

Ocena skuteczności funkcjonowania grawitacyjnej wentylacji oddymiającej przy oddziaływaniu wiatru

Wojciech Węgrzyński

Zakład Badań Ogniwowych Instytutu Techniki Budowlanej, e-mail: w.wegrzynski@itb.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono metody projektowania systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej oraz zastosowanie narzędzi komputerowej mechaniki płynów (CFD) jako narzędzia je uzupełniającego. W celu porównania skuteczności funkcjonowania systemów oferowanych przez różnych producentów przeprowadzono serię obliczeń numerycznych dla tych samych założeń (prędkość wiatru, kierunek działania wiatru). Analizy prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS Fluent w wersji 14.5 i modelu turbulencji RNG k- ϵ . Otrzymane wyniki poddano analizie porównawczej, na podstawie której przedstawiono wnioski do praktycznego wykorzystania.

Słowa kluczowe: pożar, dym, wentylacja pożarowa, wentylacja oddymiająca, klapy dymowe

1. Wprowadzenie

Systemy wentylacji pożarowej stanowią grupę rozwiązań techniczno-budowlanych wykorzystywanych w celu zapewnienia w budynkach poziomu bezpieczeństwa pożarowego wymaganego przepisami budowlanymi [1] oraz ochrony przeciwpożarowej [2].

Klapy dymowe połączone w grawitacyjny system oddymiania są najprostszym, najtańszym oraz skutecznym urządzeniem pozwalającym usuwać dym i gorące produkty spalania z obiektów [3]. Działanie systemu opiera się na powstałej w wyniku pożaru różnicy gęstości pomiędzy otaczającym powietrzem a unoszącym się gorącym dymem, powodującą powstanie sił wyporu wypychających dym z chronionego obszaru. System wentylacji pożarowej wpływa na poziom bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie poprzez [4]:

- zwiększenie czasu, w którym dym oraz gorące toksyczne gazy pożarowe nie zagrażają osobom ewakuującym się;
- spowolnienie rozwoju pożaru przez ograniczenie temperatury dymu oraz zwróconego strumienia promieniowania cieplnego;
- poprawę możliwości prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej w obiekcie poprzez zmniejszenie zadymienia powstałego w pełni rozwiniętym pożarze.

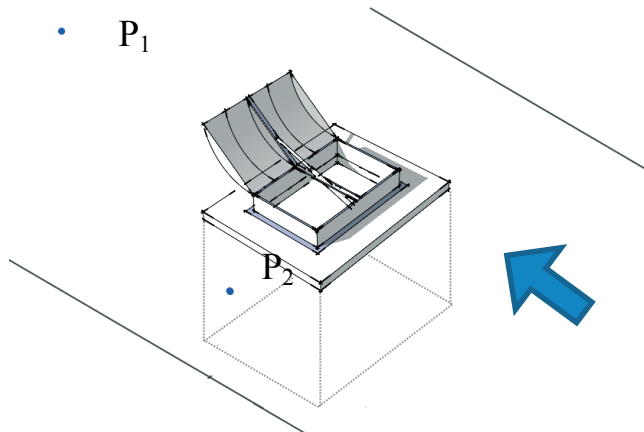
Projektowanie systemów grawitacyjnych istotnie różni się od projektowania systemów wentylacji mechanicznej, z uwagi na konieczność oszacowania strumienia przepływu powietrza przez pojedynczą klapę, uzależnionego od m.in. wielkości pożaru, powierzchni wszystkich klap dymowych czy powierzchni otworów doprowadzających brakujące powietrze. Systemy te są wyjątkowo wrażliwe na działanie wiatru, a jego wpływ uwzględnia się na etapie projektowania samego urządzenia, w postaci określonej „powierzchni czynnej” urządzenia lub „współczynnika wypływu”. Producenci klap dymowych poprawiają te wartości wykorzystując dodatkowe elementy takie jak owiewki, dysze kierujące czy większy kąt otwarcia urządzenia, lecz wpływ tego typu elementów na globalną skuteczność działania systemu wykonanego na obiekcie jest nieznan.

2. Badanie aerodynamiczne klapy dymowej wg PN-EN 12101-2

Klapy dymowe jako element wpływający na bezpieczeństwo pożarowe obiektu zostały objęte szczególnym nadzorem, zapisanym w mandacie 109 [5]. Na podstawie rozporządzenia 305/2011 [6] ich produkcja oraz sposób wprowadzenia do obrotu w krajach Unii Europejskiej jest regulowana zapisami normy zharmonizowanej EN 12101-2 [7].

Systemy grawitacyjnego oddymiania jako zestaw urządzeń działających wyłącznie dzięki sile wyporu są szczególnie wrażliwe na oddziaływanie wiatru. W związku z tym norma wyrobu [5] kładzie wyraźny nacisk na prowadzenie badań aerodynamicznych urządzeń w warunkach oddziaływania wiatru, w celu określenia wartości liczbowej charakteryzującej skuteczność działania klapy w trudnych warunkach atmosferycznych, czyli tzw. powierzchni czynnej urządzenia. Powierzchnię czynną klapy dymowej wyznacza się poprzez mnożenie tzw. współczynnika wypływu klapy (C_v) przez powierzchnię geometryczną otworu urządzenia. Współczynnik wypływu wyznaczany jest w trakcie badania w tunelu aerodynamicznym dla dwóch stanów [7]:

- bez oddziaływania wiatru bocznego;
- z oddziaływaniem wiatru bocznego o prędkości 10 m/s pod najbardziej niekorzystnym kątem natarcia (tylko dachowe klapy dymowe).



Rys. 1. Schemat zestawu do wyznaczania powierzchni czynnej klap dymowych

W czasie badania klapa dymowa montowana jest na szczycie komory znajdującej się pod tunelem aerodynamicznym, w którym wytwarzana jest prędkość przepływu powietrza wynosząca 10 m/s. W komorze, na której osadzona jest klapa dymowa, wytwarzane jest naciśnienie od 3 do 12 Pa względem ciśnienia otoczenia, a następnie mierzony jest masowy strumień przepływu przez klapę. Dzięki możliwości obrotu całą komorą, na której zamocowano klapę, poszukiwany jest kąt natarcia wiatru dla którego masowy strumień przepływu powietrza przez klapę będzie najmniejszy. W ten sposób odnajduje się najbardziej niekorzystne warunki działania klapy dymowej, a z wykorzystaniem metod tabelarycznych oraz matematycznych na podstawie wartości otrzymanego masowego strumienia przepływu przez klapę znajdowana jest wartość współczynnika wypływu dla klapy dymowej.

Porównując oferty producentów można zauważyć, iż wartości współczynnika wypływu okien i klap dymowych o podobnych wymiarach są zbliżone, a wykorzystanie owiewek przeciwwiatrowych powoduje podniesienie wartości współczynnika o około 10%.

Tabela 1. Przykładowe wartości współczynników wypływu dla klap dymowych i okien oddymiających oferowanych przez różnych producentów

Wymiar	Typ	Producent 1	Producent 2	Producent 3
1,4 m x 2,0 m	bez owiewek	0,63	0,61	0,62
	z owiewkami	0,68	0,72	0,68
	okno oddymiające (60°)	0,60	0,61	0,60
1,9 m x 2,0 m	bez owiewek	0,59	0,58	0,60
	z owiewkami	0,67	0,71	0,68
	okno oddymiające (60°)	0,65	0,62	0,60

3. Projektowanie systemu wentylacji oddymiającej

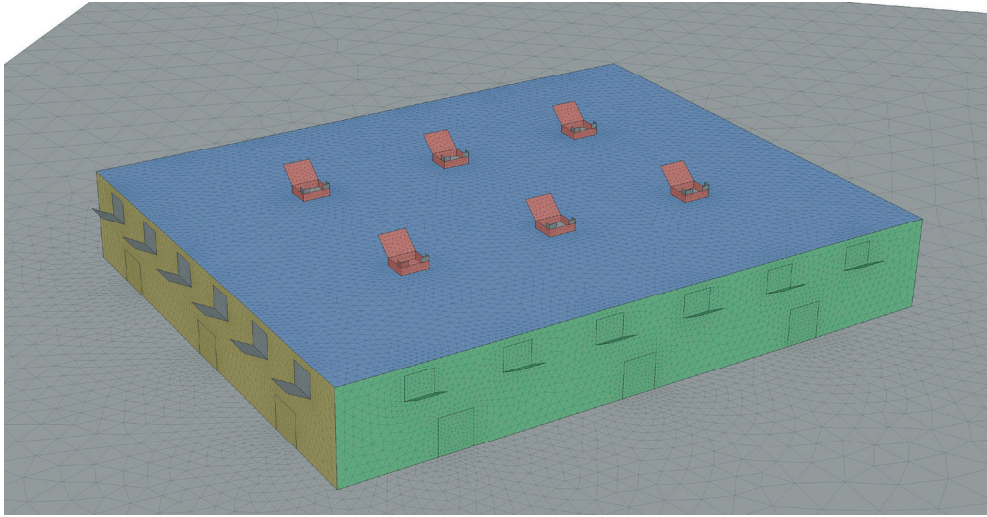
Dokumentem stanowiącym podstawę większości projektów systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej w Polsce jest norma PN-B-02877-4 [8] oparta w większości na niemieckiej normie DIN 18232 Teil 2 [9]. Metodyka obliczeń przedstawiona w normie wymaga oszacowania zagrożenia pożarowego w obiekcie poprzez przyporządkowanie materiałów w nim składowanych do odpowiednich pozycji tabel ryzyka, a następnie odczytanie dla danego poziomu zagrożenia wymaganej powierzchni klap dymowych liczonej jako procent powierzchni rzutu poziomego powierzchni pojedynczej strefy dymowej.

Nowocześniejsze metody projektowania systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej przedstawione w dokumentach normatywnych uwzględniają zależność wymaganej powierzchni czynnej klapy dymowej od rozmiaru pożaru oraz powierzchni otworów napowietrzających [10][11][12]. Metody te są jednak trudne w stosowaniu, z uwagi na dużą liczbę niewiadomych i założeń które należy przyjąć. Przykładowym wzorem pozwalającym obliczyć wymaganą powierzchnię klap dymowych, jest wzór przytoczony w wytycznych amerykańskich [12]:

$$A_{\text{tot}} C_v = \frac{M_l T_l}{[2\rho_{\text{amb}}^2 g d_l \theta_l T_{\text{amb}} - \frac{M_l^2 T_l T_{\text{amb}}}{(A_i C_i)^2}]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

gdzie: A_{tot} – powierzchnia geometryczna klap dymowych [m²], C_v – współczynnik wypływu klap dymowych, M_l – masowy strumień dymu wpływający do zbiornika dymu [kg/s], T_l – przewidywana temperatura dymu [K], ρ – gęstość powietrza w temperaturze otoczenia [kg/m³], g – stała przyciągania ziemskiego [N/kg], θ – przyrost temperatury dymu [K], T_{amb} – temperatura otoczenia [K], A_i – powierzchnia otworów napowietrzających [m²], C_i – współczynnik wypływu otworów napowietrzających.

Analizując powyższą zależność, jak i całość dokumentów normatywnych, można zauważyć, że dokumenty te nie uwzględniają wpływu wiatru na globalne działanie systemu wentylacji oddymiającej. Wpływ ten uwzględniono jedynie w formie parametru współczynnika wypływu, określanego według przedstawionej wcześniej metody podanej w normie PN-EN 12101-2 [7].



Rys. 2. Przygotowany model numeryczny obiektu z widocznymi wszystkimi urządzeniami

4. Ocena wpływu wiatru na działanie systemu z wykorzystaniem metod numerycznych

Obliczenia numeryczne z wykorzystaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) pozwalają oszacować masowy strumień dymu usuwany z zagrożonej przestrzeni, oraz ocenić warunki środowiska w obszarze w którym mogą przebywać zagrożone osoby [13].

Aby ocenić wpływ zastosowania różnych systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej zaprojektowano obiekt wg następujących założeń:

- wymiary wewnętrzne obiektu: 32 m x 48 m x 6 m;
- na dachu rozmieszczono kłapy dymowe o sumarycznej powierzchni geometrycznej 16,2 m² otwierane do kąta 140°;
- na ścianach budynku rozmieszczono okna oddymiające o sumarycznej powierzchni geometrycznej 16,2 m² otwierane do kąta 60°;
- model klap dymowych wyposażono w owiewki przeciwwiatrowe.

Wymiary klap dymowych, okien oraz ich rozmieszczenie dobrano na podstawie wytycznych normy NFPA 204 [12], oraz oferty kilku producentów oferujących swoje wyroby na polskim rynku. Według przyjętych założeń, danych technicznych wyrobów oraz wytycznych projektowania, zarówno system składający się z klap dymowych jak okien oddymiających powinny działać równie skutecznie. We wszystkich przypadkach powietrze kompensacyjne dostarczano drzwiami na ścianie osłoniętej od działania wiatru, o powierzchni 21,12 m².

Analizowano scenariusze dla:

- kąta natarcia wiatru 0°, 45°, 60° oraz 90°;
- działania klap dymowych, klap dymowych z owiewkami, okien oddymiających na fasadzie przedniej (narażonej na oddziaływanie wiatru) oraz okien oddymiających na fasadzie tylnej (osłoniętej od działania wiatru).

W każdej z prowadzonych analiz numerycznych, pożar modelowano jako objętościowe źródło ciepła i dymu, o maksymalnej całkowitej mocy pożaru równej 2,50 MW

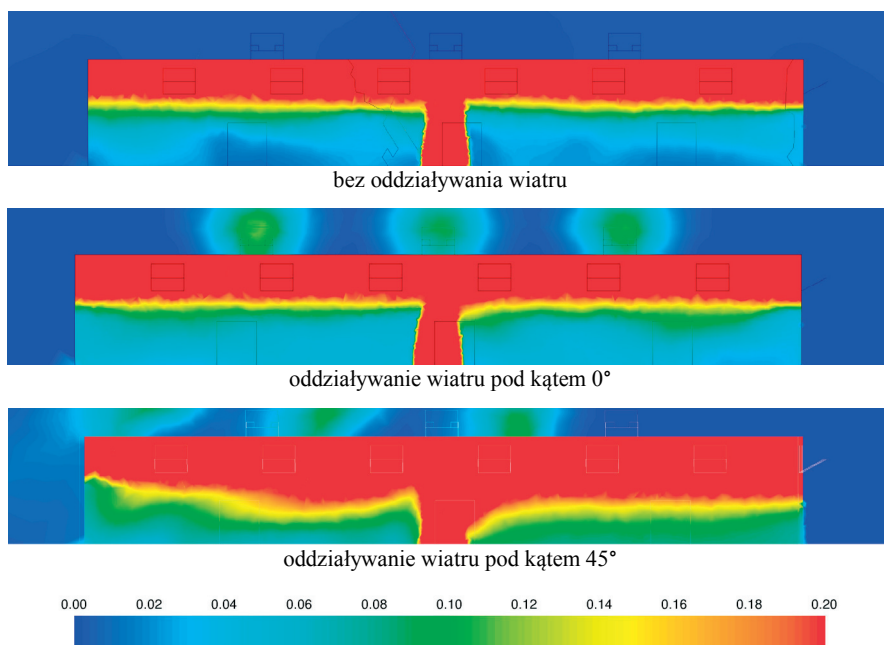
osiąganą w 225 sekundzie analizy, co w odniesieniu do wytycznych BS [11] oraz NFPA [12] odpowiada szybko rozwijającemu się pożarowi o obwodzie około 9 m w pomieszczeniu zabezpieczonym tryskaczami szybkiego reagowania. Obliczenia prowadzono, jako zmienne w czasie, a masowy strumień gazów przepływających przez otwory (kłapy dymowe lub okna oddymiające) wyznaczano w odniesieniu do 6 i 10 minuty obliczeń. Przyjęto, że dym powstaje w wyniku niepełnego spalania mieszaniny materiałów palnych o uśrednionym efektywnym ciepłe spalania wynoszącym 20,00 MJ/kg. Dym modelowano jako gaz doskonały o właściwościach identycznych z właściwościami powietrza, za wyjątkiem ciepła właściwego które było stałe i wynosiło 1,00 kJ/kg. W obliczeniach wykorzystano następujące modele matematyczne zachodzących zjawisk:

- model turbulencji RNG k- ϵ ,
- model pożaru objętościowe źródło ciepła i dymu uwzględniające zmienność mocy pożaru w czasie,
- model promieniowania P1,
- model wymiany ciepła.

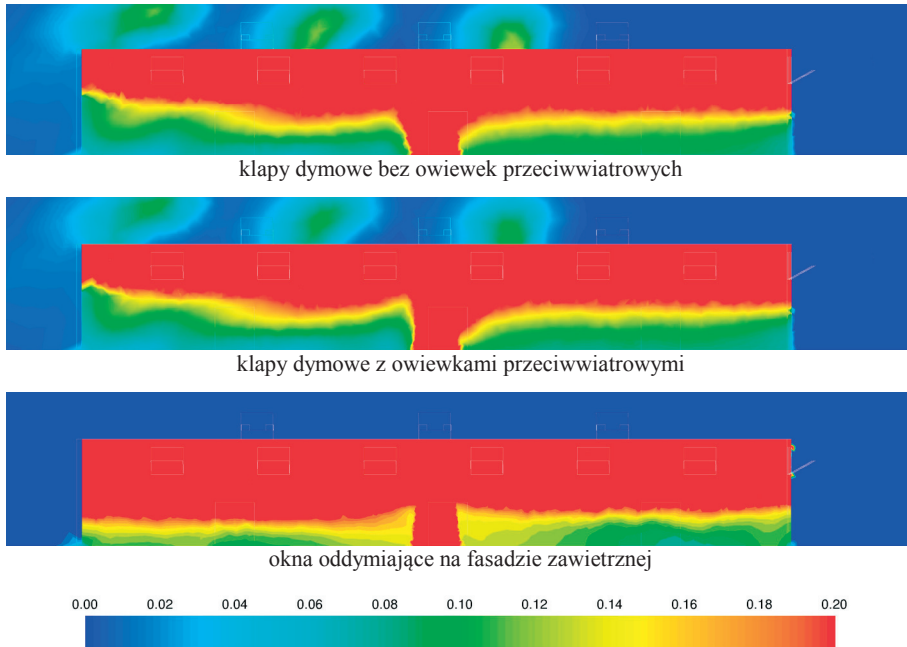
Prędkość wiatru opisano według profilu logarytmicznego, dla przyjętej prędkości 4,00 m/s, na wysokości referencyjnej 5 metrów i szorstkości terenu 0,30 m.

5. Wyniki analiz numerycznych

Porównując wyniki przeprowadzonych obliczeń obserwowano wysokość warstwy gorącego dymu w wybranych chwilach czasowych obliczeń. Wysokość warstwy dymu ustalano na podstawie rozkładu masowego stężenia dymu w przekroju przez środek budynku w osi równoległej do fasady budynku narażonej na działanie wiatru. Za wartość graniczną stężenia dymu uznano 0,075 g/m³.



Rys. 3. Porównanie masowego stężenia dymu (0,00 – 0,20 g/m³ i więcej) w przekroju przez budynek w 6 minucie analizy dla różnych scenariuszy oddziaływania wiatru, kłapy dymowe z owiewkami



Rys. 4. Porównanie masowego stężenia dymu ($0,00 - 0,20 \text{ g/m}^3$ i więcej) w przekroju przez budynek w 6 minucie analizy dla różnych oddziaływania wiatru pod kątem 45°

Porównanie przewidywanego masowego stężenia dymu w budynku dla różnych kątów natarcia wiatru dla klapy dymowych z owiewkami oraz okien oddymiających przedstawiono na rys. 2 i 3. Porównując wyniki obliczeń dla scenariuszy z klapami wyposażonymi i nie wyposażonymi w owiewki przeciwwiatrowe, nie zauważono istotnych różnic w wysokości warstwy wolnej od dymu, przy czym zaobserwowano różnice około 10% w masowym strumieniu dymu wypływającego przez urządzenia. W przypadku okien oddymiających na zawietrznej fasadzie budynku, w 6 minucie analizy warstwa dymu znajdowała się wyraźnie niżej, a masowy strumień dymu w stosunku do analogicznych scenariuszy z klapami dymowymi był mniejszy o nawet 40%.

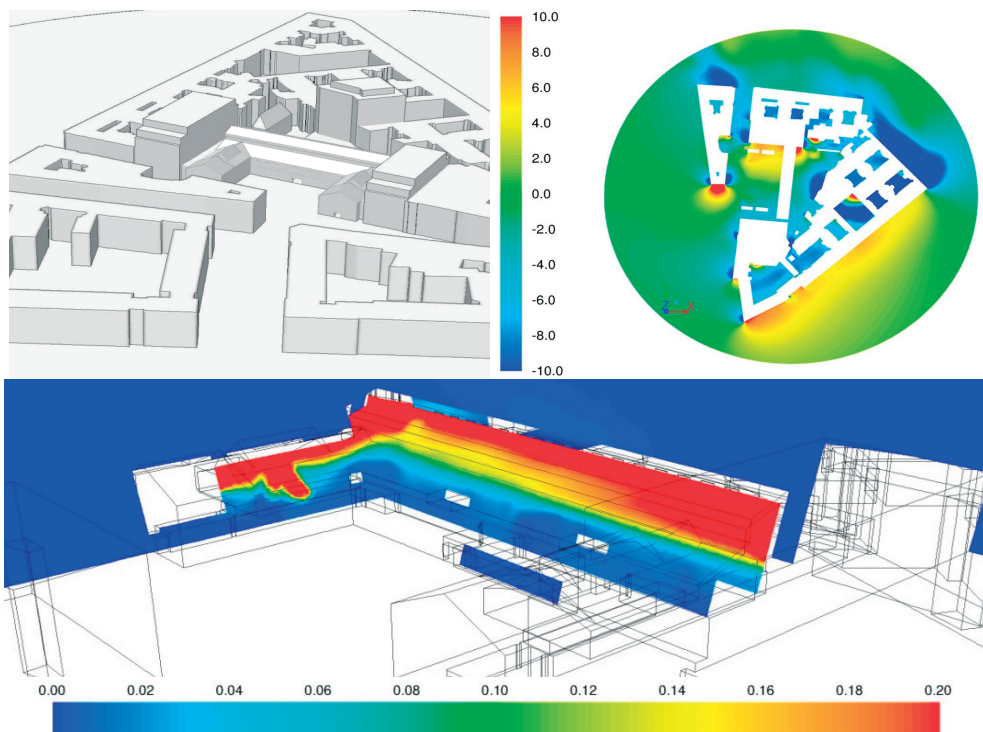
Tabela 2. Masowy strumień przepływu dymu [kg/s] przez klapy lub okna oddymiające w 600 sekundzie analizy

Kąt.	Klapy dymowe	Klapy dymowe z owiewkami	Okna na zawietrznej fasadzie budynku	Okna na nawietrznej fasadzie budynku
0	30,4	31,8	22,9	8,75
45°	27,6	29,1	23,5	11,8
60°	25,4	27,1	22,2	13,7
90°	29,7	29,7	19,0	18,5
bez wiatru	33,25	34,6	23,8	-

6. Praktyczne zastosowanie metod numerycznych w projektowaniu systemów grawitacyjnej wentylacji pożarowej

Zaobserwowane różnice w działaniu systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej zaprojektowanej według uznanych wytycznych i poddanych oddziaływaniu wiatru, wskazują na konieczność dokładniejszej analizy skuteczności działania systemów tego typu na etapie projektowania, w szczególności w obiektach, w których najbardziej istotna jest

ochrona dróg ewakuacyjnych, np. w obiektach kategorii ZL I. Takie analizy powinny uwzględniać określenie prawdopodobnej prędkości wiatru, kąta natarcia, który będzie najbardziej niekorzystny dla badanego układu oraz analizy skuteczności funkcjonowania systemu dla wybranych kątów natarcia wiatru. Przykładem takiej analizy może być wykonana w Zakładzie Badań Ogniwych Instytutu Techniki Budowlanej praca dot. skuteczności działania systemu wentylacji pożarowej centrum handlowego w odnowionym zabytkowym budynku, w którym niemożliwe było zwiększanie powierzchni okien czy zastosowanie wentylacji mechanicznej (Rys. 5) [14].



Rys. 5. Model numeryczny otoczenia obiektu, rozkład bezwymiarowego współczynnika ciśnienia na wysokości okien oddymiających dla najbardziej niekorzystnego kąta natarcia wiatru oraz masowe stężenie dymu (0,00 – 0,20 g/m³ i więcej) w przekroju przez budynek w 10 minucie analiz numerycznych [14]

Analizy powinny również uwzględniać wpływ kierunku natarcia wiatru na sposób dostarczenia do obiektu powietrza kompensacyjnego. Szerokie wykorzystanie analiz numerycznych w projektowaniu systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej może pozwolić na oszacowanie niezbędnej liczby klap dymowych czy okien oddymiających, niezbędnych zabezpieczeń przeciwwiatrowych oraz pomóc w doborze sposobu napowietrzania obiektu, także z wykorzystaniem nawiewu mechanicznego.

7. Wnioski

W przeprowadzonych analizach rozważano wpływ kąta oddziaływania wiatru na skuteczność działania systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej wykorzystujących klapy dymowe, klapy dymowe z owiewkami przeciwwiatrowymi lub okna oddymiające. Nie rozważano wpływu sposobu doprowadzenia powietrza do budynku, innych niż przyjęta prędkości wiatru lub innych niż określone w opracowaniu kątów natarcia wiatru.

Dla najbardziej niekorzystnego przypadku dla systemu opartego na klapach dymowych, czyli scenariusza bez owiewek przeciwwiatrowych i kąta natarcia wiatru 60° , różnica pomiędzy masowym strumieniem dymu usuwanym przez klapy w scenariuszu bez oddziaływania wiatru a scenariuszem z oddziaływaniem wiatru wynosiła 23,6%. W przypadku klap dymowych z owiewkami przeciwwiatrowymi, różnica ta wynosiła 21,7%, dla okien oddymiających na stronie zawietrznej wartość ta wynosiła 20%, a w przypadku okien oddymiających zlokalizowanych na fasadzie narażonej na oddziaływanie wiatru wynosiła aż 63%. Oznacza to, że praktycznie wyklucza się możliwość otwarcia okien oddymiających na fasadzie nawietrznej, chyba że zasadność tego rozwiązania zostanie podparta niezbędną analizą dla najbardziej niekorzystnego scenariusza.

Różnica pomiędzy masowym strumieniem dymu usuwanym przez klapy dymowe wyposażone i niewyposażone w owiewki przeciwwiatrowe wynosiła około 10%, co oznacza, że była zbliżona do różnicy w powierzchniach czynnych urządzeń podawanych w materiałach handlowych producentów. W przypadku okien oddymiających zamontowanych w sposób poprawny, czyli nie narażonych na działanie wiatru, masowy strumień dymu porównywany z wartością dla klapy dymowej był mniejszy nawet o 37%. Oznacza to, że przy projektowaniu systemów wykorzystujących okna oddymiające, sumaryczna powierzchnia okien powinna być znacznie większa, niż wymagana powierzchnia klap dymowych.

Zapewnienie powierzchni klap dymowych obliczonej z wykorzystaniem metod przedstawionych w normach projektowych nie zawsze jest w stanie zagwarantować utrzymanie dymu na pożądanej wysokości powyżej poziomu posadzki. Z uwagi na powyższe, w przypadku obiektów w których utrzymanie dymu powyżej dróg ewakuacji jest szczególnie istotne, skuteczność funkcjonowania systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej powinna być weryfikowana z wykorzystaniem metod numerycznych. Taka weryfikacja powinna uwzględniać ocenę możliwego najbardziej niekorzystnego prawdopodobnego kierunku oddziaływania wiatru i jego siły, uwzględniając najbliższe otoczenie obiektu mogące mieć wpływ na przepływ powietrza w pobliżu klap dymowych, oraz ocenę rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w czasie pożaru w obiekcie, na który oddziałuje wiatr.

Literatura

- 1 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami
- 2 Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. nr 109, poz. 719), z późniejszymi zmianami
- 3 J. H. Klote, Smoke Control, in SFPE Handbook of Fire Protection Eng., pp. 4-274-4-291, National Fire Protection Association, Massachusetts, 2002
- 4 G. Sztarbała, G. Krajewski, W. Węgrzyński, P. Głąbski, Projektowanie systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych. Kurs organizowany przez Zakład Badań Ogniowych. Warszawa : Instytut Techniki Budowlanej, 2011
- 5 Mandat Komisji Europejskiej nr 109, Wyroby służące do wykrywania i sygnalizacji pożaru, stałe urządzenia gaśnicze i ich podzespoły, wyroby służące do kontroli rozprzestrzeniania ognia i dymu oraz tłumienia wybuchu
- 6 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG

- 7 PN-EN 12101-2:2006 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła; Część 2: Wymagania techniczne dotyczące klap dymowych
- 8 PN-B-02877-4 Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła. Zasady projektowania.
- 9 DIN 18232 Teil 2. Baulicher Brandschutz im Industriebau. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. Rauchabzüge. Bemessung, Anforderungen und Einbau
- 10 VDI 6019 Blatt 1 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit. 2006TR
- 11 BS 7974 Part 4: Components for smoke and heat control systems. Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady-state design fires. Code of practice, Londyn 2003
- 12 NFPA 204: Standard for Smoke and Heat Venting, 2012 Edition. 2012
- 13 G. Sztarbała, An estimation of conditions inside construction works during a fire with the use of Computational Fluid Dynamics, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 61, nr 1, 2013
- 14 G. Krajewski, W. Węgrzyński, Praca nr 1928/13/Z00NP, Zakład Badań Ogniwowych Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2013

Smoke and heat flow in a large volume building in case of fire

Wojciech Węgrzyński

Fire Research Department, Building Research Insititute, e-mail: w.wegrzynski@itb.pl

Abstract: In the paper the author presents some chosen methodologies used in the design process of natural smoke and heat ventilation systems and the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) tools. Comparison of the performance of various systems was conducted on the basis of performed CFD analyses. The analysis was prepared with the use of ANSYS Fluent 14.5 package, with the use of RNG k- ϵ turbulence model. The results of analysis are presented, together with the additional design recommendations.

Keywords: fire, smoke, smoke and heat ventilation, smoke dampers

