

Wentylacja pożarowa i systemy oddymiania

Wentylacja pożarowa w obiektach budowlanych jest systemem odpowiedzialnym w czasie pożaru za bezpieczeństwo ewakuacji ich użytkowników i dostęp do źródła ognia dla ekip ratowniczych. Bierze ona także czynny udział w ochronie konstrukcji budynków.

Wstęp

W Polsce wiedza na temat odpowiednich technik projektowania wentylacji pożarowej pojawiła się po raz pierwszy około 2000 r. Dziewięć lat później nastąpił przełom w polskich przepisach techniczno-budowlanych w zakresie stosowania systemów wentylacji pożarowej i oceny przewidywanej skuteczności ich działania.

Od tego momentu coraz częściej opracowywane były zoptymalizowane projekty systemów wentylacji pożarowej, zapewniające odpowiedni poziom zabezpieczenia, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów inwestycyjnych. Ważnym zapisem znowelizowanego w 2009 r. rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie jest nowe sformułowanie wymagań dla instalacji wentylacji oddymiającej. Ma ona odtąd zapewniać usuwanie dymu z taką intensywnością, aby w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpiło zadymienie lub temperatura, które uniemożliwiłyby bezpieczną ewakuację (§ 270 ust. 1).

Ponieważ polskie przepisy nie określają w pełni wymagań dla paramentów wentylacji pożarowej, zgodnie z art. 5 ust. 1 ustawy Prawo budowlane należy w ich uzupełnieniu posługiwać się dodatkowo aktualnymi zasadami wiedzy technicznej, czyli dostępnymi normami, wytycznymi, artykułami naukowymi i technicznymi itp. W przypadku obiektów standardowych, o typowej geometrii, zakłada się najczęściej, że spełnienie wspomnianego wcześniej wymagania dla instalacji wentylacji oddymiającej będzie zrealizowane poprzez jej zaprojektowanie na podstawie dostępnych polskich i zagranicznych norm, poradników i wytycznych, dotyczących ochrony dróg ewakuacyjnych przed zadymieniem w określonej grupie budynków.

W przypadku obiektów nietypowych, nie ma możliwości bezpośredniego stosowania rozwiązań standardowych. Wówczas konieczne staje się korzystanie z narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, polegających na przeprowadzaniu indywidualnych obliczeń parametrów rozwoju pożaru i warunków panujących na przejściach i drogach ewakuacyjnych, z uwzględnieniem czasu potrzebnego do ewakuacji ludzi z poszczególnych części budynku.

Rozprzestrzenianie się dymu w trakcie pożaru

Zgodnie z ogólnymi prawami fizyki, powstający w trakcie pożaru dym przemieszcza się i rozprzestrzenia po całym budynku ze względu na różnicę ciśnień wywołaną:

- efektem kominowym
- wiatrem
- działaniem instalacji wentylacji bytowej i klimatyzacji
- bezpośrednim wyporem dymu pod wpływem ciepła wytwarzanego przez źródło ognia.

W celu przeprowadzenia dokładnej analizy kierunków przepływu dymu, każdy z tych czynników powinien zostać wzięty pod uwagę i rozpatrzony. Jednak w praktyce, ze względu na brak szczegółowych danych związanych z warunkami atmosferycznymi i uwarunkowaniami danego budynku (wielkość szczelności, ilość otwartych drzwi i okien itp.) jakie miałyby miejsce w trakcie ewentualnego pożaru, dokładna analiza wszystkich parametrów nie jest zazwyczaj możliwa.

W praktyce inżynierskiej, wykonując obliczenia parametrów dymu powstającego w czasie pożaru, oparte o zależności normowe, bierze się pod uwagę właściwie tylko ostatni z wymienionych czynników, czyli wypór dymu pod wpływem ciepła. Pozostałe z nich możliwe są do uwzględnienia jedynie w przypadku

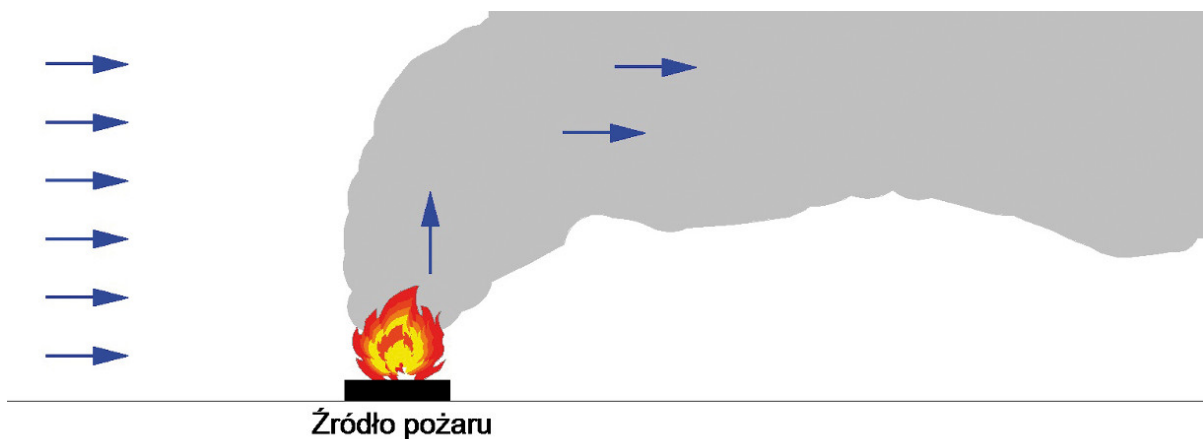
przeprowadzenia symulacji komputerowych CFD.

Rodzaje systemów oddymiania

Rozwiązania techniczne wentylacji pożarowej powinny być dobierane indywidualnie dla każdego budynku i ściśle uzależnione od typu jego konstrukcji, wielkości i przeznaczenia. Mogą one być oparte zarówno na systemach wentylacji naturalnej, jak i mechanicznej. Mogą to być układy wykorzystujące do celów oddymiania istniejącą w budynku instalację wentylacji bytowej, bądź niezależne systemy wentylacji pożarowej, działające tylko w przypadku powstania pożaru.

Systemy wentylacji pożarowej dzielimy na dwa podstawowe typy, różniące się zasadą i celem funkcjonowania:

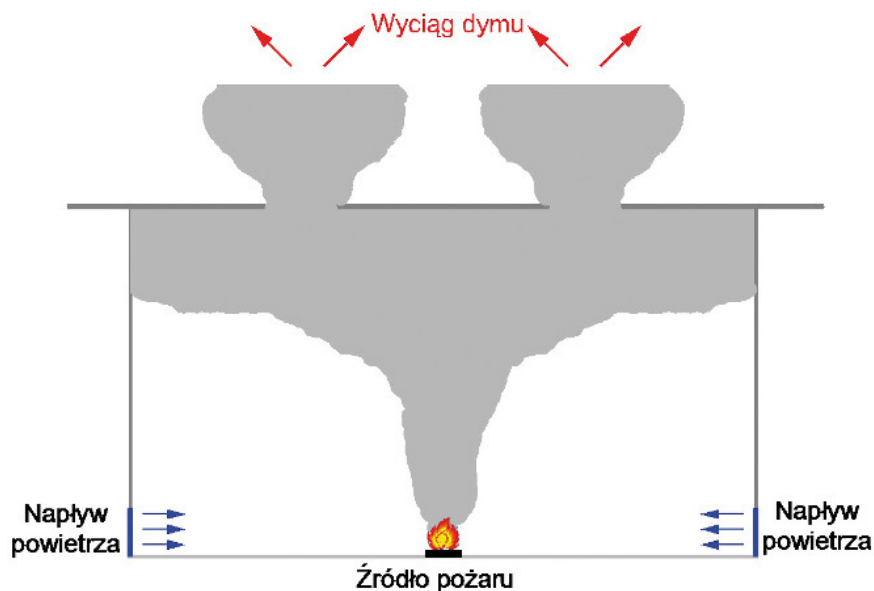
- systemy oddymiania – stosowane w przestrzeniach, w których może wystąpić w czasie pożaru duża ilość dymu, mające za zadanie jego usuwanie
- systemy zapobiegające zadymieniu – stosowane w przestrzeniach przyległych do tych, w których może wystąpić pożar, mające za zadanie uniemożliwienie przedostania się do nich dymu.



Rys. 1. Zasada działania systemów przepływowych

Powyższe systemy wykonywane są jako:

- ciśnieniowe – będące zawsze systemami zapobiegającymi zadymieniu, wytwarzające nadciśnienie w strefach sąsiadujących ze strefą objętą pożarem. Stosowane są we wszelkiego typu obiektach, w których istnieje możliwość wydzielenia strefy objętej pożarem i bezpośredniego usuwania powstającego w niej dymu, przy jednoczesnej ochronie pozostałej części budynku przed zadymieniem, najczęściej przy zabezpieczaniu przed zadymieniem klatek schodowych i szybów windowych w obiektach wielokondygnacyjnych.
- przepływowe – będące w zależności od sytuacji, systemami zapobiegającymi zadymieniu bądź systemami oddymiania, powodują ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu za pomocą wytworzonego przepływu strumienia powietrza o odpowiednio dużej prędkości. Typowym miejscem ich zastosowania są garaże i tunele (rys. 1).
- wyporu dymu – będące zawsze systemami oddymiania, powodują laminarny wypór dymu w kierunku jego naturalnego przemieszczenia się. Stosowane są przede wszystkim w przypadku oddymiania budynków wielkokubaturowych, takich jak atria, hale widowiskowo-sportowe czy magazyny bądź zakłady produkcyjne (rys. 2).



Rys. 2. Zasada działania systemu wyporu dymu

Projektowanie wentylacji pożarowej

Przy projektowaniu systemów wentylacji pożarowej, ze względu na praktyczne trudności w określeniu rzeczywistej wielkości pożaru, jaki może wystąpić w danym budynku, do obliczeń przyjmowana jest tzw. moc obliczeniowa pożaru. Określa się ją na podstawie danych statystycznych, charakteryzujących typowe moce pożarów dla różnego typu pomieszczeń i obiektów.

Do obliczeń możliwe jest przyjęcie pożaru ustalonego w czasie, nazywanego pożarem o stałej mocy, którego moc przez cały czas nie ulega zmianom, bądź pożaru rozwijającego się z zakładaną prędkością. Założenie stałej mocy pożaru przy projektowaniu systemu wentylacji pożarowej jest uwzględnieniem przypadku najbardziej niekorzystnego i gwarantuje, iż system ten będzie zapewniał bezpieczeństwo również we wstępnej fazie pożaru rozwijającego się, kiedy będzie miał on moc mniejszą od przyjętej do obliczeń. Jest to najczęściej wykorzystywane do wstępnych „ręcznych” obliczeń parametrów pożaru i projektowanej wentylacji pożarowej. Daje to stosunkowo duży margines bezpieczeństwa, powodując jednak niejednokrotnie znaczny wzrost nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych projektowanej instalacji. W ostatecznych analizach, które w większości przypadków oparte są na przeprowadzonych symulacjach komputerowych, przyjmowane są wartości chwilowych mocy pożarów rozwijających się.

Najczęściej stosowanym sposobem opisu szybkości rozwoju pożaru są znormalizowane charakterystyki opisane ogólnym wzorem:

$$Q = \alpha t^2$$

gdzie:

Q = moc pożaru [kW],

α - współczynnik szybkości wzrostu pożaru [kW/s²],

t - czas od początku pożaru [s].

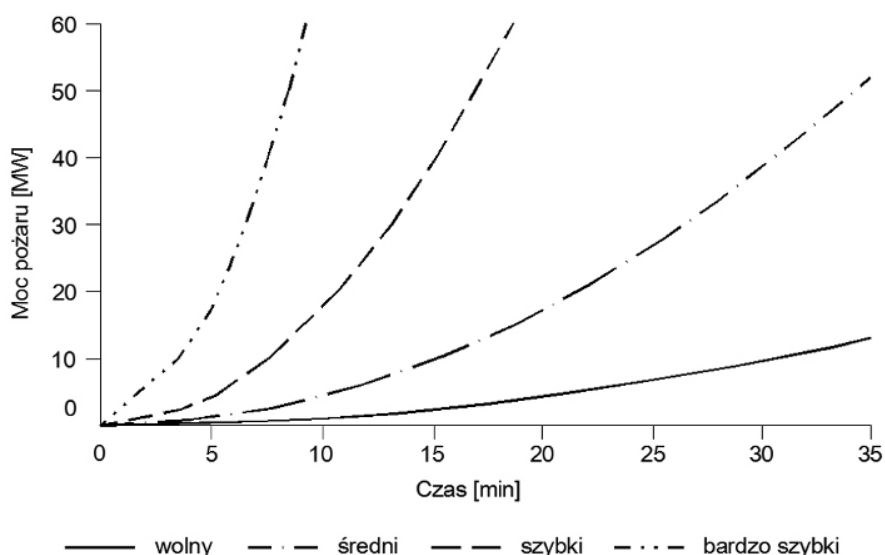
Przedstawiona tu zależność zawarta została między innymi w unormowaniach brytyjskich i amerykańskich, gdzie wprowadzona została klasyfikacja pożarów pod względem szybkości ich rozwoju. W klasyfikacji tej przyjęto cztery podstawowe szybkości rozwoju pożaru: bardzo szybki, szybki, średni oraz wolny, dla których określone zostały odpowiednie wartości współczynnika szybkości wzrostu pożaru α . Zestawienie

współczynników α dla poszczególnych szybkości rozwoju pożaru wraz z wyliczeniem czasu niezbędnego do osiągnięcia przez pożar mocy 1000 kW, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Klasyfikacja pożarów pod względem szybkości rozwoju

| Rozwój pożaru | Współczynnik szybkości wzrostu pożaru α [kW/s ²] | Czas osiągnięcia mocy pożaru równej 1000 kW [s] |
|---------------|---|---|
| Bardzo szybki | 0,18760 | 73 |
| Szybki | 0,04689 | 146 |
| Średni | 0,01172 | 292 |
| Wolny | 0,00293 | 584 |

Krzywe przebiegu rozwoju pożaru dla poszczególnych wartości współczynnika szybkości wzrostu pożaru przedstawia wykres na rys. 3.



Rys. 3. Krzywe przebiegu charakterystyk rozwoju pożaru dla poszczególnych wartości współczynnika

Warunki ewakuacji w czasie pożaru

Czas potrzebny do ewakuacji ludzi zależy przede wszystkim od rodzaju obiektu, długości przejść i dojść ewakuacyjnych oraz ilości użytkowników. Obejmuje on:

- czas zwłoki (czas do rozpoczęcia ewakuacji, w tym czas potrzebny na uzyskanie informacji o pożarze)
 - czas na opuszczenie pomieszczenia
 - czas potrzebny na pokonanie drogi do obudowanej klatki schodowej, innej strefy pożarowej lub bezpośrednio do wyjścia na zewnątrz budynku.

Czas ten, możliwy do określenia w oparciu o normy lub wytyczne (np. PD 7974-6:2004), powinien zawsze być mniejszy od czasu, w którym warunki w miejscu znajdowania się ludzi mogą zacząć zagrażać ich życiu.

Odpowiednie warunki ewakuacji przyjmowane na etapie projektowania są kwestią umowną, ustalana przez różne kraje, a nawet różnych projektantów indywidualnie. W Polsce ta kwestia została uregulowana dopiero w 2011 r. w rozporządzeniu dotyczącym warunków technicznych dla stacji metra.

Zgodnie z nim za odpowiednie warunki ewakuacyjne przyjmuje się:

- zadymienie na wysokości $\leq 1,8$ m od posadzki, ograniczające widzialność krawędzi elementów budynku

i znaków ewakuacyjnych luminescencyjnych nie więcej niż do 10 m, oraz

■ temperaturę powietrza na wysokości $\leq 1,8$ m od posadzki nieprzekraczającą $+60^{\circ}\text{C}$, a w warstwie podsufitowej – na wysokości $> 2,5$ m – $+200^{\circ}\text{C}$, ze względu na związane z tym promieniowanie cieplne.

Przy projektowaniu instalacji wentylacji pożarowej pomocne jest korzystanie z nowoczesnych technik komputerowych CFD, które umożliwiają uwzględnienie wszystkich indywidualnych parametrów obiektu, mających istotny wpływ zarówno na przebieg rozwoju pożaru, jak i na ilość powstającego dymu i sposób jego rozprzestrzeniania. Niejednokrotnie pozwala to na wprowadzenie korekt i optymalizację rozwiązań przyjętych na podstawie przeprowadzonych wstępnie obliczeń, zarówno parametrów instalacji, jak i przewidywanego czasu ewakuacji.

Elementy instalacji pożarowej

Podstawowe parametry elementów instalacji pożarowej określa rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. O wymaganej klasie odporności ogniowej i temperaturowej elementów instalacji oddymiającej decyduje poziom temperatury, jaki może osiągać dym powstający w wyniku pożaru. W przypadku przewodów wentylacji oddymiającej, obsługujących wyłącznie jedną strefę pożarową oraz występujących w nich klap odcinających, po wykazaniu za pomocą obliczeń bądź symulacji komputerowych, że temperatura dymu powstającego w czasie pożaru nie przekracza $+300^{\circ}\text{C}$, możliwe jest obniżenie ich klasy odporności ogniowej z uwagi na szczelność i dymoszczelność w przypadku przewodów z $E_{600}\text{S}$ do $E_{300}\text{S}$, a w przypadku klap – z $E_{600}\text{S AA}$ do $E_{300}\text{S AA}$ (§ 270 ust. 2 i 3). W praktyce jest to możliwe prawie zawsze w obiektach wyposażonych w instalację tryskaczową.

Podobną procedurę należy stosować w przypadku doboru wentylatorów oddymiających (§ 270 ust. 4). Tu jednak należy zwrócić uwagę na to, że analizę temperatury dymu należy przeprowadzać z uwzględnieniem lokalizacji wentylatorów i ich wydajności. W przypadku zamiaru zastosowania wentylatorów o klasie niższej niż $F_{400} 120$ należy, poza wykazaniem, iż temperatura dymu w pobliżu wentylatorów będzie niższa niż $+400^{\circ}\text{C}$, należy przeanalizować czy zastosowane rozwiązanie zapewni bezpieczeństwo ekip ratowniczych. Odrębny problem stanowią wentylatory strumieniowe, stosowane w garażach i tunelach. Ze względu na lokalizację tych wentylatorów pod stropem pomieszczeń należy liczyć się z możliwością wystąpienia pożaru bezpośrednio pod wentylatorem lub w bardzo niewielkiej odległości od niego. Analizuje się więc rozkład temperatury na wysokości, na której są zainstalowane wentylatory strumieniowe i określa maksymalny zasięg temperatury na jaką zastosowane wentylatory są odporne. Następnie przeprowadza się powtórny analizę, uwzględniającą uszkodzenie wentylatorów znajdujących się w obszarze zasięgu tej temperatury (w przeprowadzanej symulacji ich działanie nie jest uwzględnione).

Warunki działania ekip ratowniczych

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury, decyzję o obniżeniu klasy odporności temperaturowej wentylatorów można podjąć dopiero po dokonaniu oceny, czy w obiekcie będzie zapewnione bezpieczeństwo ekip ratowniczych. W Polsce oficjalne warunki krytyczne dla ekip ratowniczych, jakie należy przyjmować na etapie projektowania nie zostały jak dotąd określone. W praktyce inżynierskiej, za wartości graniczne parametrów mających wpływ na ich bezpieczeństwo, przyjmowane są najczęściej parametry, w których możliwe jest prowadzenie działań przez co najmniej 10 min. Oznacza to, iż dopuszczalna temperatura obliczeniowa nie powinna być większa niż $+100^{\circ}\text{C} \div +120^{\circ}\text{C}$, a natężenie promieniowania cieplnego od 1 do 3 kW/m^2 . Warunki te powinny być zachowane w odległości 10 m od źródła pożaru, która odpowiada efektywnemu zasięgowi rzutu prądu gaśniczego.

W celu dokonania oceny, czy w analizowanym obiekcie zapewnione jest bezpieczeństwo ekip ratowniczych konieczne jest także określenie przewidywanego czasu rozpoczęcia działań gaśniczych, który jednocześnie można przyjmować jako czas, po którym następuje ograniczenie rozwoju pożaru (chyba, że budynek jest wyposażony w instalację tryskaczową i ograniczenie rozwoju pożaru nastąpiło po uruchomieniu tryskaczy). Czas rozpoczęcia działań gaśniczych uzależniony jest przede wszystkim od czasu przekazania informacji o

pożarze do jednostki ratowniczo-gaśniczej i od jej odległości od obiektu, w którym powstał pożar. W tej kwestii również w Polsce nie istnieją dokładne dane. Zgodnie z niemiecką normą VDI 6019-1, w obiektach wyposażonych w system sygnalizacji pożarowej i automatycznego przekazywania alarmu do jednostek ratowniczych, czas rozpoczęcia działań gaśniczych można przyjmować zgodnie z tabelą 2.

Tab. 2. Czas rozpoczęcia działań gaśniczych

| Warunki dojazdu | Czas [s] |
|--|----------|
| Warunki sprzyjające (obecność miejscowej jednostki straży pożarnej) | 600* |
| Warunki normalne (istnienie zawodowych jednostek straży pożarnej mających łatwy dojazd do obiektu) | 900* |
| Warunki niesprzyjające (istnienie ochotniczych jednostek straży pożarnej lub zawodowych jednostek straży pożarnej mających utrudniony dojazd do obiektu) | 1200* |
| Warunki szczególnie niesprzyjające (istnienie ochotniczych jednostek straży pożarnej mających utrudniony dojazd do obiektu) | 1500* |

* czas ten uwzględnia czas 120 s przewidziany na wykrycie pożaru i przekazanie informacji do jednostek straży pożarnej oraz czas 180 s przewidziany na przygotowanie jednostek ratowniczych do rozpoczęcia akcji gaśniczej

Symulacje komputerowe

CFD jest nowoczesną techniką, umożliwiającą rozwiązywanie skomplikowanych równań, opisujących trójwymiarowy przepływ płynów z uwzględnieniem czasu. Postęp techniki CFD w zakresie analiz rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu rozpoczął się na początku lat osiemdziesiątych. Pierwszymi ośrodkami naukowymi, które się tym zajmowały były The National Bureau of Standards (obecnie znane jako NIST) w USA oraz Building Research Establishment (BRE) w Wielkiej Brytanii.

Symulacje komputerowe rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu w obiektach budowlanych wykonywane są obecnie za pomocą dwóch rodzajów programów komputerowych. Do pierwszej grupy należą programy specjalnie stworzone do tego typu analiz, takie jak FDS (NIST), Jasmine (BRE), Smartfire (UG), które od wielu lat są weryfikowane i udoskonalane, tak aby coraz dokładniej opisywały zjawisko pożaru i rozprzestrzeniania się dymu. Do drugiej grupy należą programy utworzone z myślą o symulowaniu wielu zjawisk należących do szeroko pojętej mechaniki płynów, takie jak Fluent, Phoenix czy CFX, posiadające ogólnie znacznie większe możliwości od programów z grupy pierwszej, ale jednocześnie znacznie mniej przystosowane do omawianych tu analiz, przez co wymagające znacznie bogatszej wiedzy i doświadczenia od użytkowników.

Opisu ruchu płynu w tych programach dokonano na podstawie rozwiązań układu równań cząstkowych Naviera-Stokesa (N-S), opartych na zasadach zachowania masy, pędu i energii. Jednym z najważniejszych elementów składowych tych programów jest zawarty w nich model służący opisowi turbulencji przepływu płynu. Stosowane są przy tym dwa podstawowe modele:

- dwurównaniowy model (k-ε) oparty o koncepcję lepkości turbulentnej (RANS), wykorzystywany w programach takich, jak Jasmine, Smartfire, Sofie
- model symulacji wielkich wirów (LES), dzielący wiry na duże - bezpośrednio obliczane za pomocą równań N-S oraz małe - modelowane na podstawie odpowiednich zależności, wykorzystywany w programie FDS.

Model LES umożliwia dokładniejszy opis zjawiska turbulencji, wymaga jednak większych mocy obliczeniowych komputerów niż model RANS, co powoduje, że we wczesnych latach rozwoju technik CFD był rzadko stosowany.

Obecnie, w miarę rozwoju techniki komputerowej wykorzystuje się go coraz częściej i zapewne w najbliższych latach stanie się on modelem podstawowym. Obecnie techniki komputerowe CFD umożliwiają

precyzyjną ocenę warunków panujących w przypadku wystąpienia pożaru nawet w obiektach o bardzo skomplikowanej geometrii, z uwzględnieniem wszystkich istotnych elementów architektury i wyposażenia wewnątrz oraz zastosowanych w nich systemów ochrony przeciwpożarowej, takich jak np. instalacja wentylacyjna czy tryskaczowa. Stanowią one obecnie nieodzowną i niezastąpioną technikę weryfikacji systemów wentylacji pożarowej, zarówno na etapie projektowania jak i eksploatacji czy modernizacji. Zawsze należy jednak mieć na uwadze, iż przy przeprowadzaniu symulacji komputerowych CFD konieczne jest uwzględnienie bardzo wielu czynników. Niewłaściwe wykonanie symulacji może doprowadzić do uzyskania wyników zupełnie nieodpowiadających warunkom rzeczywistym. Konieczne jest zatem każdorazowe, dokładne przeanalizowanie problemu z uwzględnieniem ograniczeń wykorzystywanego do modelowania programu oraz zastosowaniem w ostatecznej ocenie odpowiednich współczynników bezpieczeństwa. Ważne jest także porównanie otrzymanych wyników z ręcznie przeprowadzonymi obliczeniami parametrów pożaru, co pozwala zweryfikować prawidłowość przeprowadzonych symulacji.

Próby odbiorowe

W ramach procedury związanej z przekazaniem instalacji wentylacji pożarowej do użytkowania, należy przewidywać pomiary natężenia przepływu powietrza dopływającego i odprowadzanego przez instalację, a także pomiary w zakresie rozkładu prędkości powietrza wentylacyjnego w miejscach charakterystycznych. Przeprowadzane są także badania z użyciem zimnego dymu, ale umożliwiają one jedynie zobrazowanie tras, po których przemieszcza się powietrze wentylacyjne w pomieszczeniu, a nie dokonanie całościowej oceny efektywności działania instalacji oddymiającej, co niekiedy próbuje się robić w naszym kraju. Jak dotąd jedynie w Australii funkcjonuje norma, w oparciu o którą wykonywane są tam badania z użyciem gorącego dymu.

Testy z gorącym dymem są znacznie skuteczniejsze od testów z dymem zimnym, ponieważ zapewniają one bliższe rzeczywistości warunki unoszenia się dymu, uwzględniające różnice temperatury. Mają one za zadanie wykazać, że wszystkie elementy systemu oddymiania są sprawne, automatyczne włączenie tego systemu następuje zgodnie z przyjętym dla danego obiektu algorytmem sterowań podczas pożaru, a wydajność systemu nie została obniżona wskutek błędów wykonawczych.

Polegają one na wytworzeniu gorącego, sztucznego dymu, który nie niszczy wyposażenia obiektu oraz nie pozostawia zabrudzeń. Efekt wizualny uzyskuje się poprzez dodanie odpowiedniego znacznika (gazu znaczącego), zazwyczaj będącego aerozolem nietoksycznego oleju, wytwarzanym w specjalnym generatorze. Wysoka temperatura dymu uzyskiwana jest poprzez zastosowanie kontrolowanego źródła ciepła, takiego jak tace z palącym się alkoholem, zespoły palników gazowych lub nagrzewnice olejowo-elektryczne.

Bezpośrednie porównywanie wyników testów z wynikami symulacji komputerowych jest możliwe jedynie w przypadku zastosowania w obydwu przypadkach identycznych założeń. Najczęściej jednak, z przyczyn praktycznych, założenia przyjęte do przeprowadzenia symulacji przeprowadzanych na etapie projektowym i mających na celu ocenę warunków występujących na drogach ewakuacyjnych w przewidywanym czasie ewakuacji znacznie odbiegają od parametrów pożaru przyjmowanych do testów z gorącym dymem (chodzi tu przede wszystkim o parametry analizowanego pożaru), co oznacza, iż w testach nie należy się spodziewać wyników analogicznych jak w symulacjach. Stwierdzenie, iż system oddymiania działa w sposób prawidłowy, czyli zgodny z założeniami projektowymi, możliwe jest na podstawie oceny zgodności kierunków przepływu dymu w teście i w tych symulacjach.

dr inż. Dorota Brzezińska
Politechnika Łódzka

Literatura

1. Brzezińska D., Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.

2. PD 7974 – 6:2004. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behavior and condition.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (Dz.U. nr 144, poz. 859).
4. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. z 2009 r. nr 178, poz. 1380 z późn. zm.).
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
6. 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).
7. BS 5588-4:1998 „Fire precautions in the design, construction and use of buildings. Part 4: Code of practice for smoke control using pressure differentials”.
8. NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems, 2015 Edition.
9. Mizieliński B., Kubicki G., Wentylacja pożarowa – oddymianie, WNT, Warszawa 2012 r.
10. Brzezińska D., Jędrzejewski R., Wentylacja pożarowa budynków wysokich i wysokościowych, Poradnik, Fluid Desk, Szczecin 2003.
11. AS 4391 – 1999 Australian Standard Smoke management systems – Hot smoke test.
12. Brzezińska D., Smardz P., Próby odbiorowe z użyciem gorącego dymu, Ochrona Przeciwpożarowa, str. 26-30, nr 2, 2010.
13. NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems. 2015 Edition.
14. Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator. US Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research (RES), May 2007.
15. VDI 6019-1 Engineering methods for the dimensioning of systems for the removal of smoke from buildings, Fire curves, verification of effectiveness Guideline no. GL-17: Fire Brigade Intervention Model, General Provisions. Metropolitan Fire & Emergency Services Board Community Safety Directorate. 15 Sep. 2005.