

mgr inż. Wojciech Węgrzyński*
mgr inż. Grzegorz Krajewski*

Doświadczenia z wykorzystania narzędzi inżynierskich do oceny skuteczności funkcjonowania systemów wentylacji oddymiającej

Experience in the use of engineering tools in smoke and heat ventilation systems performance assessment

Streszczenie. W publikacji przedstawiono najnowsze osiągnięcia inżynierii bezpieczeństwa pożarowego wykorzystywane w codziennej pracy przy projektach systemów wentylacji oddymiającej, wraz z przedstawieniem grupy narzędzi. Porównano je z rozwiązaniami wykorzystywanymi kilka-kilkanaście lat temu, kładąc szczególny nacisk na obecnie dostępne możliwości, jednocześnie prezentując przewidywania w rozwoju technik w przyszłości.

Słowa kluczowe: wentylacja oddymiająca, analizy CFD, warunki techniczne.

Abstract. This article presents the to latest achievements on smoke and heat ventilation systems, and their impact on their design. Modern methods, such as CFD analysis are discussed, along with the changes to those methodologies implemented in past decade and possible future improvements. The focal point of the paper are new capabilities of modern CFD software and evacuation models. In the end of the paper, pros and cons of performance based regulations are discussed, with some final remarks for future law requirements.

Keywords: smoke and heat exhaust system, CFD analysis, numerical analysis.

Pięć lat temu wprowadzono daleko idące zmiany w przepisach techniczno-budowlanych [1] dotyczące wymagań stawianych systemom wentylacji oddymiającej, o czym pisano na łamach „Materiałów Budowlanych” w 2010 r. [2]. Obecnie jesteśmy w stanie ocenić, jak duże zmiany w działaniu wszystkich podmiotów uczestniczących w projektowaniu systemów wentylacji oddymiającej wymusiły nowe wymagania § 270 *Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [1]. Rozporządzenie to ma charakter nakazowy, określając sposób wykonania poszczególnych części i instalacji w budynku, stawiane im kryteria, sposób oceny i wartości graniczne. Podczas ostatniej, istotnej dla przepisów bezpieczeństwa pożarowego, aktualizacji tego rozporządzenia, istniejący nakazowy przepis został zmieniony i sformułowany w sposób funkcjonalny: „1. Instalacja wentylacji oddymiającej powinna: 1) usuwać dym z intensywnością zapewniającą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpi zadymienie lub temperatura uniemożliwiająca bezpieczną ewakuację (...)”.

W przywołanym zapisie ustawodawca zawarł wymaganie dotyczące skuteczności działania systemu, a nie wyznaczonego liczbowo parametru opisującego jej działanie. Ta pozornie niewielka zmiana sprawiła, że ciężar dowodu skuteczności funkcjonowania systemu wentylacji pożarowej spoczął na jego projektancie. Analizując dalej wymagania stawiane w § 270 *Warunków Technicznych* [2], czytamy: 2.

Przewody wentylacji oddymiającej, obsługujące: 1) wyłączanie jedną strefę pożarową, powinny mieć klasę odporności ogniowej z uwagi na szczelność ogniową i dymoszczelność – E₆₀₀S, co najmniej taką jak klasa odporności ogniowej stropu określona w § 216, przy czym dopuszcza się stosowanie klasy E₃₀₀S, jeżeli wynikająca z obliczeń temperatura dymu powstającego w czasie pożaru nie przekracza 300°C (...). Podobne powiązanie wymagania nakazowego, odnoszącego się do parametrów instalacji, z wynikiem obliczeń temperatury dymu odnajdujemy także w dalszej części analizowanego paragrafu, dotyczącej klap odcinających czy wentylatorów oddymiających. Ustawodawca stawiając te ogólne wymagania, nie definiuje sposobu jego oceny, ograniczając się do podania wartości granicznej parametru, od której uzależnia dobór rozwiązania przez projektanta. W całej treści paragrafu brakuje wymagań dotyczących sposobu oceny, warunków brzegowych czy podmiotu je prowadzącego.

Ocena funkcjonowania działania systemów wentylacji oddymiającej

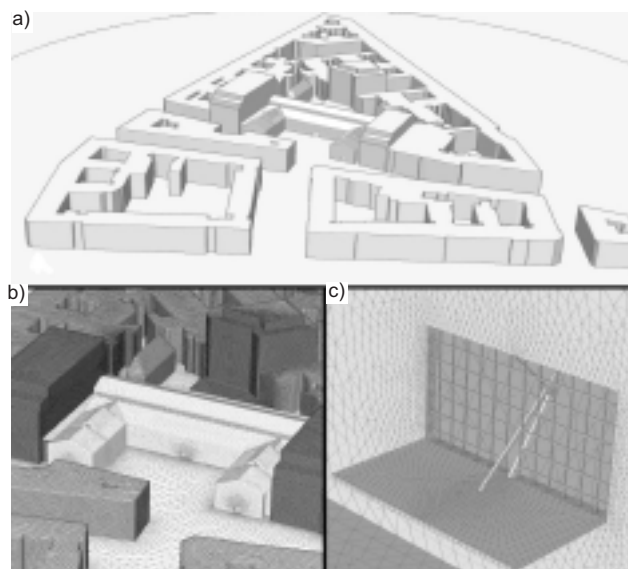
Wykorzystanie norm i wytycznych. Przy projektowaniu systemów wentylacji oddymiającej przyjęto, że § 270 ust. 1 jest spełniony, gdy w przypadku standardowego obiektu o typowej geometrii system wentylacji oddymiającej zaprojektowano na podstawie dostępnych polskich i zagranicznych norm, poradników oraz wytycznych dotyczących wentylacji pożarowej w danej grupie budynków [3]. Jaki rodzaj budynku możemy uznać za typowy? W naszej ocenie są to budynki, w których zbiornik dymu ma formę prostopadłościanu, jego wymiary nie przekraczają 60 m, a powierzchnia strefy dy-

* Instytut Techniki Budowlanej

mowej mieści się w wymaganiach standardów. Powietrze kompensacyjne do takiego budynku musi być dostarczane na wysokości nie większej niż 2,00 m z prędkością mniejszą niż 1,50 m/s, a na drodze dymu do zbiornika nie powinny znajdować się przeszkody architektoniczne powodujące jego mieszanie. Należy podkreślić, że spełnienie wymagań norm czy wytycznych oznacza spełnienie wszystkich wymagań tych dokumentów w sposób w nim opisany, np. zaprojektowanie instalacji grawitacyjnej wentylacji oddymiającej wg PN-B-02877-4 [4] z pominięciem wymagania zapewnienia 130% powierzchni otworów napowietrzających względem kłap dymowych, co często przysparza wielu trudności, nie będzie spełnieniem wprost wymagań tego dokumentu. Nie oznacza to, że takie rozwiązanie jest niepoprawne, ale wymaga innej formy weryfikacji.

Ocena z wykorzystaniem analiz numerycznych. Jak zatem ocenić poprawność działania systemów wentylacji pożarowej w większości budynków? Na to pytanie odpowiedź od ponad 10 lat jest niezmienna: **stosując analizę numeryczną wykorzystującą metodę komputerowej mechaniki płynów (CFD).** Przez ostatnie pięć lat od momentu aktualizacji rozporządzenia [1] na rynku analiz numerycznych zaszło wiele zmian. Obecnie symulacja w wielu przypadkach jest nierozłącznym elementem projektu, bez którego trudno o poprawny dobór urządzeń i ich rozmieszczenie. Niestety, symulacje komputerowe często bardzo się od siebie różnią. W Polsce nie ma jednorodnych założeń przyjmowanych do obliczeń CFD, takich jak np. moc symulowanego pożaru czy parametry generacji dymu. Obecnie analizy realizowane w różnych ośrodkach różnią się nawet o kilkadziesiąt procent na poziomie przyjętych założeń. Podstawowe założenia dotyczące analiz CFD wykorzystywane przez ekspertów ITB w ostatnich kilku latach nie uległy drastycznym zmianom. Wciąż badamy obiekty wg pożarów typu αt^2 opisanych w normach NFPA [5] dotyczących pomieszczeń biurowych, handlowych, a w analizach garaży wykorzystujemy pochodzące z badań jednostki TNO krzywe pożaru opisane w wytycznych holenderskich [6]. Największe zmiany wprowadzono w analizach tuneli komunikacyjnych – zrealizowany w Szwecji i Norwegii projekt Metro [7] dał nam wiele nowych danych źródłowych dotyczących rozwoju pożaru pociągów i tramwajów. We wszystkich prowadzonych przez nas analizach wydłużeniu uległ czas analizy – obecnie oczekuje się, że obliczenia CFD będą obejmowały co najmniej 20 min rozwoju pożaru, a w uzasadnionych przypadkach 30 min i więcej.

W przypadku systemów grawitacyjnej wentylacji oddymiającej rozwój metod numerycznych doprowadził do coraz bardziej popularnego wykorzystania analizy rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w obiekcie z jednoczesną analizą oddziaływania wiatru na obiekt, w celu oceny skuteczności działania grawitacyjnego systemu oddymiania w rzeczywistych niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Takie analizy są niezwykle skomplikowane, wymagają od osób je realizujących dużej wiedzy z dziedziny inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i inżynierii wiatrowej. Ze względu na obszar poddawany analizie modele są znacznie większe, niż pozwalałyby na to możliwości komputerów dostępnych dekadę temu, a różnica pomiędzy najmniejszym a największym elementem siatki w modelu może być nawet 100-krotna (rysunek a i b). Oczywiście tego typu analizy wymagają



Model otoczenia budynku, wewnątrz którego jednocześnie analizowane jest rozprzestrzenianie się dymu i ciepła (a), widok siatki w otoczeniu budynku (b) oraz widok modelu okna oddymiającego (c)

sprawdzenia wszystkich kątów natarcia wiatru, przy różnych prędkościach przepływu, co znacznie zwiększa liczbę analizowanych scenariuszy, ale dzięki rozwojowi oprogramowania i dostępnych komputerów nie trwają dłużej niż standardowe analizy CFD prowadzone w 2009 r.

Kryteria oceny wyników analiz numerycznych wykorzystywane w większości analiz CFD prowadzonych w Polsce są do siebie bardzo zbliżone. Wciąż oceniamy temperaturę dymu na wysokości 1,80 m powyżej poziomu drogi ewakuacji i jego masowe stężenie, często przeliczane na bardziej naturalny parametr lokalnej widzialności znaków ewakuacyjnych. Ocena bezpieczeństwa ekip ratowniczych realizowana jest w dwóch formach – oceny temperatury w obszarze zagrożonym (do 120 °C na wysokości 1,50 m, do 200 °C pod stropem) lub zapewnienia wolnego od dymu dostępu w pobliżu źródła ciepła i dymu.

Wyniki analiz numerycznych są konfrontowane z obliczeniami ewakuacji. W Polsce przyjęło się, że obliczenia procesów ewakuacji są prowadzone zgodnie z wymaganiami dokumentu PD-7974-6 [8], który zarówno zezwala na ręczne obliczenia czasu ewakuacji, jak i podaje podstawowe wymagania stawiane komputerowym analizom. Przewagą analiz komputerowych jest możliwość uwzględnienia skomplikowanych interakcji pomiędzy osobami ewakuującymi się oraz zachowania ludzi w czasie ewakuacji. Najnowocześniejsze modele ewakuacji, takie jak wykorzystywane w Zakładzie Badań Ogniowych ITB buildingExodus, pozwalają na automatyczne wyznaczanie drogi ewakuacji każdej z osób na podstawie rozmieszczenia znaków ewakuacyjnych w obiekcie, czy obserwacji rozprzestrzeniania się dymu w budynku. Innymi popularnymi modelami ewakuacji są Pathfinder, Steps oraz Evac. Niewiele zmieniło się także w ocenie wymaganych klas urządzeń wentylacyjnych (kłap, przewodów, wentylatorów). Wciąż oceniana jest średnia temperatura dymu płynącego przez urządzenie i na jej podstawie przypisywane jest wymagane stawiane elementowi. W niektórych projektach projektanci idą zbyt daleko w dosłownym trakto-

waniu tego zapisu, postulując całkowitą rezygnację z odporności ogniowej lub przyjmując klasę F_{200} w przypadku urządzeń zlokalizowanych bezpośrednio w lokalach handlowych czy garażach. Jest to niepokojące, gdyż analizy obejmują jedynie niewielki fragment grupy możliwych zdarzeń w obiekcie, a temperatura będąca wynikiem analizy jest nierozdzielnie związana z lokalizacją źródła pożaru względem ocenianego urządzenia. Poprawna interpretacja wyników obliczeń zależy od wiedzy i umiejętności osób prowadzących analizę, które wciąż nie podlegają żadnej regulacji prawnej czy weryfikacji.

Rozwój oprogramowania komputerowego

Ostatnie pięć lat przyniosło wiele zmian w najpopularniejszych programach wykorzystywanych w analizach numerycznych. Program FDS został oficjalnie wydany w wersji 6.0, oprogramowanie SMARTFIRE w wersji 4.3, a pakiet oprogramowania ANSYS Fluent w wersji 15.0.0. Na rynku pojawiło się także nowe oprogramowanie firmy Autodesk o nazwie Autodesk CFD, mocno zintegrowane ze środowiskiem AutoCAD. Ciekawą propozycją do prowadzenia analiz CFD związanych z pożarem i przepływami powietrza są także wykorzystywane na Zachodzie programy Star CCM oraz darmowy program OpenFOAM.

Wspólnym mianownikiem rozwoju oprogramowania do analiz CFD przez ostatnie lata jest poprawa wydajności, przekładająca się bezpośrednio na możliwość stosowania dokładniejszych siatek obliczeniowych. Ponadto obecnie analizy rozprzestrzeniania się dymu i ciepła mają charakter bardziej kompleksowy, weryfikacji poddawana jest większa liczba scenariuszy rozwoju pożaru przy jednoczesnym skróceniu czasu trwania obliczeń.

Pomimo znacznego rozwoju dostępnego oprogramowania do analiz CFD, wciąż nie dysponujemy dobrymi narzędziami pozwalającymi ocenić wpływ zadziałania instalacji tryskaczowej na działanie systemu wentylacji pożarowej. Modele takie są intensywnie rozwijane, m.in. w fińskim ośrodku VTT, jednak wciąż są to prace akademickie, a nie implementacja sprawdzonej metodologii gotowej do wykorzystania w analizach inżynierskich.

Projekt a jego wykonanie

Dysponujemy bazą nowoczesnych narzędzi inżynierskich pozwalających na etapie projektu ocenić działanie systemu wentylacji oddymiającej, jednak często pomimo najlepszych starań projektantów system wykonany w rzeczywistym obiekcie działa zupełnie inaczej, niż zakładano. Często jest to wynikiem niekończących się zmian w projekcie, niekonsultowanych z wykonawcami analiz numerycznych lub braku wystarczającej międzybranżowej koordynacji prac. W innych sytuacjach problemy z detekcją pożaru i poprawnym przekazaniem sterowań do centrali systemu wentylacji oddymiającej powodują błędne i niezgodne z projektem uruchomienie systemu. Bez względu na przyczynę, nawet niewielkie zakłócenie pracy systemu jest w stanie w bardzo negatywny sposób wpłynąć na skuteczność jego funkcjonowania. Odpowiedzią na ten problem są coraz popularniejsze próby odbiorowe instalacji wentylacji oddymiającej z wykorzystaniem metody gorącego dymu [9]. Podczas takich prób w budynku generowana jest duża ilość gorącego dymu, który na skutek

działania sił wyporu unosi się do zbiornika dymu, skąd usuwany jest przez system wentylacji oddymiającej (fotografia). W czasie próby badane jest działanie systemu wentylacji oraz współpraca systemu z powiązаныmi elementami automatyki pożarowej. Prowadzone pomiary i obserwacje mają charakter jakościowy, a nie ilościowy. W czasie próby można dokonać identyfikacji obszarów wypełnionych bądź wolnych od dymu, ocenić możliwość formowania się warstwy gorącego dymu lub zidentyfikować obszary, w których zachodzi mieszanie warstwy dymu z napływającym powietrzem kompensacyjnym. Na podstawie pomiarów czasu detekcji



Próby z gorącym dymem w garażu podziemnym

i alarmowania oraz obserwacji działania systemów automatyki pożarowej możliwa jest ocena skuteczności funkcjonowania systemu sygnalizacji pożarowej w obiekcie i poprawność realizacji scenariusza pożarowego. Metoda ta pozwala niewielkim kosztem wykrywać nieprawidłowości w działaniu systemów, a interpretacja uzyskanych wyników pozwala znaleźć optymalne rozwiązanie problemów oraz potwierdzić, czy zaprojektowany system faktycznie zapewnia oczekiwany poziom bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie.

Wnioski

Coraz powszechniejsze jest wykorzystanie analiz CFD jako narzędzia potwierdzającego poprawność zastosowanych rozwiązań wentylacji oddymiającej. Forma prowadzenia obliczeń czy kryteria oceny nie uległy znacznym zmianom, jednak obecnie analizowana jest większa liczba scenariuszy, a same obliczenia wykonywane są na dokładniejszych siatkach obliczeniowych i obejmują dłuższy czas analizy. Jednocześnie coraz powszechniejsze stają się równoległe do obliczeń numerycznych rozprzestrzeniania się dymu i ciepła obliczenia procesów ewakuacji z wykorzystaniem komputerowych modeli uwzględniających interakcję między ludźmi oraz ich zachowania w obliczu niebezpieczeństwa.

Wciąż nierozwiązanym problemem jest brak regulacji dotyczących analiz CFD. Nie ma unifikacji w zakresie warunków brzegowych i początkowych, czy parametrów źródeł ciepła i dymu. Brakuje także regulacji w zakresie wymagań stawianych osobom odpowiedzialnym za prowadzenie analiz numerycznych, a ich wiedza w zakresie bezpieczeństwa pożarowego czy metod numerycznych w żaden sposób nie jest weryfikowana. Trudno jest także porównywać symulacje pochodzące z różnych ośrodków. Często są zbyt duże różnice w przyjętych założeniach, kształcie modelu czy wybranym sposobie rozwiązania.

Przyszłość analiz CFD w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego jest obiecująca. Rozwój oprogramowania i sprzętu być może w ciągu najbliższej dekady pozwoli na realistyczne odwzorowanie rozwoju pożaru w obiekcie

na podstawie modeli pirolizy i spalania, w oderwaniu od przyjętego i powszechnie obecnie wykorzystywanego uproszczonego opisu matematycznego tego zjawiska. Stworzenie prostego modelu tryskacza wykorzystywanego w analizach CFD pozwoli na uwzględnienie wpływu działającej instalacji tryskaczowej na system wentylacji pożarowej.

Podsumowując pięć lat pracy w nowej rzeczywistości prawnej, wprowadzone w § 270 wymagania funkcjonalne stawiane systemom wentylacji oddymiającej ma wiele zalet, m.in.:

- upowszechnienie analiz rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w projektowaniu systemów wentylacji oddymiającej pozwoliło projektować systemy lepiej dopasowane do obiektów;
- kryterium oceny systemu jest nierozdzielnie związane z poziomem bezpieczeństwa w budynku;
- możliwe jest wykorzystanie niekonwencjonalnych sposobów usuwania dymu i napowietrzania, o ile udowodni się, że są one bezpieczne;
- rzetelna ocena skutków pożaru w budynku pomaga w doborze odpowiednich urządzeń, często zmniejszając koszt całej instalacji.

Wprowadzone wymagania mają także następujące wady:

- niejednoznaczne kryteria oceny skuteczności działania systemów;
- brak określonych warunków brzegowych, początkowych, sposobu generacji siatki obliczeniowej, krzywej rozwoju pożaru, czasu trwania analizy czy parametrów generacji dymu;
- brak wymagań stawianych jednostkom prowadzącym analizy CFD, osobom odpowiedzialnym za ich prowadzenie czy wykorzystywanemu oprogramowaniu.

Powszechne wykorzystanie zapisów funkcjonalnych w przepisach techniczno-budowlanych powinno być jednoznacznie powiązane z przedstawionymi kryteriami prowadzenia analiz, oceny wyników oraz kompetencji ich wykonawców. Tylko wtedy takie zapisy prawa będą służyły poprawie bezpieczeństwa pożarowego.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. nr 75, poz. 690), z późniejszymi zmianami.
- [2] G. Sztarbała, Normalizacja dotycząca obliczeń numerycznych rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w obiektach budowlanych, Materiały Budowlane nr 9/2010.
- [3] Instytut Techniki Budowlanej, Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Tekst ujednolicony po nowelizacji z komentarzem, Warszawa 2009 r.
- [4] PN-B-02877-4 Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła. Zasady projektowania.
- [5] NFPA 204: Standard for Smoke and Heat Venting, 2012 Edition, 2012.
- [6] NEN 6098: 2010 Ontw. nl Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages, 2010.
- [7] H. Ingason et al., The Metro Project – Final report, Malardalen University 2012: 8, 2012.
- [8] Projekt rozwojowy pt.: „Kontrola rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w garażach” N R 04 0003 06, Warszawa 2009 – 2012. PD 7974-6.
- [9] Sztarbała G., Węgrzyński W., Krajewski G., Wykorzystanie metody gorącego dymu do oceny skuteczności funkcjonowania systemów bezpieczeństwa pożarowego w obiektach budowlanych, Konferencja Bezpieczeństwo Pożarowe Obiektów Budowlanych, Warszawa 2012 r.

PIERWSZE POLSKIE WENTYLATORY STRUMIENIOWE SCF

SMAV

Systemy wentylacji strumieniowej garaży firmy Smay to:

- kompleksowa obsługa,
- projektowanie kompletnych systemów,
- symulacje CFD,
- produkcja wentylatorów:
 - klasa F300 oraz F400,
- certyfikaty stałości właściwości użytkowych
 - F300 nr: 1488-CPR-0464/W
 - F400 nr: 1488-CPR-0465/W
- dostawa z montażem oraz próby odbiorowe.



SMAV

www.smay.pl

ul. Ciepłownicza 29, Kraków