

DR INŻ. MAŁGORZATA KRÓL (MALGORZATA.KROL@POLSL.PL)

Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska

DR INŻ. ALEKSANDER KRÓL

Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu, Politechnika Śląska

# Oddymianie grawitacyjne obiektów wielkopowierzchniowych

## Natural smoke removal systems for large-scale buildings

W artykule omówiono działanie systemu grawitacyjnego oddymiania obiektów wielkopowierzchniowych. Przepisy wymagają, aby wszystkie takie obiekty były wyposażone w systemy wentylacji pożarowej. Zadaniem tych systemów są: ułatwienie ewakuacji, ochrona konstrukcji budynku oraz wsparcie działania ekip ratowniczych.

Rozwój pożaru w obiekcie zamkniętym zawsze wiąże się z ogromnym zagrożeniem dla życia ludzi w nim przebywających. Nie bez znaczenia są również straty materialne, które powstają w związku z rozprzestrzenianiem się ognia. Rozwój pożaru w budynku powoduje pojawienie się płomieni, wysokiej temperatury oraz dymu, który może być przenoszony na duże odległości. Spośród wszystkich tych zagrożeń związanych z rozwojem pożaru największe znaczenie ma dym. Dym jest mieszaniną substancji wydzielających się pod wpływem procesu rozkładu termicznego materiałów palnych. Właściwości dymu są zależne od rodzaju i ilości materiału oraz od ilości tlenu i temperatury spalania, które określają stopień dopalenia się cząstek materiału.

Dym podczas pożaru powoduje zmniejszenie widoczności i utratę orientacji. Przy znacznym ograniczeniu widoczności oznakowanie dróg ewakuacyjnych

nie gwarantuje, że ludzie będą poruszać się we właściwym kierunku. Dodatkowo przy dużym zadymieniu może pojawić się element paniki, który spowoduje podejmowanie nieracjonalnych decyzji. Wszystko to może skutkować wydłużeniem czasu ewakuacji [1, 2].

Zapewnienie właściwych warunków ewakuacji oraz ochrona konstrukcji budynków powodują, że obiekty wielkopowierzchniowe wyposażone powinny być w systemy usuwania dymu i ciepła [3]. Działanie systemu usuwania dymu polega na odprowadzeniu gorącego dymu i ciepła przez otwory oddymiające usytuowane w górnej części obiektu oraz na doprowadzeniu powietrza kompensacyjnego w jego dolnej części. Systemy usuwania dymu w obiektach wielkopowierzchniowych mogą działać jako systemy grawitacyjne bądź mechaniczne. Działanie systemów mechanicznych polega na odprowadzaniu gorącego dymu i ciepła za pomocą wentylatorów od-

dymiających usytuowanych na dachu obiektu lub w jego pobliżu; doprowadzenie powietrza kompensacyjnego może odbywać się wtedy w sposób naturalny, tzn. przez drzwi lub bramy. Natomiast działanie systemów grawitacyjnych opiera się na samoczynnym wypływie gorących dymów przez klapy oddymiające umieszczone na dachu obiektu. Temu ostatniemu rozwiązaniu będzie poświęcony poniższy artykuł.

### Przemieszczanie się dymu w budynku

Rozwój pożaru w budynku powoduje powstawanie dymu, który od źródła pożaru przemieszcza się ku górze, tworząc kolumnę konwekcyjną. Jeśli pożar rozwija się w pewnej odległości od przegród, to tworząca się kolumna jest osiowo symetryczna, a jej średnica powiększa się w miarę przesuwania się ku górze. Zwiększenie objętości kolumny konwekcyjnej związane jest z indukcją ota-

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono system grawitacyjnego oddymiania budynków. Omówiono zasady przemieszczania się dymu w obiekcie wielkopowierzchniowym. Zwrócono uwagę na czynniki wpływające na proces przemieszczania się dymu w budynku. Podano również metody obliczania poszczególnych elementów tworzących system grawitacyjnego oddymiania.

### ABSTRACT

The article presents a system of natural smoke removal for buildings. The principles of a smoke management system in a large-area facility are discussed. Attention has been paid to factors affecting the process of smoke migration in a building. The methods of calculating particular elements forming a natural smoke removal system are also given.

### SŁOWA KLUCZOWE

obiekty wielkopowierzchniowe, wentylacja oddymiająca, przemieszczanie się dymu

### KEYWORDS

large-scale buildings, smoke removal system, smoke management

czającego powietrza do kolumny dymu. Indukcja powietrza powoduje zwiększenie objętości kolumny, ale również obniżenie temperatury dymu (rys. 1). Dym po dotarciu do sufitu zacznie się po nim przemieszczać we wszystkich kierunkach. Po dotarciu do przegrody strumień dymu zawinie się i zacznie formować warstwę podsufitową. Jeśli dym nie będzie odprowadzany z warstwy podsufitowej na zewnątrz, to zacznie się obniżać, zagrażając strefie przebywania ludzi oraz konstrukcji budynku.

Systemy grawitacyjne wykorzystują mechanizm wyporu termicznego, czyli samoczynnego przepływu gorących dymów ku górze budynku. Wiąże się z tym ograniczenie dotyczące stosowania systemów oddymiania grawitacyjnego, mogą być one stosowane w budynkach o wysokości do 10-12 metrów. Dla wyższych budynków spadek temperatury dymu w kolumnie konwekcyjnej będzie powodować spadek wydajności oddymiania.

Dym po dotarciu do sufitu zaczyna się gromadzić pod dachem. Otwarcie klap oddymiających umieszczonych

na dachu spowoduje wypłynięcie dymu na zewnątrz budynku. Aby dym wypływał z budynku, musi być do niego dostarczane powietrze zewnętrzne. Dostarczanie powietrza kompensacyjnego może odbywać się przez drzwi lub bramy. Powietrze zewnętrzne powinno być doprowadzane do budynku nisko, najlepiej na poziomie terenu. Prędkość nawiewu powietrza kompensacyjnego nie powinna być zbyt duża. Prędkość nawiewu powietrza kompensacyjnego powyżej 1,5 m/s może spowodować zaburzenie naturalnej stratyfikacji dymu, czyli utrzymywania się dymu w górnej części obiektu i pozostawienie dolnej części wolnej od dymu. Prędkość nawiewu powietrza powyżej 1,5 m/s może więc spowodować zadymienie całej hali. Zwiększenie prędkości nawiewu powietrza kompensacyjnego może być spowodowane na przykład działaniem wiatru.

Oddziaływanie wiatru na budynek powoduje powstanie na jego fasadach obszarów nadciśnienia lub podciśnienia. Generalnie na fasadach nawietrznych powstaje nadciśnienie, a na fasadach za-

wietrznych – podciśnienie. Jeśli otwory napowietrzające, takie jak drzwi i bramy, znajdują się na fasadzie nawietrznej, to napływ powietrza do wnętrza budynku będzie zintensyfikowany. Może to oczywiście spowodować szybszy wypływ dymu przez kłapy oddymiające, ale również, gdy ciśnienie wiatru będzie zbyt duże, może spowodować zadymienie całego obiektu. Jeśli otwory napowietrzające znajdują się na ścianie zawietrznej, to może się zdarzyć, że przez drzwi i bramy będzie wypływać z budynku dym (rys. 2 i 3) [4].

### Elementy systemu oddymiania grawitacyjnego

Dym przemieszcza się ku górze w kolumnie konwekcyjnej. Po dotarciu do sufitu zaczyna się rozprzestrzeniać we wszystkich kierunkach, tworząc warstwę podsufitową dymu. Aby ograniczyć rozprzestrzenianie się dymu pod dachem budynku wielkopowierzchniowego, przestrzeń pod sufitem dzieli się na zbiorniki dymu. W obrębie każdej strefy pożarowej może znaleźć się kilka zbiorników dymu. Maksymalna po- ➤

reklama





**SCD** Kłapy dymowe

**CDH** Czerpnia/Wyrzutnia



Stosowane do kompensacji powietrza w instalacjach oddymiania lub przy wentylacji grawitacyjnej





**Funkcjonalne i ekonomiczne rozwiązania**

[www.smay.eu](http://www.smay.eu) | [hale@smay.eu](mailto:hale@smay.eu)



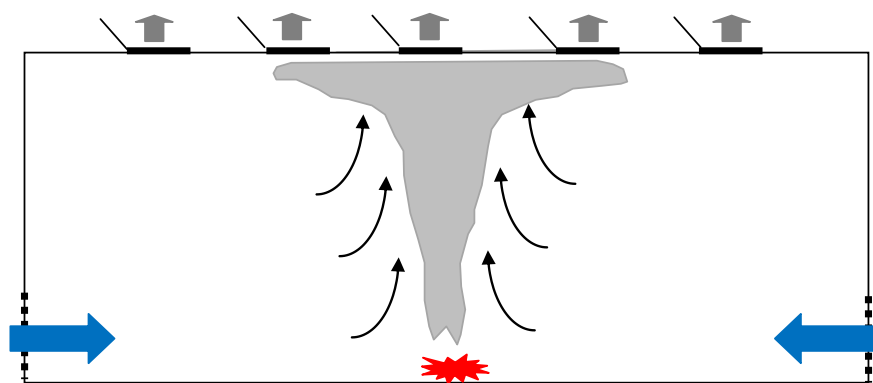
Skuteczne oddymianie



Szybkie przewietrzanie



Doświetlanie pomieszczeń



Rys. 1. Schemat hali z tworzącą się kolumną konwekcyjną nad źródłem pożaru

▷ wierzchnia zbiorników dymu według standardów europejskich podana jest w tab. 1 [5]. Natomiast maksymalna długość zbiornika dymu nie powinna przekraczać 60 m.

Do wydzielenia zbiornika dymu służą kurtyny dymowe. Są to oddzielenia stałe lub elastyczne, rozwijane w momencie aktywacji alarmu pożarowego, przylegające do sufitu obiektu (rys. 4). Szczegółowe wymagania w zakresie kurtyn dymowych znajdują się w normie PN-EN 12101-1 [6]. Wysokość kurtyny dymowej może być wyznaczona w oparciu o głębokość warstwy dymu (1). Przy wyznaczaniu wysokości kurtyny dymowej należy wziąć pod uwagę takie zjawiska jak lokalne pogrubienie przesuwającej się warstwy dymu oraz wygięcie się elastycznej kurtyny pod wpływem naporu gorących gazów pożarowych, co jest równoznaczne z jej skróceniem się. Głębokość warstwy dymu można wyznaczyć z zależności [5, 7]:

$$d = \left( \frac{M T_c}{\gamma \Theta^{1/2} W} \right)^{2/3} \quad (1)$$

gdzie:

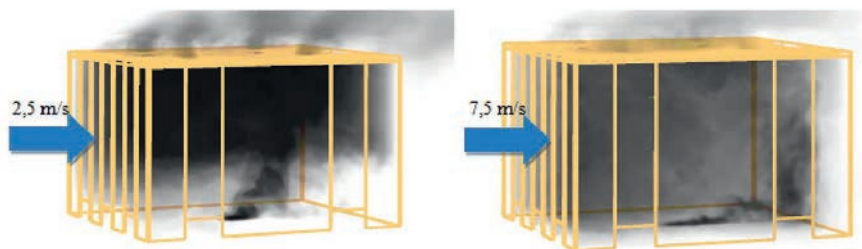
$d$  – głębokość warstwy dymu [m],  
 $T_c$  – temperatura warstwy dymu [K],  
 $\Theta$  – przyrost temperatury dymu w stosunku do temperatury otoczenia [K],  
 $W$  – szerokość zbiornika dymu [m],  
 $\gamma$  – współczynnik równy 36 dla głębokiego nadproża usytuowanego prostopadle do kierunku przepływu dymu oraz równy 78, jeśli brak takiego nadproża,  
 $M$  – strumień masowy dymu wpływający do zbiornika [kg/s].

Natomiast masowy strumień dymu wpływający do zbiornika dymu może zostać wyznaczony z zależności [5, 7]:

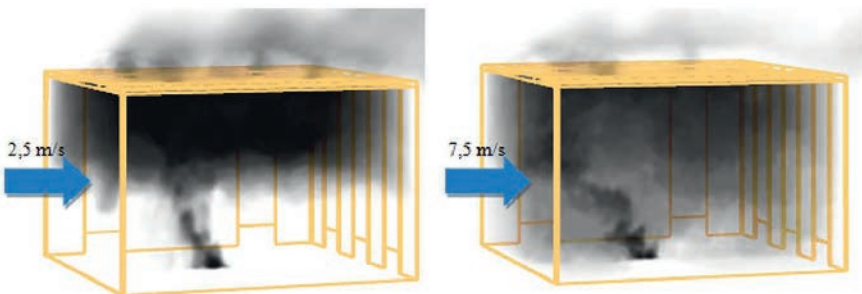
$$M = C_e P Y^{3/2} \quad (2)$$

gdzie:

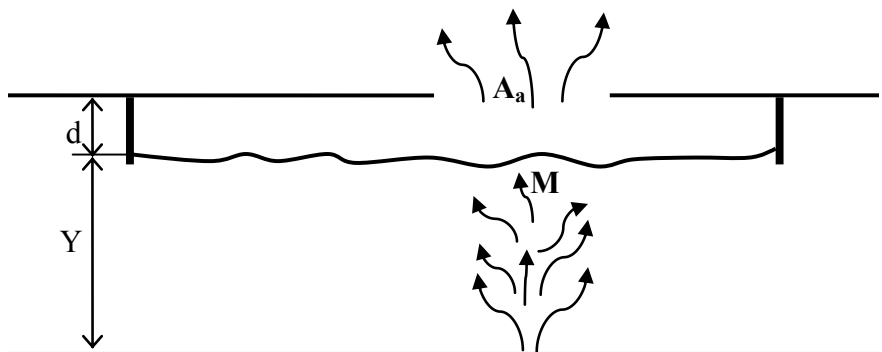
$C_e$  – współczynnik zasysania powietrza do słupa dymu [ $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-5/2}$ ],  
 $C_e = 0,19$  dla dużych pomieszczeń,  
 $C_e = 0,34$  dla małych pomieszczeń,  
 $P$  – obwód pożaru [m],  
 $Y$  – wysokość od poziomu pożaru do warstwy dymu [m].



Rys. 2. Warunki panujące w hali przy napływie wiatru na fasadę z drzwiami napowietrzającymi dla dwóch prędkości wiatru



Rys. 3. Warunki panujące w hali przy napływie wiatru na fasadę bez drzwi napowietrzających dla dwóch prędkości wiatru



Rys. 4. Elementy systemu grawitacyjnego oddymiania obiektów



	Oddymianie grawitacyjne	Oddymianie mechaniczne
zbiornik dymu nad sektorem oddymiania	< 2000 m <sup>2</sup>	< 2600 m <sup>2</sup>
zbiornik dymu przyległy do sektora oddymiania	< 1000 m <sup>2</sup>	< 1000 m <sup>2</sup>

Tab. 1. Powierzchnia zbiorników dymu [5]

Dym gromadzący się w podsufitowych zbiornikach dymu musi być odprowadzony na zewnątrz budynku. Do usunięcia dymu na zewnątrz służą klapy oddymiające, rozmieszczone równomiernie na dachu obiektu zgodnie z normą PN-B-02877-4 oraz połączone z systemem sygnalizacji pożarowej [8]. Klapy dymowe podlegają w Polsce certyfikacji zgodnie z normą PN-EN 12101-2 [9]. Podstawowym parametrem charakteryzującym klapę dymową jest jej powierzchnia czynna. Jest to aerodynamicznie czynna powierzchnia klapy, przez którą przepływają dym i gorące gazy pożarowe wydostające się z pomieszczenia objętego pożarem. Powierzchnia czynna klapy dymowej może być wyznaczona jako:

$$A_{cz} = c_v A_a \quad (3)$$

gdzie:

$A_{cz}$  – powierzchnia czynna klapy dymowej [m<sup>2</sup>],

$A_a$  – powierzchnia geometryczna klapy, tzn. powierzchnia otworu [m<sup>2</sup>],

$c_v$  – aerodynamiczny współczynnik przepływu dla klapy dymowych.

Aerodynamiczny współczynnik przepływu dla klapy dymowej powinien zostać podany przez producenta klapy. Wartości współczynnika aerodynamicznego oscylują wokół wartości 0,6. Oznacza to, że powierzchnia czynna klapy jest prawie o połowę mniejsza od jej geometrycznej powierzchni.

Całkowita powierzchnia klapy dymowej może być wyznaczona z równania:

$$A_a c_v = \left[ \frac{M T_c}{2 \rho_o^2 g d \Theta T_o - \frac{M^2 T_c T_o}{(A_i c_i)^2}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

gdzie:

$\rho_o$  – gęstość powietrza w temperaturze otoczenia [kg/m<sup>3</sup>],

$g$  – przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>],

$T_o$  – temperatura otoczenia [K],

$A_i$  – całkowita powierzchnia otworów doprowadzających powietrze [m<sup>2</sup>],

$c_i$  – aerodynamiczny współczynnik przepływu dla otworów doprowadzających powietrze [m<sup>2</sup>].

Otrzymaną wartość całkowitej powierzchni klapy dymowych należy następnie podzielić na wybrane klapy dymowe.

Ostatnim elementem systemu grawitacyjnego odprowadzenia dymu i ciepła są otwory doprowadzające powietrze kompensacyjne. Powinny być one usytuowane na fasadach zewnętrznych budynku. Według standardów krajowych całkowita powierzchnia otworów napowietrzających powinna stanowić 130% powierzchni geometrycznej klapy. Według standardów zagranicznych powierzchnia otworów napowietrzających może być taka sama jak sumaryczna powierzchnia klapy [10]. Jako otwory napowietrzające mogą być użyte: automatycznie otwierane bramy, drzwi, okna lub klapy żaluzjowe. Według standardów zagranicznych jako otwory napowietrzające mogą również działać klapy oddymiające usytuowane w odległych zbiornikach dymu. Rozwiązanie to jest kontrowersyjne i praktycznie niespotykane w naszym kraju. Możliwe jest również do zastosowania dowolne połączenie powyższych rozwiązań. Bardzo ważne, aby otwory napowietrzające były rozmieszczone na dwóch fasadach budynku, tak aby można było uniezależnić dopływ powietrza kompensacyjnego od działania wiatru.

## Podsumowanie

Oddymianie naturalne jest ciągle stosowaną metodą zarządzania dymem w budynkach, a silne tendencje do zmniejszenia zużycia energii powodują, że powraca się do tej metody oddymiania coraz częściej. Metoda polega na instalowaniu klapy oddymiających na dachu obiektu lub w jego pobliżu oraz otworów napowietrzających na kondygnacji naziemnej. Siłą napędową oddymiania naturalnego jest wypór termiczny.

Projektując system oddymiania naturalnego, należy pamiętać o ograniczeniach związanych między innymi z wysokością budynku. Ponad to system powinien współgrać z architekturą budynku, ponieważ wykorzystuje przestrzeń poddachową na zbiorniki dymu. Efektywność procesu oddymiania jest uzależniona od wielu czynników, które należy w miarę możliwości rozważyć na etapie projektowania systemu. Duży wpływ na proces naturalnego oddymiania ma wiatr, który może intensyfikować przepływ dymu, ale również powodować zadymienie całego obiektu. □

## Piśmiennictwo

1. Klotz J.H., Milke J.A., Turnbull P.G., Kasher A., Ferreira M.J.: *Handbook of Smoke Control Engineering*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012.
2. Mizieliński B., Kubicki G.: *Wentylacja pożarowa. Oddymianie*. Wydawnictwo WNT Sp. z o.o., Warszawa 2012.
3. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz.U. z 2002 r., Nr 75, poz. 690).
4. Król M.: *Numerical studies on the wind effects on natural smoke venting of atria*. „Int. J. Vent.”, 15 (1), 2016, pp. 67-78.
5. *Technical Report 12101-5 Smoke and heat control systems – Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems*.
6. *PN-EN 12101-1 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 1. Wymagania techniczne kurtyn dymowych*.
7. Morgan H.P., Gardner J.P.: *Design principles for smoke ventilation in enclosed shopping centers*. Building Research Establishment Report, 1990.
8. *PN-B-02877-4 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzenia dymu i ciepła. Zasady projektowania*. Kwiecień 2001/2006.
9. *PN-EN 12101-2 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące klapy dymowych*.
10. *NFPA 204, 2012 Standard for Smoke and Heat Venting*. National Fire Protection Association, Quincy.