

mgr inż. Piotr Zaranek

## Analiza stosowalności systemów oddymiania klatek schodowych w oparciu o symulacje CFD

Systemy bezpieczeństwa budynków stanowią zespół współpracujących ze sobą technologii. Integracja układów mechanicznych, ciśnieniowych oraz automatyki budowli jest standardem współczesnej ochrony przeciwpożarowej. Z wielu jednak względów odpowiednie systemy bezpieczeństwa są dedykowane wybranym konstrukcjom i przeznaczone wyłącznie do odpowiednich typów zabudowy i architektury.

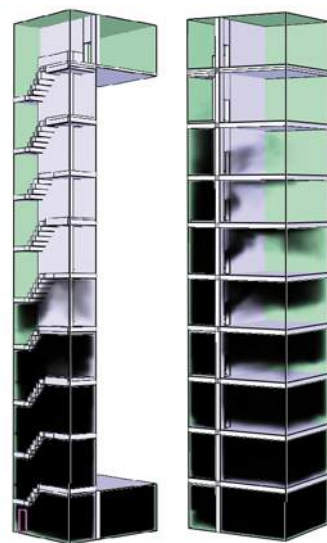
**W** artykule zajmiemy się tematem stosowalności wybranych rozwiązań ochrony przeciwpożarowej budynków wielokondygnacyjnych. Szczególną uwagę zwracamy w nim na bezpieczeństwo dróg ewakuacyjnych umieszczonych w klatce schodowej oraz wpływowi ich oddymiania na pozostałe kondygnacje budynku. Ocenie poddano zarówno układy oddymiania grawitacyjnego, jak i mechanicznego.

Analiza została wykonana za pomocą metody symulacji CFD (*Computational Fluid Dynamics*) – obliczeniowej dynamiki płynów. Komputerowe symulacje zrealizowano z użyciem standardu FDS (*Fire Dynamics Simulator*), przeznaczonego do analizy rozwoju pożaru i jego przemian energetycznych.

### Pożar swobodny

Obiekt, którym będziemy zajmować się w artykule, jest 10-kondygnacyjną klatką schodową o łącznej wysokości 44 m. Aby wymusić stosunkowo najmniej korzystne warunki pożarowe, pomieszczenie generujące zagrożenie umieszczono na najniższej kondygnacji. Przyjęto, że pożar osiągnie moc równą 1200 kW w czasie 5 minut, co jest zgodne ze średnim tempem rozwoju pożaru dla budynków o przeznaczeniu biurowym lub mieszkalnym. Dymotwórczość produktów wyznaczono w sposób przybliżony dla wyposażenia wnętrza opartego na produktach tekstylnych z niewielkim udziałem tworzyw sztucznych.

Rys. 1. Zadymienie klatek schodowych w dziesiątej minucie pożaru



a. klatka schodowa zamknięta

b. klatka schodowa otwarta

Badanie dotyczy warunków w trakcie prowadzenia ewakuacji. Czas symulacji wynika z czasu trwania potencjalnej ewakuacji, której w przypadku testowego obiektu podlega 700 osób. Zgodnie ze standardem SFPE (*Society of Fire Protection Engineers*) czas prowadzenia ewakuacji wynosi:

$$T = (n - 1) * \frac{1}{F}$$

gdzie:  $n$  - liczba osób (700)  
 $F$  - strumień osób ( $F=1,32*W_e$ )  
 $W_e$  - średnica efektywna drzwi (1 m)

W związku z tymi założeniami czas prowadzenia ewakuacji równy jest 530 s, co oznacza, że wszelkie dalsze badania skupione zostały w przedziale czasu do 10 minut.

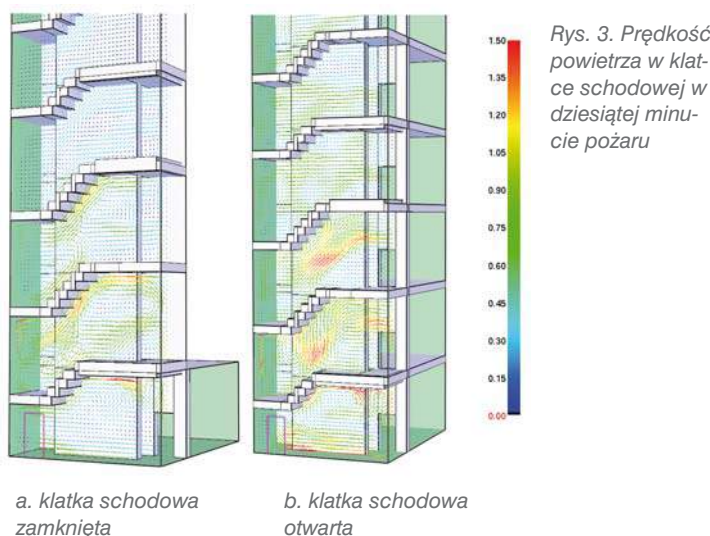
Aby odpowiednio zestawić działanie badanych systemów przeciwpożarowych, wykonano wcześniej symulację prezentującą nieograniczony rozwój pożaru w obszarze klatki schodowej. Analizę przeprowadzono w dwóch wariantach: w jednym założono zamknięcie poszczególnych kondygnacji drzwiami o odporności ogniowej, w drugim – udostępnienie wszystkich. Klatka schodowa w obu przypadkach jest napowietrzana przez drzwi umieszczone na najniższym poziomie, a klapy oddymiające nie uczestniczą w oddymianiu i pozostają zamknięte.

W wyniku przeprowadzonej symulacji odnotowano, że pomimo większej kubatury obiektu o otwartych kondygnacjach dochodzi do jego znacznie wyraźniejszego zadymienia. Paradoksalnie zadymienie klatki schodowej o mniejszej kubaturze okazuje się wyraźnie mniejsze i dotyczy wyłącznie czterech kondygnacji. W przypadku klatki z otwartymi pomieszczeniami dochodzi do pełnego zadymienia aż ośmiu kondygnacji klatki schodowej oraz blisko sześciu poziomów mieszkalnych (rys. 1).

Prawdopodobną konsekwencją opisanego stanu rzeczy jest rozkład temperatury zależny od otwarcia i zamknięcia pomieszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie klatki schodowej. Rzeczywiście dochodzi do podwyższenia temperatury w obszarze klatki schodowej w przypadku otwarcia drzwi do pomieszczeń. W rezultacie temperatura na drodze ewakuacji budynku o otwar-

tych drzwiach jest wyraźnie wyższa niż w budynku o drzwiach zamkniętych (rys. 2).

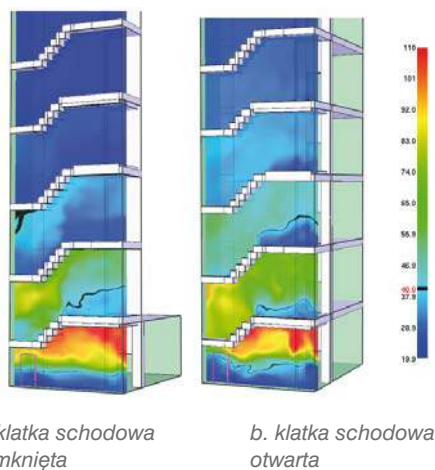
Co zatem jest przyczyną większego zadymienia i wyższego poziomu temperatury? Odpowiedź na zadane pytanie przynosi rozkład prędkości. Okazuje się bowiem, że w przypadku ograniczonej objętości budynku zamkniętego dochodzi do wymuszonego oddymiania przez drzwi napowietrzające znajdujące się na kondygnacji parterowej. W rezultacie prędkość unoszenia dymu w klatce schodowej jest znacznie mniejsza, co powoduje redukcję zadymienia (rys. 3). Dodatkowo pomiar prędkości przepływu w drzwiach potwierdza opisaną tezę – 0,6 m/s przy klatce bez otwartych kondygnacji i aż 1,7 m/s przy kondygnacjach zamkniętych.



Reasumując, powszechnie stosowana metoda zabezpieczania budynku z użyciem drzwi o odporności ogniowej przynosi dodatkowe korzyści, inne niż docelowo zakładane. Powoduje nie tylko odcięcie poszczególnych kondygnacji od zagrożenia pożarowego, ale także zmniejszenie zadymienia na klatce schodowej stanowiącej drogę ewakuacyjną.

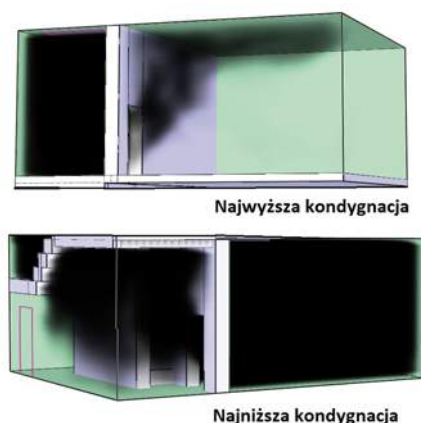
## Oddymianie grawitacyjne

System oddymiania grawitacyjnego powoduje utworzenie ciągu, który jest wynikiem różnicy ciśnienia na linii kłapa dymowa – drzwi napowietrzające. Naturalną konsekwencją tego stanu jest zwiększenie prędkości powietrza i uniesienie chmury gazów pożarowych ku górze klatki schodowej. Oddymianie nie odbywa się jak wcześniej przez drzwi, ale wyłącznie przez klapy dymowe, co jest także przyczyną pełnego zadymienia klatki schodowej (rys. 4). Stan ten nie jest pożądany, ale w przypadku dużych pożarów, a szczególnie tych umieszczonych na wyższych kondygnacjach, stanowi skuteczne rozwiązanie zabezpieczające niższe kondygnacje.



Rys. 2. Temperatura w klatce schodowej w dziesiątej minucie pożaru

Rys. 4. Zadymienie podczas oddymiania grawitacyjnego



Warto również odnotować, że zwiększenie powierzchni czynnej kłap oddymiających nie powoduje zauważalnych rezultatów w postaci zwiększenia jakości oddymiania i poziomu temperatury (rys. 5). Wniosek ten dotyczy czasu ewakuacji, gdyż prawdopodobnie po czasie dłuższym niż 10 minut wspomniane różnice pojawią się wraz ze zwiększeniem ciśnienia w obiekcie.

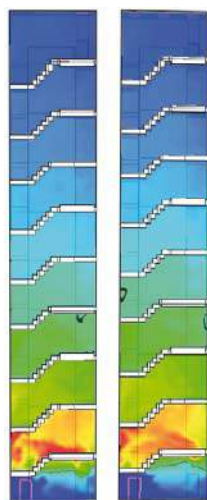
## Oddymianie mechaniczne

Wentylacja mechaniczna stanowi rozszerzenie idei oddymiania grawitacyjnego. W badanym przypadku zastosowano rozwiązania obsługiwane przez układ nawiewno-wywiewny złożony z wentylatora kompensacyjnego znajdującego się na najniższej kondygnacji oraz wentylatora wyciągowego położonego w miejscu wcześniej analizowanych kłap oddymiających. Przeprowadzono dwie próby symulacyjne, dla 10 i 20 wymian powietrza na godzinę.

Otrzymano zbliżony efekt równomiernego zadymienia klatki schodowej jak w przypadku wentylacji grawitacyjnej. Ze względu jednak na mechaniczne wymuszenie przepływu powietrza dochodzi do efektywniejszego oddymiania przestrzeni klatki schodowej. W rezultacie średnia widzialność w dziesiątej minucie pożaru rośnie z 0,5 m (wentylacja grawitacyjna) do 1 m (10 wymian/h), a nawet 1,5 m (20 wymian/h). Działanie wentylacji zapewnia bezpieczne prowadzenie ewakuacji w czasie 200 s w przypadku 10 wymian na godzinę i nawet 250 s w razie 20 wymian. Jest to czas, w którym widoczność w całej klatce schodowej nie spada poniżej 5 m. Dla porównania przedstawiono stan granicy widzialności 5 m w 250. sekundzie, dla obu badanych systemów (rys. 6).

Wentylatory wymuszające tak duże wymiany powietrza generują olbrzymie prędkości nawiewu. Mogą one stać się przyczyną

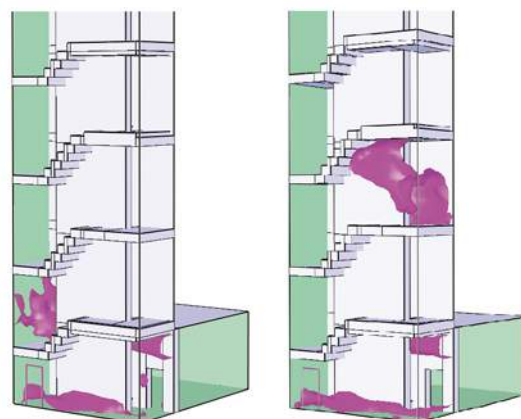
Rys. 5. Temperatura powietrza podczas oddymiania grawitacyjnego



a. jedna kłapa - 2 m<sup>2</sup>  
b. trzy kłapy - 6 m<sup>2</sup>

a. 20 wymian/h

b. 10 wymian/h



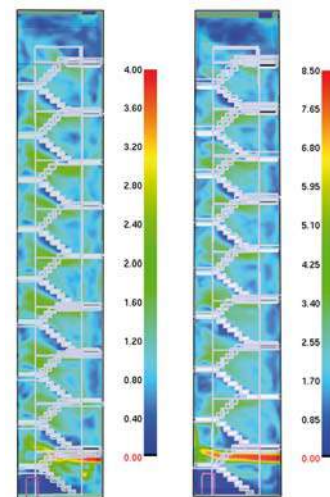
Rys. 6. Granica widzialności 5 m w 250. sekundzie pożaru

zagrożenia na drodze ewakuacyjnej, poprzez wywołanie zachowań panicznych. Przyjmuje się, że graniczna wartość prędkości nie wywołująca takich zjawisk to 5 m/s (BS 7346-7 2006) lub 10 m/s (NFPA 204 2007). System pracujący w oparciu o 10 wymian/h spełnia oba kryteria, natomiast drugi z nich wyłącznie standard amerykański (rys. 7). Decyzja o wykorzystaniu progu 10 m/s stanowi wyłącznie przyjęcie niższego kryterium bezpieczeństwa.

Właściwy dobór rozwiązania ochrony przeciwpożarowej niesie konsekwencje w postaci skuteczności jego działania w odniesieniu do typu budynku. Jak pokazano w artykule, skuteczność oddymiania klatki schodowej zależy w dużym stopniu od rodzaju dobranego układu oddymiającego. Zapewnienie bezpieczeństwa w obszarze wysokich klatek schodowych może wymagać sprawdzenia ich działania poprzez wykonanie próby symulacyjnej.

Artykuł stanowi punkt wyjścia do dalszej analizy i otwiera pole kompleksowym analizom ciśnienia wysokich klatek schodowych. Dalsze dociekania przenoszą się na grunt badań na pograniczu ochrony przeciwpożarowej, hydromechaniki oraz automatyki budowli.

Rys. 7. Prędkość powietrza w 10. minucie pożaru



a. 10 wymian/h b. 20 wymian/h