

# Różnicowanie ciśnienia w pionowych drogach ewakuacyjnych budynków wysokościowych

## Analiza numeryczna działania systemów

Grzegorz SYPEK, Izabela TEKIELAK\*, Jarosław WICHE\*\*)

Na przestrzeni ostatnich lat obserwowany jest stały wzrost dostępności narzędzi komputerowej mechaniki płynów (CFD) co w połączeniu ze stale rosnącymi możliwościami sprzętowymi pozwala na coraz dokładniejsze modelowanie procesów wymiany ciepła i przepływów powietrza w budynkach. Stopniowa popularyzacja tego typu analizy obserwowana jest również w odniesieniu do systemów wentylacji pożarowej. Najszersze zastosowanie analiza numeryczna znajduje w dalszym ciągu w odniesieniu do instalacji wentylacji oddymiającej, jednak dzięki zastosowaniu nowoczesnych narzędzi i odpowiednich modeli numerycznych można z powodzeniem modelować wybrane procesy na poziomie pojedynczych urządzeń jak i całych instalacji w tym również systemów różnicowania ciśnienia. W niniejszym artykule przedstawiono porównanie skuteczności działania dwóch instalacji nadciśnieniowego zabezpieczenia przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacyjnych. Porównania dokonano na podstawie analizy numerycznej (CFD) procesów ciepło-przepływowych towarzyszących eksploatacji ww. instalacji z wymienieniem kluczowych etapów procedury tworzenia modelu numerycznego i problemów z tym związanych.

Zagadnienia związane z modelowaniem komputerowym procesów towarzyszących eksploatacji systemów wentylacji pożarowej zyskuje coraz większe znaczenie. Ma to związek z rozwojem narzędzi w postaci oprogramowania oraz stale rosnących możliwości sprzętowych. Obecnie możliwe jest odwzorowanie zjawisk fizycznych i procesów ciepło-przepływowych zachodzących w rzeczywistości. Poziomą dokładność gwarantuje poprawność przeprowadzonej analizy w kontekście obserwowanych trendów, jak również wartości konkretnych wielkości fizycznych, takich jak ciśnienie czy temperatura. Obecnie analiza numeryczna stanowi często integralną część dokumentacji projektowej stanowiąc niejednokrotnie jedyną realną możliwość weryfikacji skuteczności proponowanych rozwiązań. Dodatkowo, istotnym problemem jest brak, chociażby ogólnych, wytycznych i wymagań dotyczących prowadzenia symulacji komputero-

wych, co w konsekwencji często uniemożliwia porównanie poszczególnych modeli oraz powoduje istotne trudności w ocenie uzyskiwanych wyników. W odniesieniu do osób zamawiających wykonanie obliczeń konieczna jest świadomość, że nawet najlepiej wykonane symulacje komputerowe są jedynie pewnym przybliżeniem procesów rzeczywistych. Jako metody numeryczne są z zasady obciążone błędem, którego wielkość może przyjmować wartości z bardzo szerokiego zakresu. Powodem może być chociażby złe uwarunkowanie modelu. Dlatego właśnie tak ważne jest, aby osoba prowadząca obliczenia oraz dokonująca interpretacji uzyskanych wyników dysponowała odpowiednią wiedzą oraz doświadczeniem. Dodatkowo, powinna mieć pełną świadomość w zakresie prowadzonych prac. Z punktu widzenia oceny przeprowadzonych symulacji, często konieczna okazuje się dodatkowa walidacja modelu numerycznego w oparciu o wyniki obliczeń analitycznych oraz wyników pomiarów rzeczywistych.

W chwili obecnej obliczenia numeryczne, potocznie zwane symulacjami CFD, są traktowane hasłowo i w wielu sytuacjach stanowią synonim modelowania pracy instalacji wentylacji oddymiającej, szczególnie w odniesieniu do garaży podziemnych. Należy pamiętać, że jest

to jedynie jedna z wielu praktycznych aplikacji narzędzi tego rodzaju. Na rynku dostępna jest cała gama oprogramowania wykorzystująca metody numeryczne do rozwiązywania równań mechaniki płynów i wymiany ciepła, przy zastosowaniu różnych algorytmów obliczeniowych. Przykładem takiego oprogramowania jest pakiet Ansys® Fluent® 12 umożliwiający kompleksową analizę zagadnień związanych z działaniem instalacji wentylacji pożarowej, również w odniesieniu do systemów różnicowania ciśnienia.

W niniejszym artykule opisane zostały wyniki obliczeń przeprowadzonych, właśnie z wykorzystaniem oprogramowania Ansys® Fluent®, dla dwóch modeli numerycznych tej samej klatki schodowej wyposażonej w niezależne instalacje napowietrzania o różnym sposobie organizacji przepływu powietrza. Przestrzeń chroniona będąca pionową drogą ewakuacji stanowi zewnętrzna, żelbetowa klatka schodowa budynku biurowego o całkowitej wysokości wynoszącej 90 m (23 kondygnacje). Obudowa klatki schodowej została doszczelniona, tak aby łączna nieuszczelnienie klatki schodowej w funkcji panującego w niej nadciśnienia odpowiadała wartościom normatywnym przedstawionym w normie PN-EN 12101-6. Na potrzeby gromadzenia i opracowania danych wejściowych do modelu numerycznego oraz jego walidacji prowadzone były ciągłe pomiary temperatury powietrza zewnętrznego, rozkładu temperatury i ciśnienia statycznego wewnątrz klatki schodowej oraz temperatur powierzchni ścian i schodów, będących wymiennikami o znacznej pojemności cieplnej. Dodatkowo, podczas prowadzenia prób oraz testów, całość danych była rejestrowana w sposób ciągły, pozwalając na pełen monitoring interesujących z punktu widzenia modelowania CFD wielkości oraz ustalenie korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami.

### System z nawiewem wielopunktowym

Pierwszym z analizowanych systemów był klasyczny nawiew wielopunktowy realizowany przy pomocy instalacji ze zbiorczym szachtem napowietrzającym zlokalizowanym w szybie windowym oraz wlotami powietrza na co drugiej kondygnacji. Powietrze podawane było do klatki dzięki zastosowaniu dwóch wentylatorów napowietrzających zlokalizowanych na skrajnych kondygnacjach (K0 i K23). Średnica

otworów nawiewu powietrza do przestrzeni klatki schodowej wynosiła 250 mm.

### Układ przepływowo z ukierunkowanym i kontrolowanym przepływem (SWAY®)\*

Drugim systemem był układ przepływowo ze specjalną organizacją przepływu powietrza polegającą na wytworzeniu ukierunkowanego i kontrolowanego przepływu powietrza w przestrzeni klatki schodowej dzięki zastosowaniu wentylatorów rewersyjnych zlokalizowanych, podobnie jak w przypadku rozwiązania bazowego, na skrajnych kondygnacjach (K0 i K23). Otwory nawiewno-wywiewne wykonano w sąsiedztwie wentylatorów w obudowie klatki schodowej w postaci wylotów z kanałów napowietrzających o średnicy 560 mm. Instalacja o takiej konstrukcji nie wymaga prowadzenia szachtu napowietrzającego wzdłuż całej klatki schodowej, co jest szczególnie ważne w kontekście dostosowania budynków istniejących do obowiązujących przepisów, kiedy powszechnym problemem jest brak miejsca na prowadzenie przewodu o znacznych wymiarach geometrycznych. Dzięki zastosowaniu elementów automatyki układ może dynamicznie kompensować niekorzystny wpływ czynników zewnętrznych, takich jak gwałtowne zmiany temperatury powietrza lub kierunku i prędkości wiatru, pozwalając na stabilizację nadciśnienia w przestrzeni klatki schodowej niezależnie od aktualnych parametrów otoczenia.

### Założenia do analizy

Systemy różnicowania ciśnienia wykorzystywane są w praktyce jako instalacje, których zadaniem jest wytworzenie nadciśnienia w przestrzeni chronionej i uniemożliwienie infiltracji dymu ze strefy objętej pożarem. Niezwykle istotne jest wyraźnie rozróżnienie tego rodzaju rozwiązań od klasycznych instalacji wentylacji oddymiającej, ponieważ implikuje poważne konsekwencje dla przygotowania modeli, prowadzenia symulacji CFD oraz interpretacji wyników.

Często popełnianym błędem, przy projektowaniu systemów nadciśnieniowej ochrony przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacji, jest traktowanie instalacji napowietrzającej i oddymiającej jako kompletnie autonomicznych systemów, podczas gdy w odniesieniu do przepływów powietrza w budynku poszczególne kubatury stanowią układ połączeń hydraulicznych. Dla uzyskania wiarygodnych wyników modelowania konieczne jest dodatkowo uwzględnienie szeregu zjawisk i procesów, które wpływają istotnie na rozkład temperatury i ciśnienia w przestrzeni chronionej nadciśnieniowo. Najważniejszym z tych zjawisk, które można traktować jak zakłócenie jest efekt kominowy, polegający na pionowym ruchu powietrza w przestrzeni klatki schodowej powodowanym różnicą gęstości

powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Zjawisko to jest tym intensywniejsze, im większa jest różnica temperatur powietrza. Prowadzi ono do występowania naturalnego gradientu ciśnienia pomiędzy kondygnacjami dolnymi i górnymi. Opracowany model numeryczny dla analizowanej klatki schodowej umożliwiał również określenie wartości wspomnianego rozwarstwienia ciśnienia. Dla porównania wykorzystać można inżynierskie zależności analityczne pozwalające na weryfikację poprawności działania modelu numerycznego zgodnie z poniższą zależnością:

$$\Delta p = (\rho_{ext} - \rho_{int}) \cdot g \cdot h \cdot C \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta p$  – różnica wartości ciśnienia pomiędzy skrajnymi kondygnacjami klatki schodowej, Pa,

$\rho_{ext}(t_{ext})$  – gęstość powietrza zewnętrznego dla temperatury  $t_{ext}$  [kg/m<sup>3</sup>],

$\rho_{int}(t_{int})$  – gęstość powietrza wewnętrznego dla temperatury  $t_{int}$  [kg/m<sup>3</sup>],

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

$h$  – łączna wysokość klatki schodowej [m],

$C$  – bezwymiarowy współczynnik korekcyjny [-].

Przedstawiony w równaniu (1) współczynnik korekcyjny został wyznaczony na podstawie badań eksperymentalnych oraz symulacji komputerowych. Jego wartość zależy od wysokości klatki schodowej i poziomu nieszczelności. Dla klatek schodowych o standardowej konstrukcji jego wartość zawiera się w przedziale 0,65÷0,90. Dla analizowanej klatki schodowej wartość współczynnika korekcyjnego wynosiła 0,83. Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność działania systemów różnicowania ciśnienia jest również wpływ parcia i ssania wiatru na elewacji budynku, jednak z uwagi na zakres problemu temat ten został jedynie zasygnalizowany.

Generalnie można założyć, że przeprowadzenie symulacji komputerowej dowolnego zagadnienia przebiega zgodnie z pewnym uniwersalnym algorytmem polegającym na realizacji kluczowych etapów, do których zaliczyć należy przygotowanie geometrii, dyskretyzację przestrzeni – w której prowadzone są obliczenia, wybór modeli matematycznych, definicję warunków brzegowych i w końcu określenie wymaganej dokładności wyników obliczeń. Każdy z wyżej wymienionych etapów składa się oczywiście z szeregu mniejszych zadań, których liczba oraz stopień złożoności zależy bezpośrednio od modelowanego zagadnienia. Podobnie, każdy z tych etapów wpływa bardzo istotnie nie tylko na dokładność, ale również w wielu sytuacjach na sensowność prowadzenia analizy numerycznej. Do najczęściej popełnianych błędów zaliczyć można niewłaściwy podział przestrzeni obliczeniowej na elemen-

ty o zbyt dużych wymiarach geometrycznych. Miałoby to na celu obniżenie wymagań sprzętowych lub skrócenie czasu trwania obliczeń. Nie inaczej jest w odniesieniu do modelowania pracy systemów nadciśnieniowej ochrony przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacyjnych. Dyskretyzacja przestrzeni powinna być przeprowadzona z uwzględnieniem rzeczywistej lokalizacji kluczowych elementów instalacji, takich jak wentylatory, trasy kanałów oraz punkty nawiewno-wywiewne. W programach służących do modelowania CFD wykorzystywane są specjalnego rodzaju funkcje pozwalające na tworzenie siatek niestrukturalnych z zagęszczeniem komórek w obszarach występowania znaczącego gradientu analizowanych wielkości fizycznych np. prędkości przepływu powietrza w sąsiedztwie otworów nawiewnych. Trudno jest jednoznacznie określić uniwersalne maksymalne wymiary elementów, które mogą być różne w zależności od specyfiki modelowanego zjawiska.

Analiza numeryczna działania systemów nadciśnieniowej zapobiegania zadymieniu pionowych dróg ewakuacyjnych przebiega według schematu zbliżonego do przedstawionego powyżej. Na wstępie przygotować należy geometrię klatki schodowej ze szczególnym uwzględnieniem lokalizacji punktów nawiewnych oraz nieszczelności. Przyjęty sposób dystrybucji powietrza we wnętrzu klatki schodowej wpływa bardzo istotnie na całość zjawisk zachodzących w przestrzeni pionowej drogi ewakuacyjnej.

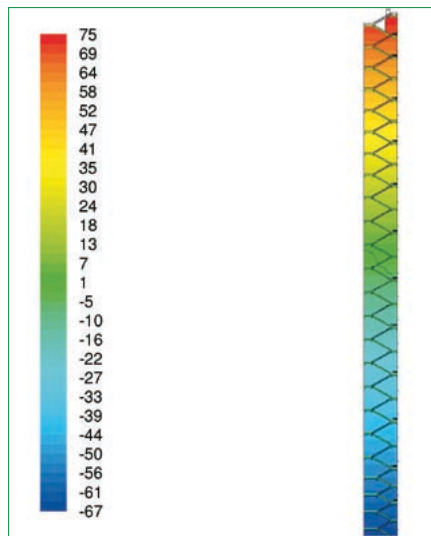
To właśnie modelowanie nieszczelności obok właściwej dyskretyzacji przestrzeni obliczeniowej modelu stanowi kluczowy problem związany z opracowaniem tego rodzaju modeli. W przypadku systemów różnicowania ciśnienia mniej istotna jest precyzyjna lokalizacja oraz wierne odwzorowanie geometrii nieszczelności w porównaniu do modelowania zjawiska pożaru i związanych z nim ilości oraz sposobu dystrybucji dymu. Korzystając z oprogramowania Ansys® Fluent® wskazane jest modelowanie nieszczelności z wykorzystaniem warunku brzegowego dla materiału porowatego (Porous Jump), który pozwala na zadanie wymaganego dodatkowego oporu funkcji prędkości przepływu powietrza w otworach nieszczelności. Wymagane parametry nieszczelności dla analizowanej klatki schodowej określone zostały na podstawie pomiarów rzeczywistych, polegających na wyznaczeniu korelacji pomiędzy nadciśnieniem w klatce, a całkowitym strumieniem powietrza dostarczanym do jej kubatury oraz dodatkowo zweryfikowane z danymi tabelarycznymi z normy PN-EN 12101-6.

W przypadku prowadzenia obliczeń numerycznych dla pionowych dróg ewakuacyjnych konieczne jest również uwzględnienie wpływu, często pomijanej, grawitacji. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do obliczeń układu przepływowego działającego w warunkach znacznej różnicy temperatur powietrza zewnętrznego i wewnętrznego.

Prezentowane obliczenia numeryczne przeprowadzono dla siatki tetrahedralnej o całkowitej ilości elementów na poziomie 2 milionów z wykorzystaniem dwurównaniowego modelu turbulencji k-ε odpowiedniego do modelowania przepływów powietrza występujących w rzeczywistości w przestrzeni napowietrzanej klatki schodowej. Model numeryczny uwzględniał również oddziaływanie siły wyporu hydrostatycznego na rozkład ciśnienia w przestrzeni chronionej. Założono dokładność pierwszego stopnia rozwiązania równa i residua o wartościach  $10^{-6}$  dla równania energii oraz  $10^{-3}$  dla pozostałych równań. Opracowany model numeryczny pozwalał na pełną analizę rozkładu ciśnienia, temperatury i prędkości w przestrzeni klatki schodowej w zależności od zadanego sposobu organizacji przepływu powietrza oraz parametrów temperaturowych powierzchni przegród i otoczenia. Elementem analizy numerycznej nie zaprezentowanym w niniejszym artykule było sporządzenie charakterystyki oraz wyznaczenie prędkości wypływu powietrza przez otwarte drzwi w zależności od przyjętego scenariusza ewakuacji w odniesieniu do normatywnego kryterium przepływu. Szczególną uwagę poświęcono analizie rozkładu ciśnienia statycznego w przestrzeni zabezpieczonej nadciśnieniowo klatki schodowej. Opisany model numeryczny został dodatkowo zwalidowany w oparciu o wyniki pomiarów rzeczywistych w ograniczonym zakresie oraz wyniki obliczeń analitycznych w pełnym zakresie różnic temperatur. Błąd względny wyników obliczeń numerycznych w stosunku do wyników pomiarów nie przekraczał 12%, co można uznać za wartość w pełni zadowalającą w odniesieniu do modelowania zagadnień z opisanego zakresu.

Poniżej zostaną przedstawione wyniki obliczeń numerycznych dla opisanej klatki schodowej z wyraźnym rozdzieleniem na dwa autonomiczne systemy napowietrzania.

Jak widać na rysunkach, modelowanie CFD w odniesieniu do zewnętrznej klatki schodowej budynku wysokościowego pozwala na dokładną analizę intensywności zjawiska efektu kominowego i jego wpływu na naturalne rozwarstwienie ciśnienia pomiędzy kondygnacjami górnymi i dolnymi (rys. 1-2). W przypadku zastosowania nawiewu wielopunktowego, zgodnego z wymogami normy PN-EN 12101-6, w celu podniesienia ciśnienia w przestrzeni chronionej do wartości 50 Pa początkowy gradient ciśnienia został praktycznie w pełni przeniesiony (rys. 3). Zjawisko efektu kominowego w kontekście zabezpieczenia pionowych dróg ewakuacji na wypadek pożaru w budynkach wysokich i wysokościowych powoduje dwie istotne konsekwencje. Pierwszą z nich jest występowanie strefy nadciśnienia, która może utrudniać otwarcie drzwi i tym samym bezpieczną ewakuację. Drugim, o wiele niebezpieczniejszym, jest występowanie strefy obniżonego ciśnienia. W takiej sytuacji może dojść do zassania dymów pożarowych ze strefy objętej pożarem do przestrzeni klatki schodowej i następnie rozprowadzenie go



**Rys. 1. Rozkład ciśnienia w przestrzeni klatki schodowej bez napowietrzania wynikający jedynie z różnicy temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego dla obliczeniowych warunków zimowych  $t_{ext} = -20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$**

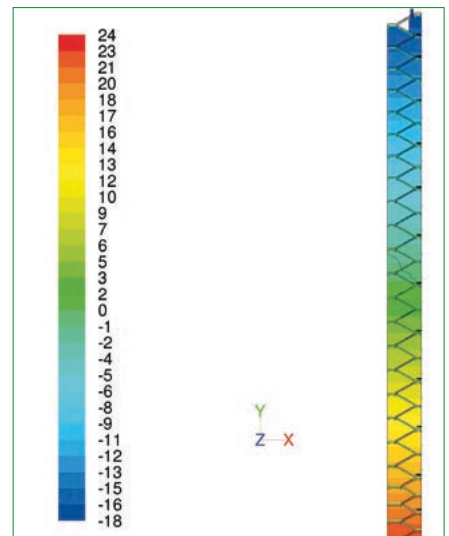
w całej kubaturze podczas działania instalacji napowietrzającej. Analiza numeryczna różnych sposobów nawiewu powietrza do przestrzeni klatki schodowej wykazała, że niezależnie od sposobu organizacji napowietrzania początkowy gradient ciśnienia zostaje przeniesiony i brak jest praktycznych możliwości stabilizacji nadciśnienia na zadanym poziomie.

Jak wykazały obliczenia dodatkowe oraz testy prowadzone w obiekcie rzeczywistym eliminacja początkowego gradientu ciśnienia, a przez to stabilizację nadciśnienia, można uzyskać dzięki zastosowaniu układu przepływowego z odpowiednio zbilansowanymi strumieniami powietrza nawiewanego i wywiewanego. Rozwiązanie takie opiera się na wytworzeniu w przestrzeni klatki schodowej oporów przepływu powietrza zależnych od całkowitych wartości strumieni oraz jej geometrii. Standardowa wartość bezwymiarowego współczynnika oporów przepływu powietrza dla klatki schodowej o typowej geometrii wynosi  $45 \div 110$ . Poniżej przedstawiono wyniki analizy numerycznej działania systemu przepływowego pozwalającego na eliminację zjawiska efektu kominowego przy ekstremalnych warunkach termicznych w postaci rozkładu ciśnienia statycznego w przestrzeni klatki schodowej.

Jak widać na powyższej ilustracji, rozkład ciśnienia w przestrzeni klatki schodowej odpowiada najbardziej restrykcyjnym wymaganiom prezentowanym obecnie w przepisach 50 Pa +/-10%, z lokalnym wzrostem ciśnienia w sąsiedztwie nawiewu i niewielkim spadkiem w środkowej części klatki schodowej, lokalnie do 42 Pa.

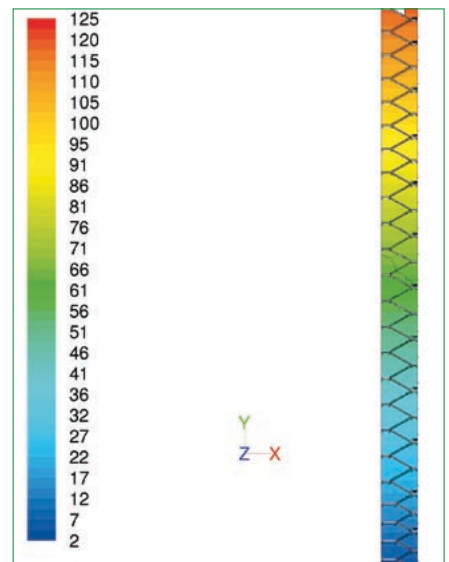
## Wnioski

Przeprowadzona analiza CFD działania instalacji nadciśnieniowej ochrony przed

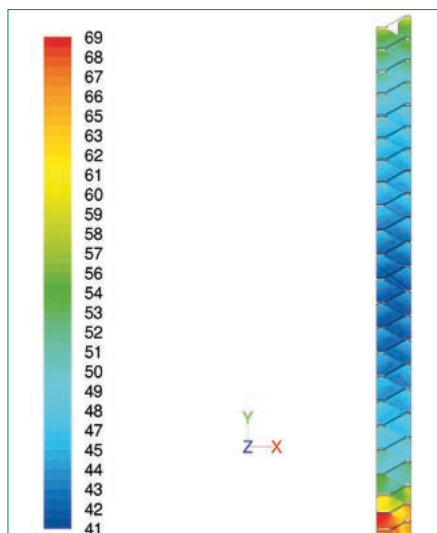


**Rys. 2. Rozkład ciśnienia w przestrzeni klatki schodowej bez napowietrzania dla ekstremalnych temperatur letnich  $t_{ext} = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$**

zadymieniem potwierdziła brak możliwości osiągnięcia określonych w normie PN-EN 12101-6 wymagań w odniesieniu do kryterium nadciśnienia przy zastosowaniu jedynie nawiewu powietrza do przestrzeni klatki schodowej, niezależnie od sposobu jego realizacji w sytuacji występowania efektu kominowego. Możliwa jest natomiast realizacja kryterium przepływu powietrza przy założeniu odpowiedniego doboru wydajności wentylatorów. Dla pełnego zabezpieczenia pionowych dróg ewakuacji w budynkach wysokich i wysokościowych, w odniesieniu do kryterium ciśnienia przepływu powietrza oraz maksymalnej siły potrzebnej do

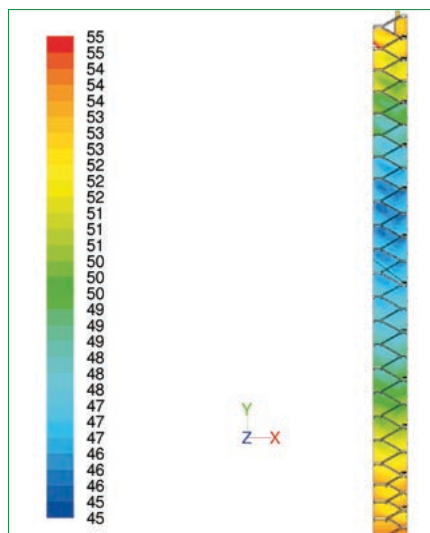


**Rys. 3. Rozkład ciśnienia przy zastosowaniu nawiewu wielopunktowego dla obliczeniowych temperatur zimowych dla zadanej wartości nadciśnienia wynoszącej 50 Pa (strumień powietrza nawiewanego ~ 4000 m³/h)**



Rys. 4. Rozkład ciśnienia przy zastosowaniu układu przepływowego dla obliczeniowych temperatur zimowych  $t_{\text{ext}} = -20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$  (strumień powietrza nawiewanego  $\sim 15\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ), średnia prędkość przepływu powietrza w przekroju pionowym klatki schodowej  $v_{\text{avg}} \sim 1.25\text{ m/s}$

otwarcia drzwi wynoszącej 100 N, zasadne jest zastosowanie układu przepływowego z dedykowanymi dla danego obiektu nastawami. Spełnienie kryterium wydatku wymaga oczywiście doboru wentylatorów o odpowiedniej wydajności w zależności od określonych w projekcie obliczeniowych prędkości przepływu powietrza



Rys. 5. Rozkład ciśnienia przy zastosowaniu układu przepływowego dla ekstremalnych temperatur letnich  $t_{\text{ext}} = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$  (strumień powietrza nawiewanego  $\sim 11\,500\text{ m}^3/\text{h}$ )

w otwartych drzwiach, standardowo z zakresu (0,75÷2,0 m/s).

### Podsumowanie

Obecnie na rynku polskim działa wiele firm specjalizujących się w prowadzeniu symulacji

komputerowych i wykorzystujących całe spektrum narzędzi, które dość znacznie różnią się między sobą i powinny być stosowane stosownie do ich przeznaczenia, z pełną świadomością ograniczeń i zakładanych uproszczeń. Prowadzone są również prace zmierzające do wprowadzenia precyzyjnych wymagań dotyczących prowadzenia obliczeń, sporządzania raportów oraz archiwizacji plików wsadowych. Jak wskazuje praktyka dotycząca innych dziedzin obliczeń inżynierskich działania takie są nieodzowne, jednak trudno przypuszczać, że staną się automatycznie rozwiązaniem występujących obecnie problemów. Dla uporządkowania sytuacji i wypracowania pewnych standardów postępowania konieczna jest współpraca całego środowiska ludzi związanych z szeroko rozumianą wentylacją pożarową. Zasadne wydaje się uzupełnienie modelowania komputerowego o kompleksowe próby odbiorowe będące w istocie najlepszą metodą oceny poprawności działania proponowanych rozwiązań. Ponadto nie można zapominać, że wymienione działania przyniosą pożądane efekty jedynie w połączeniu z systematycznie rosnącymi kwalifikacjami osób wykonujących obliczenia CFD oraz wzrastającą świadomością oczekiwań i potencjalnych zagrożeń ze strony osób zlecających analizę numeryczną, czego Państwu i sobie

\* Prezentowany układ przepływowy jest chroniony prawem patentowym i stanowi własność intelektualną Firmy Smay Sp. z o.o. serdecznie życząc. ■

## JEDYNY SKUTECZNY SYSTEM NADCIŚNIENIOWEGO ZABEZPIECZANIA KLATEK SCHODOWYCH PRZED ZADYMIENIEM NA WYPADEK POŻARU

spełnia wszystkie kryteria normy

PN EN 12101-6

znajduje zastosowanie:

- w obiektach wysokich (do 30m): iSWAY
- w obiektach wysokościowych: SWAY

Zapewniamy kompleksową obsługę w zakresie systemu SWAY® / iSWAY® począwszy od projektu, poprzez implementację, montaż, uruchomienie po serwisowanie.



[www.safetyway.pl](http://www.safetyway.pl)

**SWAY**  
SAFETY WAY

**SWAY**  
SAFETY WAY

NAJCIEKAWSZY  
PRODUKT  
2010