

**SCIENTIFIC  
STUDIES**  
Monographs

**PRACE  
NAUKOWE**  
Monografie

Wojciech Węgrzyński

Wpływ układu przegród  
w budynku na przepływ dymu  
w warunkach pożaru

Impact of building partitions  
on the flow of smoke in fire



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2021

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny  
Z-cy redaktora naczelnego

Sekretarz  
Członkowie

prof. dr hab. inż. LECH CZARNECKI  
prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI  
dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. ITB  
dr MICHAŁ GAJOWNIK  
dr hab. inż. PAWEŁ LEWIŃSKI, prof. ITB  
dr inż. TERESA MOŻARYN  
mgr inż. JAN SIECZKOWSKI  
dr inż. EWA SZEWCZAK  
dr inż. SEBASTIAN WALL

## Recenzenci

dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. ITB  
dr hab. inż. TOMASZ LIPECKI, prof. PL  
prof. zw. dr hab. inż. BOGDAN MIZIELIŃSKI

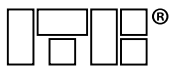
Redakcja  
dr MICHAŁ GAJOWNIK

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej  
Warszawa 2021

*Czterysta siedemdziesiąta pozycja*  
*„Prac Naukowych ITB”*

ISBN 978-83-249-8583-8; 978-83-249-8594-4 (PDF)

Wydawca i Autorzy dołożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności, ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.



**Instytut Techniki Budowlanej**

Dział Wydawnictw Naukowych  
02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19  
tel.: 22 56 64 208, e-mail: [wydawnictwa@itb.pl](mailto:wydawnictwa@itb.pl) [www.itb.pl](http://www.itb.pl)

## Spis treści

<i>Streszczenie</i> .....	5
<i>Summary</i> .....	7
Od Autora.....	9
1. Wprowadzenie .....	13
1.1. Przepływ dymu w obiekcie budowlanym .....	13
1.2. Systemy wentylacji pożarowej .....	17
1.3. Wentylacja oddymiająca.....	18
1.4. Wymiarowanie systemów wentylacji oddymiającej .....	21
1.5. Problematyka badań nad przepływem dymu w układach przegród budowlanych .....	23
2. Zagrożenia związane z dymem a bezpieczeństwo pożarowe w budynku .....	27
2.1. Zagrożenia związane z dymem.....	27
2.2. Kryteria akceptowalności ryzyka związanego z zadymieniem.....	31
3. Przepływ dymu przez układ przegród budowlanych .....	35
3.1. Rozwój pożaru a przepływ dymu w układzie pomieszczeń .....	35
3.2. Wpływ dymu z pomieszczenia objętego pożarem .....	38
3.3. Określanie masowego strumienia dymu płynącego pod przegradą poziomą .....	41
3.4. Określanie masowego strumienia dymu wpływającego do zbiornika dymu .....	46
4. Modelowanie przepływu dymu .....	51
4.1. Modelowanie fizykalne .....	51
4.2. Modelowanie strefowe .....	54
4.3. Metoda obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) .....	56
5. Badania eksperymentalne i poczynione założenia .....	67
5.1. Podsumowanie autorskich badań eksperymentalnych.....	67
5.2. Wybrany układ przegród budowlanych.....	70
5.3. Założenia do obliczeń numerycznych.....	71
5.4. Określanie masowego strumienia przepływu w wybranej płaszczyźnie .....	73
5.5. Model fizykalny wykorzystany do walidacji obliczeń.....	75

6. Określenie przepływu dymu w wybranym układzie przegród budowlanych.....	79
6.1. Eksperyment 1 – wpływ wielkości i kształtu lokalu oraz lokalizacji pożaru na masowy strumień dymu.....	79
6.2. Eksperyment 2 – wpływ wielkości otworu w przegrodzie pionowej na masowy strumień dymu .....	85
6.3. Eksperyment 3 – wpływ głębokości przegrody poziomej na przepływ dymu .....	99
7. Podsumowanie i wnioski.....	111
Bibliografia .....	115

## **WPLYW UKŁADU PRZEGRÓD W BUDYNKU NA PRZEPLYW DYMU W WARUNKACH POŻARU**

### *Streszczenie*

Monografia obejmuje zagadnienia związane z niewymuszonym przepływem dymu przez układy przegród budowlanych w wielkokubaturowych obiektach budowlanych, co ma praktyczne znaczenie w projektowaniu systemów wentylacji pożarowej. Skuteczny system wentylacji musi odbierać każdy przepływ dymu mający miejsce w budynku – a zatem istnieje bezpośrednie powiązanie pomiędzy parametrami systemu wentylacji, poziomem bezpieczeństwa w obiekcie budowlanym oraz układem przegród budowlanych, jakie na swojej drodze pokonuje dym. Istniejące modele analityczne przepływu dymu uwzględniają architekturę obiektu jako jeden z warunków brzegowych. Jak pokazują prace walidacyjne, prowadzone również przez Autora, to uwzględnienie jest prawidłowe tylko dla wąskiego zakresu zmienności wymiarów przegród, bliskich konfiguracji eksperymentalnej, będącej odniesieniem dla poszczególnych modeli. Z uwagi na powyższe, w modelach zawarto duże marginesy bezpieczeństwa – często bezzasadne, podnoszące koszty instalacji niewspółmiernie do wpływu tego przewymiarowania na bezpieczeństwo użytkowników budynku.

Rozważania prowadzone w monografii ograniczono do wielkokubaturowego obiektu handlowego, w którym znajdują się lokale handlowe i pasaż handlowy. Teoretyczny pożar umiejscowiono w lokalu, z którego przez witrynę przepływa dym do pasażu. Przepływ ograniczony był kolejnymi przegrodami budowlanymi – pionową na granicy lokalu i pasażu oraz poziomą w samym pasażu. Dopiero po pokonaniu tych przegród dym trafiał do zbiornika dymu, skąd był usuwany. Prowadzone badania, w odróżnieniu od dotychczas opisanych w literaturze, cechowało szacowanie strumienia dymu bezpośrednio przy przegrodach budowlanych, co pozwoliło na rozłączne określenie wpływu każdej z nich na przepływ dymu.

Badania przedstawione w niniejszej pracy realizowano z wykorzystaniem modeli numerycznych obliczeniowej mechaniki płynów (ang. *Computational Fluid Dynamics*, CFD), dwustrefowego modelu pożaru, modeli analitycznych inżynierii bezpieczeństwa pożarowego oraz modelu fizycznego w skali 1 : 10. Oceniano wpływ zmienności następujących parametrów, opisujących układ przegród budowlanych na przepływ dymu w układzie: wielkość pomieszczenia, szerokość i wysokość otworu łączącego pomieszczenie z pasażem, obec-

ność przegrody pionowej na drodze dymu lub głębokość przegrody poziomej w samym pasażu handlowym.

Wnioski sformułowane na podstawie badań wskazują na niedoskonałości istniejących analitycznych modeli pożaru oraz przepływu dymu w obiektach budowlanych. Zgodność pomiędzy prostymi modelami a pomiarami rzeczywistymi bądź badaniami numerycznymi uzyskiwana jest w wąskim zakresie zmienności wymiarów przegród budowlanych. W trakcie badań zaobserwowano, że pomimo uzyskania uśrednionej wartości masowego strumienia przepływu dymu, zbliżonej do wartości wyznaczonej modelami analitycznymi, wartość tę cechuje duże odchylenie standardowe. Oznacza to, że rzeczywisty przepływ może znacząco odbiegać od wyznaczonego dotychczasowym uproszczonym modelem, a zatem w praktyce obliczenia należy prowadzić dla znanego układu przegród. Wykorzystanie w tym celu opisanych w literaturze ogólnych współczynników korekcyjnych jest obarczone dużą niepewnością.

Najważniejszym wnioskiem płynącym z badań opisanych w monografii jest możliwość znaczącego podniesienia bezpieczeństwa pożarowego użytkowników lokali handlowych poprzez zwiększenie wymiarów otworów wejściowych do tych lokali. Przeprowadzone badania wskazują, że zwiększenie wejścia generuje mniejszy koszt w odniesieniu do wymiarowania systemu wentylacji, niż wcześniej sugerowano. Wskazuje to na możliwość efektywnego ekonomicznie podniesienia poziomu bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie poprzez zmianę sposobu kształtowania przegród budowlanych.

## **IMPACT OF BUILDING PARTITIONS ON THE FLOW OF SMOKE IN FIRE**

### *Summary*

The dissertation discusses the phenomena related to the natural flow of smoke, through partitions of a large volume building, which is of great importance to the design of Smoke and Heat Exhaust Ventilation Systems (SHEVS). The SHEVS must be able to remove the smoke from any source of fire within the building – which means that the compartmentation of the building, the level of fire safety and the SHEVS performance are all connected to each other. Existing analytical methodologies used in the estimation of the mass of smoke that flows through the building, use the description of the compartmentation as its boundary condition. Validation work on these methods carried also by the Author of this thesis, shows that these methods are valid only in the narrow range of the size of partitions or openings – close to the setup of experiments from which these methods originate. This leads to inclusion of large safety margins hidden in the calculation methods, which often are unjustified and increase the cost of safety features of the building inadequately to the gain in fire safety they provide.

The research described in this work is limited to a large volume shopping mall, consisting of individual shops and a mall area. Theoretical fire is positioned within a shop and the smoke flows to the mall area through the opening in the storefront. The flow is limited by partitions – vertical partition (referred to as „downstand”) in the storefront, and a projecting balcony inside the mall. After passing these partitions, the smoke can flow directly into the smoke reservoir, from which it is removed. The research carried by the Author differs from other experiments by the location of measurement plane.

The research was carried with the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) method and with the use of Froude-number based physical modeling in 1 : 10<sup>th</sup> scale. The author investigated the influence of following partitions and openings on the flow of smoke within the building: dimensions of the shop, width, and height of the opening in a storefront, the existence of a downstand at the storefront and the depth of projecting balcony.

The results of the research shows that existing description of how building partitions influence the flow of smoke. Good agreement between experiments and existing models was found only for a narrow range of the dimensions of various partitions. Use of downstand or balcony flow coefficients,

a common simplification used in engineering methods, was correct only for averaged results of the experiments. The averaged value had a large standard deviation, which means that in practical engineering these values should not be used, as it may lead to a large error. The performed experiments also have shown, that some technical solutions, such as channeling screens, do not have an as big influence on the fire safety, as previously attributed. A smoke flow in all directions was observed, when the balcony was unequipped with channeling screens, but as estimated, this flow did not cause any significant danger to the building.

The most important conclusion of this thesis is, that it is possible to increase the level of fire safety inside a shopping unit, by increasing the dimensions of its opening. At the same time, this increase has a lesser impact on the dimensioning of SHEVS, than previously attributed. This leads to a conclusion, that this increase of fire safety within the building may require a large change in dimensioning of SHEVS, and thus not generate additional cost.