^3$ ],
- $e$  – szerokość szczeliny nawiewnej [m],
- $U_0$  – prędkość powietrza na wylocie ze szczeliny [m/s],
- $\alpha$  – kąt pod jakim nawiewana jest struga [ $^\circ$ ],
- $\nu$  – lepkość kinematyczna [ $m^2/s$ ],
- $I_0$  – intensywność turbulencji [%],
- $C_{dymu}$  – koncentracja dymu [ $g/m^3$ ].

W celu rozwiązania zagadnienia wykorzystano narzędzia do numerycznej mechaniki płynów (CFD) w postaci aplikacji ANSYS Fluent 14.5. Aplikacja ta pozwala na przeprowadzenie szczegółowej analizy rozkładu prędkości, temperatury oraz stężenia dymu w analizowanej przestrzeni.

Zaprojektowanie prawidłowo funkcjonującej kurtyny nie jest prostym zadaniem, gdyż na jej parametry ma wpływ wiele czynników w tym m.in.: szerokość szczeliny nawiewnej, wysokość tunelu, stosunek wysokości tunelu do szerokości szczeliny, prędkość nawiewanego powietrza, kąt nachylenia strumienia oraz parametry środowiska po obu stronach kurtyny, takie jak ciśnienie i temperatura. Obecnie stosowane instalacje kurtyn powietrznych są regulowane w oparciu o badania modelowe bądź też bardzo kosztowne badania w pełnej skali technicznej. Przeskalowanie badań do skali rzeczywistej również jest złożone i bardzo często prowadzi do przeszacowania parametrów kurtyny powietrznej. Dlatego też, w celu prowadzenia dokładnych analiz parametrów, coraz częściej

stosuje się metodę numerycznej mechaniki płynów (CFD), która umożliwia ocenę efektywności kurtyny w skali rzeczywistej. W tym celu należy wcześniej przeprowadzić szereg badań weryfikujących, które zapewnią prawidłowy dobór warunków brzegowych do symulacji [6].

## 2. Weryfikacja przyjętego modelu numerycznego

Przed przystąpieniem do analiz, w których uwzględniono oddziaływanie na kurtynę powietrzną wysokiej temperatury powstałej w wyniku pożaru oraz różnicy ciśnienia, wykonano badania mające na celu weryfikację prawidłowości przyjętych modeli matematycznych. Weryfikację przeprowadzono na podstawie eksperymentów w skali rzeczywistej, gdzie badano rozkład prędkości w osi płaskiej strugi. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym zlokalizowanym w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej (ryc. 3). Stanowisko składało się z tuneli o wymiarach 8,0 x 1,0 x 2,0 (długość x szerokość x wysokość) oraz skrzynki rozprężnej ze szczeliną o zmiennej szerokości. Badania przeprowadzono dla szerokości szczeliny wynoszącej 10,0; 15,0; 20,0 i 25,0 cm, co pozwalało na uzyskanie stosunku wysokości korytarza do szerokości szczeliny w zakresie 8 ÷ 20.

W celu wykonania analiz numerycznych zbudowano trójwymiarowy model (3D) domeny obliczeniowej o wymiarach identycznych jak stanowisko badawcze. Przestrzeń domeny podzielono za pomocą siatki hexahedralnej o wymiarach od 0,2 cm do 20 cm. W miejscach, gdzie spodziewano się dużego gradientu prędkości, siatkę zagęszczono (ryc. 4).

Badania weryfikacyjne posłużyły do potwierdzenia prawidłowości przyjętych warunków brzegowych oraz dwurównanowego modelu turbulencji realizabile  $k-\epsilon$  z grupy modeli RANS. Pomiary i analizy CFD przeprowadzono dla 3 wartości prędkości powietrza na wylocie ze szczeliny, wynoszących: 10, 20 i 30 m/s. Szerokość szczeliny wynosiła 0,02 m. Poza obszarem oddalonym o około 20 ÷ 40 cm od wylotu ze szczeliny wyniki pomiarów, jak i analiz były bardzo zbliżone do siebie.

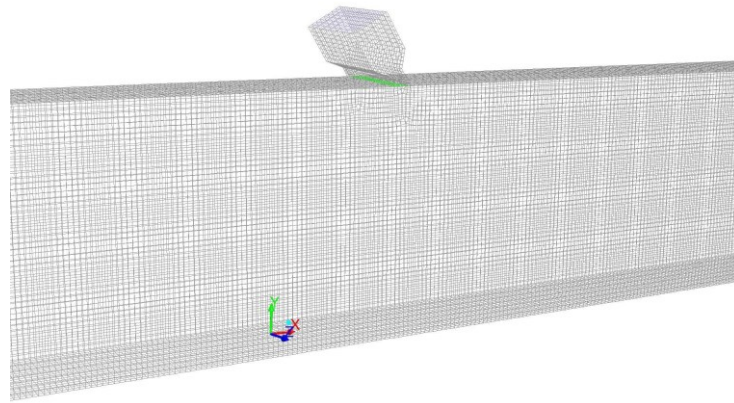
W pozostałej części strugi błąd pomiędzy pomiarami a wynikiem analiz CFD nie przekraczał 10 ÷ 15%, co można uznać za satysfakcjonującą dokładność (ryc. 5).



Ryc. 3. Wizualizacja stanowiska do badań rozkładu prędkości w osi strugi w skali rzeczywistej  
Fig. 3. Visualization of test post used to measure velocity distribution in the axis of a stream in real scale

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



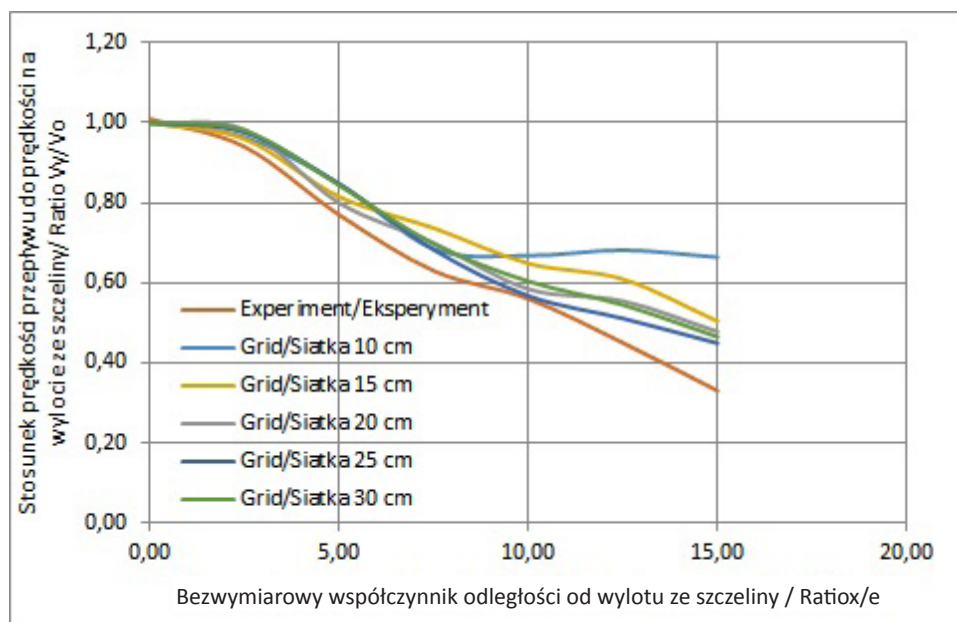
Ryc. 4. Siatka numeryczna w pobliżu szczeliny nawiewnej

Fig. 4. Numerical grid in the vicinity of an air inlet

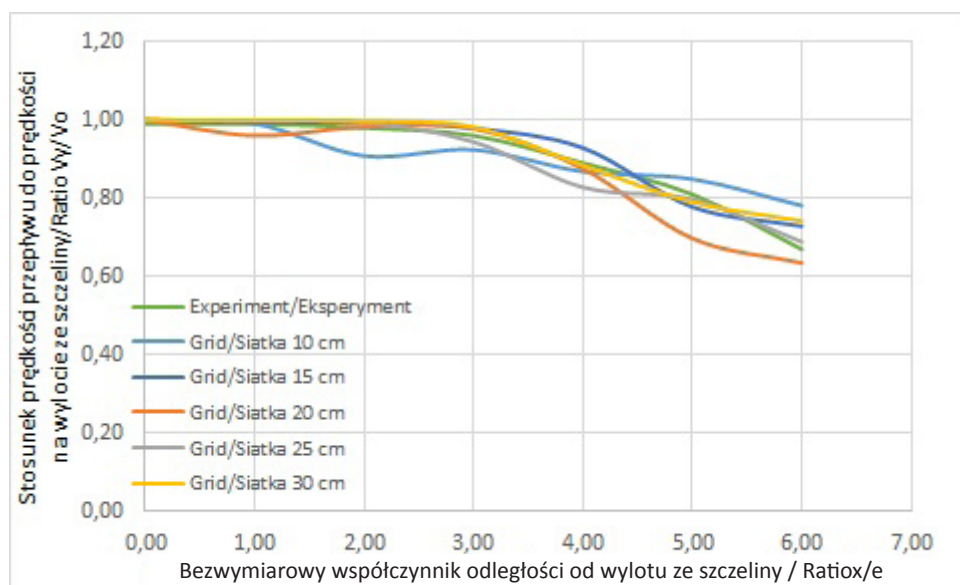
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

a)



b)



Ryc. 5. Porównanie wyników rozkładu prędkości badań z analizami CFD w osi strugi o szerokości a) 0,1 m i b) 0,25 m

Fig. 5. Comparison of the results of velocity distribution of tests with CFD analysis in the axis of a stream with a width of a) 0,1 m and b) 0,25 m

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

### 3. Kurtyna powietrzna jako wydzielenie obszarów na wypadek pożaru

Po przeprowadzeniu analiz numerycznych, mających na celu dobór właściwego modelu turbulencji, przeprowadzono szereg analiz numerycznych płaskiej strugi ograniczonej, mającej służyć do wydzielenia obszarów niezadymionych na wypadek pożaru.

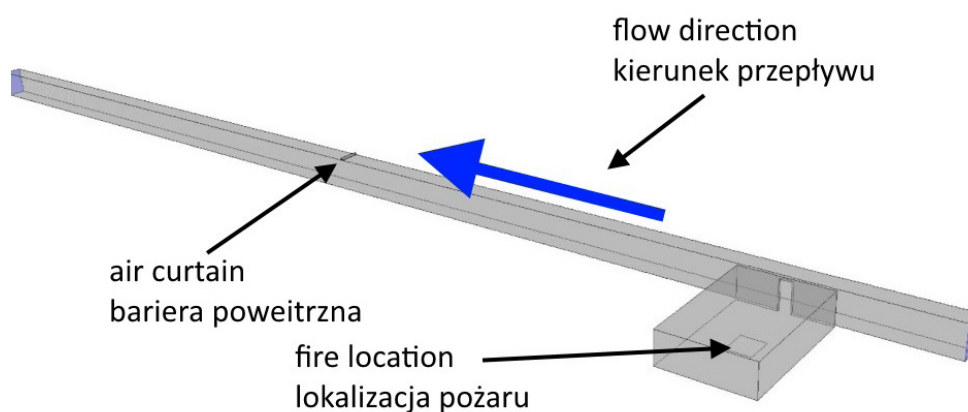
Kurtyna powietrzna, jako struga ograniczona wydzielająca obszary niezadymione od zadymionych w czasie pożaru, powinna charakteryzować się wysoką efektywnością tzn. szczelnością. O poziomie szczelności świadczy przetransportowana przez nią ilość ciepła i masy.

Wpływ na szczelność kurtyny powietrznej mają takie parametry, jak:

- szerokość szczeliny,
- prędkość nawiewanego powietrza,
- kąt nachylenia strugi.

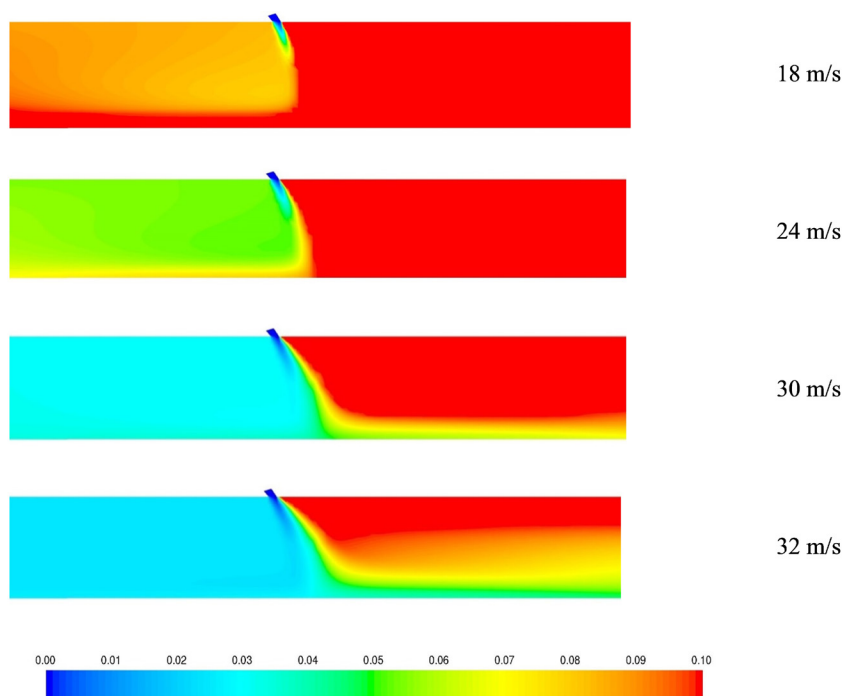
Analizy numeryczne uwzględniające oddziaływanie gazów powstałych w wyniku pożaru w pomieszczeniu przyległym do przestrzeni korytarza (ryc. 6) przeprowadzono dla szczeliny o szerokości 0,15, 0,20 i 0,25 cm. Kąt nachylenia strugi wynosił 30 stopni w kierunku obszaru objętego pożarem. Analizy przeprowadzono dla różnych wariantów wysokości korytarza 2,2; 2,6 i 3,0 m i różnej prędkości poprzecznej w korytarzu 0,5; 1,0 i 1,5 m/s. Przyjęta w analizach moc pożaru wynosiła 2,5 MW.

Szczegółowej analizie poddano takie parametry jak rozkład stężenia dymu i temperatury. Analizy prowadzono dla różnych prędkości nawiewanego powietrza przez nawiew szczelinowy przy zmiennej prędkości poprzecznej w korytarzu oraz różnej wysokości korytarza. Na ryc. 7 przedstawiono rozkład stężenia dymu w przekroju poprzecznym korytarza dla: prędkości poprzecznej w korytarzu 0,5 m/s, wysokości korytarza 2,2 m oraz szerokości szczeliny 0,15 m.



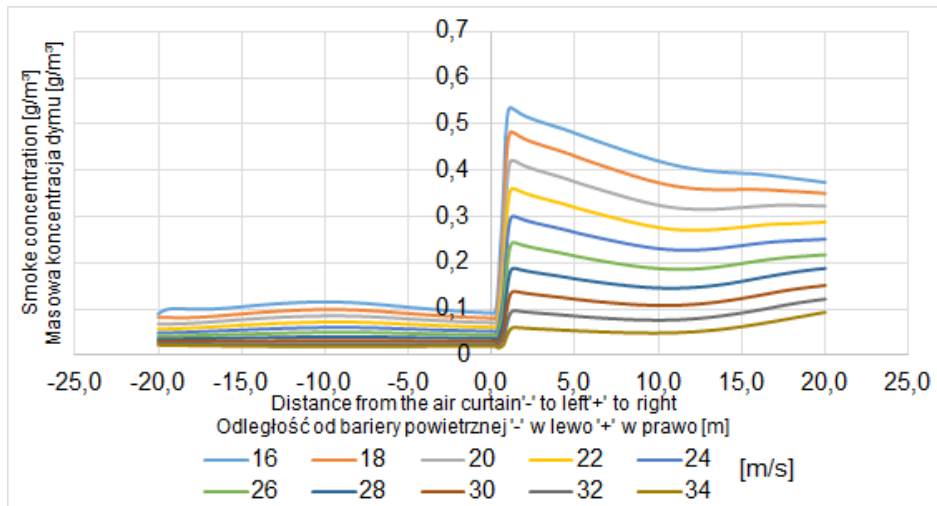
Ryc. 6. Model domeny obliczeniowej do analiz funkcjonowania kurtyny w warunkach pożaru  
Fig. 6. The model of calculation domain for analyzing the operation of an air curtain in fire conditions

Źródło: Opracowanie własne.  
Source: Own elaboration.

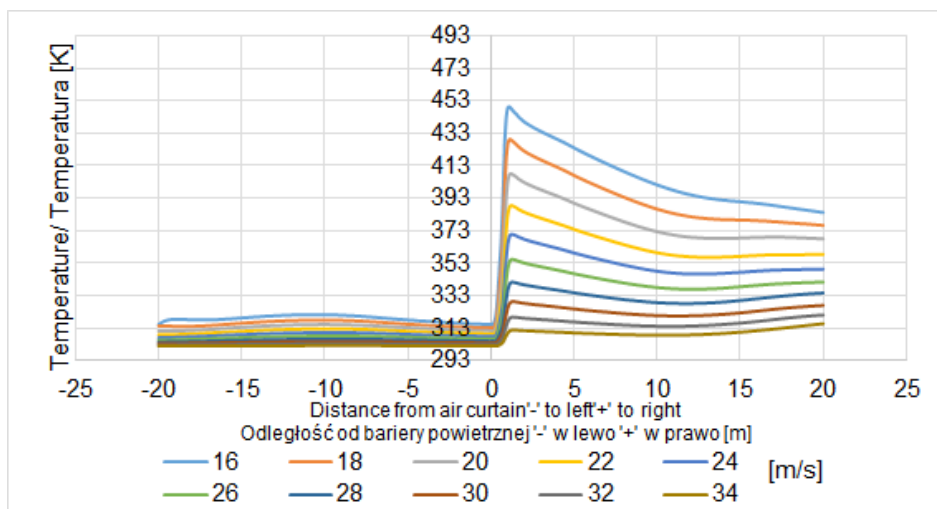


Ryc. 7. Rozkład stężenia dymu w przekroju poprzecznym korytarza  
Fig. 7. Distribution of smoke concentration in the cross-section of the corridor

Źródło: Opracowanie własne.  
Source: Own elaboration.

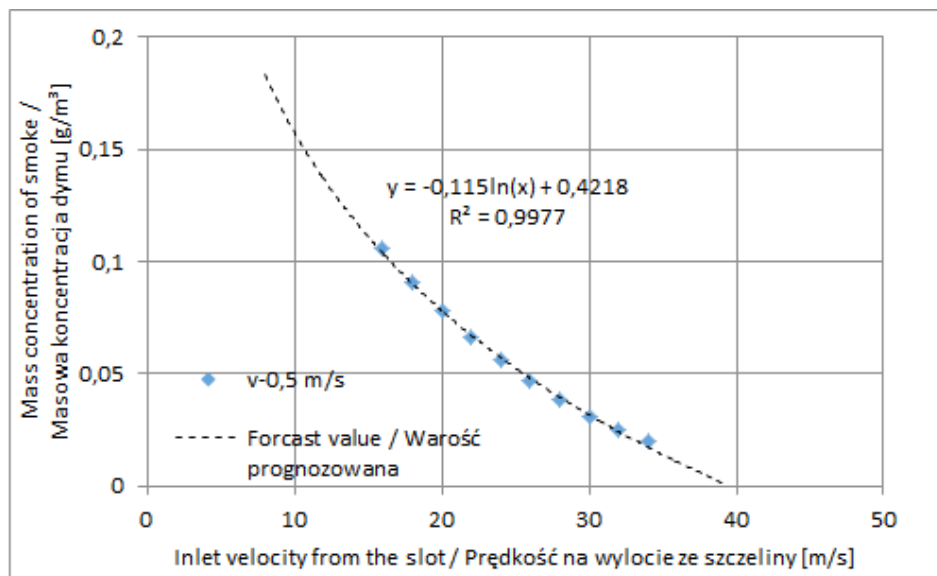


a)

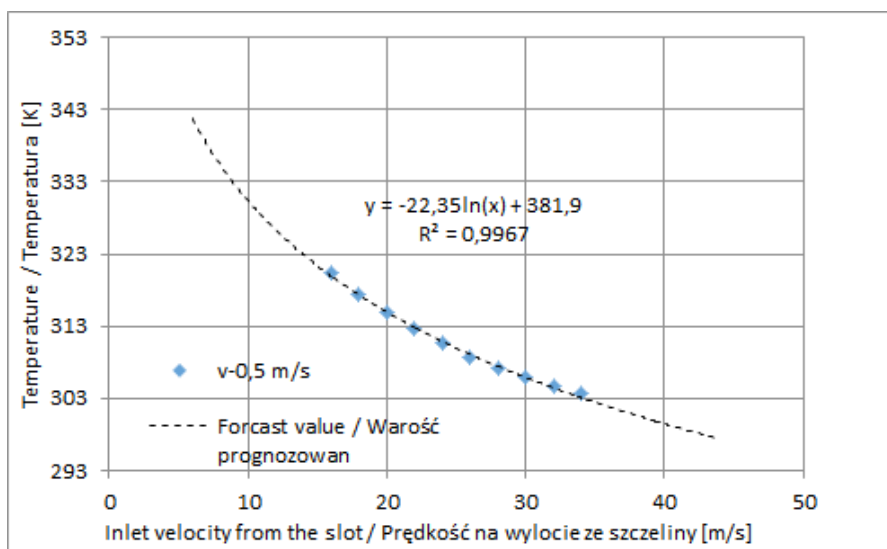


b)

Ryc. 8. Stężenie dymu oraz rozkład temperatury w osi korytarza  
Fig. 8. Smoke concentration and temperature distribution in the corridor axis  
Źródło: Opracowanie własne.  
Source: Own elaboration.



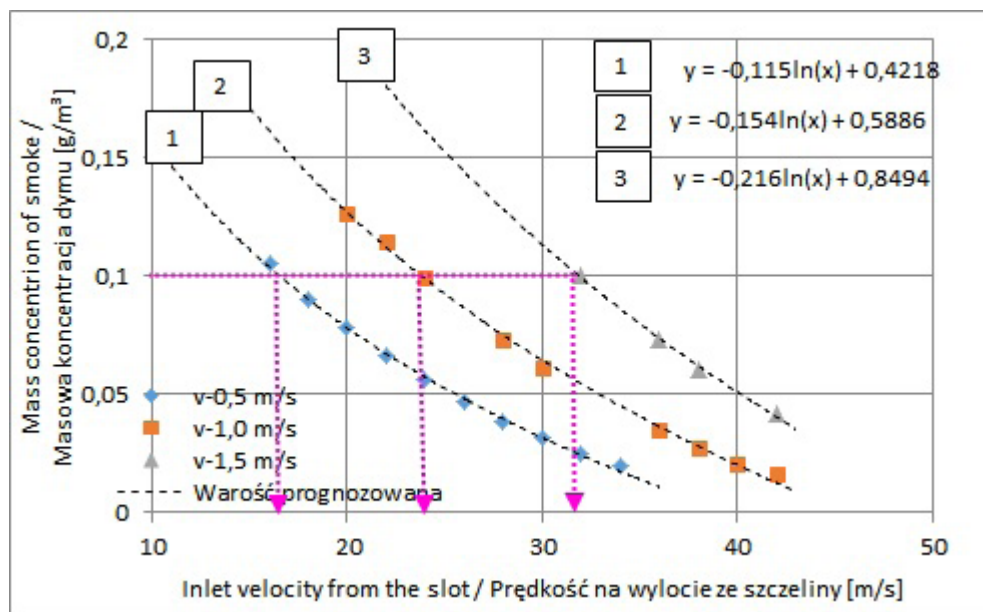
a)



b)

Ryc. 9. Krzywe przedstawiające zależność stężenia dymu i temperatury od prędkości nawiewanego powietrza  
 Fig. 9. Curves presenting the dependence of smoke concentration and temperature on air velocities

Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.



Ryc. 10. Przykład doboru prędkości powietrza nawiewanego przez szczelinę w zależności od szerokości szczeliny  
 Fig. 10. An example of selecting the velocity of air blown through the inlet slot, depending on the width of the slot

Źródło: Opracowanie własne.  
 Source: Own elaboration.

Szczegółowe wyniki stężenia dymu i rozkładu temperatury przedstawiono w formie wykresu w osi korytarza dla różnych prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę zlokalizowaną w suficie korytarza (ryc. 8).

Otrzymane wyniki stężenia dymu oraz rozkładu temperatury pozwoliły na opracowanie wykresów opisujących ich zależność od prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę przy zadanej prędkości poprzecznej w korytarzu (ryc. 9).

Przedstawione wykresy pozwalają na dobór wymaganej prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę dla różnych wysokości oraz szerokości szczeliny nawiewnej i prędkości w przekroju korytarza (ryc. 10).

Na podstawie powyższego nomogramu w prosty sposób można dobrać prędkość nawiewu powietrza w odniesieniu do

wymaganego stężenia dymu po stronie nieobjętej pożarem, które wynosi 0,1 g/m<sup>3</sup>. Prędkość nawiewanego powietrza dla szczeliny o szerokości 0,15 m i prędkości przepływu powietrza w korytarzu wynoszącej odpowiednio 0,5; 1,0 i 1,5 m/s będzie wynosiła odpowiednio 16,0; 24,0; 33,0 m/s. Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych możliwy jest dobór parametrów kurtyny powietrznej w zależności od trzech zmiennych: wysokości korytarza, szerokości szczeliny oraz prędkości poprzecznej w przestrzeni korytarza.

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz numerycznych, wykorzystujących metodę numerycznej mechaniki płynów (CFD), potwierdzono fakt, iż bariera powietrzna



może pełnić funkcję przegrody dla dymu i ciepła w warunkach pożaru. Dobór parametrów bariery powietrznej jest zależny od wysokości przestrzeni, w której będzie ona zainstalowana oraz od prędkości poprzecznej powietrza w przestrzeni tunelu bądź korytarza. Parametry płaskiej strugi ograniczonej szczeliny bądź prędkości nawiewanego powietrza. Ponadto należy mieć na uwadze, iż niedoszacowanie prędkości nawiewanego powietrza dla danej szerokości szczeliny powoduje przełamanie bariery powietrznej i ograniczenie jej skuteczności.

## Literatura

- [1] Goyonnaud L., Sollicc C., *Mass transfer analysis of an air curtain system*, "Transactions on Engineering Science" 1998, Vol. 18.
- [2] Gugliemetti F., Santrapia L., Zori G., *Air curtain applied to fire smoke pollution control*, "Transactions on Ecology and the Environment" 2003, Vol. 66.
- [3] Guyonnaud L., Sollicc C., Dufresene de Virel M., Rey C., *Design of air curtains used for area confinement in tunnels*, "Experiments in Fluids" 2000, 28, 377-384.
- [4] Sztarbala G., Krajewski G., *Application of CAE in designing process of fire ventilation system based on jet fan system*, EBECC, London 2009.
- [5] Gupta S., Pavageau M., Elicer-Cortes J.C., *Cellular confinement of tunnel sections between two air curtains*, "Building and Environment" 2007, 42, 3352-3365.
- [6] Krajewski G., Węgrzyński W., *Air curtain as a barrier for smoke in case of fire: Numerical modelling*, "Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences" 63(1), 145-153
- [7] Hayes F.C., Stoecker W.F., *Heat Transfer Characteristics of the Air Curtain*, "ASHRAE Transactions" 1969, No. 2120.
- [8] Hayes F.C., Stoecker W.F., *Desig Data For Air Curtains*, "ASHRAE Transactions" No. 2121, 196
- [9] Rajaratnam N., *Turbulent jets*, Elsevier, Amsterdam 1976
- [10] Schlichting H., *Boundary layer theory*, Mc Graw-Hill Book, New York 1968.
- [11] Abramovitch G.N., *The theory of turbulent jets*, M.I.T. press, Massachusetts 1963.
- [12] ANSYS Fluent 14.5. Technical Documentation.

\* \* \*

**mgr inż. Grzegorz Krajewski** – pracownik Zakładu Badań Ogniwych Instytutu Techniki Budowlanej od 2007 r. Ukończył wydział Inżynierii Środowiska na Politechnice Warszawskiej. Specjalizuje się w zakresie analiz numerycznych z wykorzystaniem metody numerycznej mechaniki płynów (CFD) w szczególności w obszarze rozprzestrzeniania się dymu i ciepła oraz oddziaływania warunków środowiska zewnętrznego na obiekty budowlane (przepływy wewnętrzne, aerodynamika obiektów budowlanych). Współautor opracowań z projektów badawczo-rozwojowych oraz szeregu artykułów i publikacji naukowo technicznych na konferencjach krajowych i zagranicznych o tematyce związanej z bezpieczeństwem pożarowym, inżynierią wiatrową oraz analizami numerycznymi.

**mgr inż. Wojciech Węgrzyński** – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, doktorant w Instytucie Techniki Budowlanej. Od 2010 roku zatrudniony w Zakładzie Badań Ogniwych Instytutu Techniki Budowlanej, obecnie pełni funkcję Kierownika Pracowni Kontroli Dymu, Sygnalizacji i Automatyki Pożarowej. Obszarem zainteresowań naukowych autora są zjawiska związane z przepływem dymu i wentylacją pożarową, rozwojem pożaru oraz narzędzia inżynierskie wykorzystywane w ich analizie.