

# POTENCJAŁ SYMULACJI NUMERYCZNYCH

czyli wykorzystanie symulacji CFD oraz dynamicznych symulacji cieplnych w budownictwie



mgr inż. Michał Wójcik

Nowoczesne budownictwo stawia przed inżynierami coraz więcej wyzwań. Wykorzystanie najnowszych technologii w połączeniu z rosnącą popularnością idei rozwoju zrównoważonego wymaga innego niż znane do tej pory podejścia do projektowania.

Coraz śmielsze koncepcje architektoniczne stwarzają zapotrzebowanie na wykonywanie szczegółowych analiz w celu optymalizacji kształtu, konstrukcji, zużycia energii czy wpływu budynku na otoczenie. Wzrastająca świadomość inwestorów połączona z chęcią ograniczania negatywnego wpływu na środowisko skłania do analizowania większej ilości możliwości, między innymi od strony systemów HVAC. Stałe podwyższone standardy jakościowe wymagają potwierdzenia, że zaprojektowane rozwiązania będą w stanie zapewnić optymalny komfort użytkownika wewnątrz budynku.

Wszystkie te czynniki składają się na rosnącą popularność branży konsultingowej, zajmującej się między innymi analizą koncepcji energetycznych budynków, symulacjami zużycia energii, komfortu wewnętrznego czy doświetlenia światłem dziennym.

Branże budownictwa, przemysłu i instalacji coraz chętniej korzystają z zaawansowanych symulacji numerycznych CFD (Computational Fluid Dynamics) w celu bardzo szczegółowej analizy konkretnego zagadnienia, np.: koncepcji energetycznych budynków, symulacji zużycia energii, komfortu wewnętrznego czy doświetlenia światłem dziennym.

Branże budownictwa, przemysłu i instalacji coraz chętniej korzystają również z zaawansowanych symulacji numerycznych CFD (Computational Fluid Dynamics) w celu bardzo szczegółowej analizy konkretnego zagadnienia.

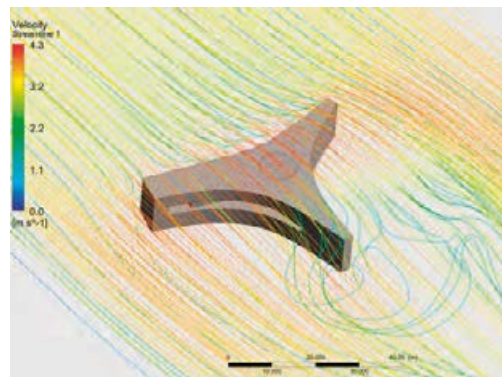
## Kierunki rozwoju

Obserwując pojawiające się na rynku tendencje do głębszej analizy zagadnień, które dotychczas były w procesie projektowym mniej lub bardziej świadomie pomijane, wydaje się, że branża dynamicznych analiz oraz symulacji CFD dla budownictwa stoi u progu okresu wyraźnego wzrostu. Szacuje się, że polski rynek jest w procesie rozwoju o około 10 lat za rozwiniętymi rynkami zachodnimi (m.in. Wielka Brytania, USA), gdzie tego typu analizy już dawno weszły na stałe do elementów procesu projektowania. Są one tam częścią standardów (przykładowo brytyjski CIBSE TM59 – *Design methodology for the assessment of overheating in homes* czy amerykański ASHRAE 90.1 – *Energy Standard for Buildings*) lub stanowią część systemów certyfikacji zrównoważonych budynków (przykładowo LEED EA01 – *Optimize Energy performance*, BREEAM Hea04 – *Thermal Comfort* czy WELL Feature 62 – *Daylight modeling*).

Branża symulacji dla budownictwa może być czynnikiem wprowadzającym dotychczas znane projektowanie na zupełnie inny poziom. Dla potwierdzenia powyższej tezy w dalszej części artykułu przedstawiam przykład połączenia możliwości, jakie stwarzają narzędzia do dynamicznych symulacji cieplnych i analiz CFD.

## Przykładowe wyzwania projektowe

Przedstawione dalej zagadnienie postużyło mi jako temat pracy magisterskiej obronionej w kwietniu 2017 roku na wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Miała ona na celu dostarczenie koncepcji funkcjonowania budynku o bardzo nietypowej architekturze, z wykorzystaniem jak największej ilości racjonalnych rozwiązań pasywnych, czyli działających bez lub ze znikomym udziałem dodatkowej energii napędowej. Podstawowym wymogiem było jednak to, by na przestrzeni całego roku zapewniony został odpowiedni komfort cieplny w pomieszczeniach, jak również to, by zużycie energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji było możliwe najmniejsze.



Rys. 1. Przepływ powietrza wokół analizowanego budynku i związana z tym efektywność wentylacji naturalnej oszacowano za pomocą narzędzi do modelowania CFD (pakiet ANSYS Fluent)

W budynku przewidziano pomieszczenia mogące pomieścić dużą ilość osób, co stwarza ryzyko wystąpienia zbyt wysokiej temperatury, jeśli nie zostanie przewidziane odpowiednie chłodzenie. Projekt architektury cechuje jednak bardzo duży potencjał do wprowadzenia wielu rozwiązań pasywnych. Konstrukcja nośna oparta bardziej na ścianach wewnętrznych niż zewnętrznych pozwala na wykorzystanie dużej masy akumulacyjnej do kompensacji zysków ciepła i zapewnienia komfortowej temperatury latem bez konieczności stosowania aktywnego chłodzenia. Dodatkowo centralnie położone atrium wiodące przez wszystkie kondygnacje oraz okna wychodzące na wszystkie strony świata stwarzają możliwość wykorzystania przez znakomitą większość roku wentylacji naturalnej zarówno w celu optymalnej dystrybucji powietrza w całym budynku bez konieczności użycia wentylacji mechanicznej, jak też do przewietrzania nagrzanego budynku w czasie letnich nocy.

Za pomocą symulacji CFD sprawdzono, przez jaką część roku przy danej architekturze i warunkach wiatrowych wentylacja naturalna jest w stanie zapewnić odpowiedni strumień powietrza dla użytkowników.

Od strony komfortu przeanalizowano potencjał wykorzystania dużej masy budynku jako akumulatora ciepła mającego na celu zapewnienie utrzymania komfortowej temperatury wewnątrz pomieszczeń na przestrzeni roku bez użycia systemów aktywnego chłodzenia.

Aby ograniczyć zyski ciepła w przestrzeniach od strony południowej, zoptymalizowano fasady pod kątem redukcji procentu przeszkleń w stosunku do ścian zewnętrznych tak, aby obniżyć możliwy przyrost temperatury w czasie lata. Przeprowadzona analiza doświetlenia światłem dziennym umożliwiła natomiast sprawdzenie, czy redukcja powierzchni przeszklonych do proponowanego poziomu nie wpłynie negatywnie na dostępność naturalnego światła.

W końcowej fazie przeprowadzono rów-

ważną cechą symulacji jest możliwość optymalizacji wybranego rozwiązania – przykładowo doboru optymalnej powierzchni przeszkleń, wielkości otworów wentylacyjnych czy też struktury przegród.

nież analizę zużycia energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji budynku, porównując ze sobą trzy proponowane rozwiązania z zakresu wentylacji (naturalna, mechaniczna, hybrydowa) i próbując odpowiedzieć na pytanie, które rozwiązanie jest optymalne.

Analiza CFD wykazała, że dla założonych warunków wiatrowych strumień powietrza wentylacyjnego znacznie przekracza założone minimum higieniczne, na podstawie czego dowiedziono, że odpowiednio regulowana wentylacja naturalna byłaby w stanie zapewnić optymalny strumień wentylacyjny przez minimum 2/3 typowego roku. Rozkład prędkości wiatru nie wskazał też znacznego ryzyka wystąpienia przeciągu w żadnym z przeanalizowanych scenariuszy.

Od strony komfortu cieplnego przeprowadzono roczną analizę dla pomieszczeń najbardziej narażonych na przegrzewanie. Uwzględniła ona kształtowanie się temperatury w przypadku zastosowania szeregu rozwiązań, typu zastosowania konstrukcji budynku, dla różnych rodzajów wentylacji oraz różnych powierzchni przeszkleń. Analizy wykazały, że możliwe jest utrzymanie temperatury nieprzekraczającej 26°C w każdym z pomieszczeń pod warunkiem ograniczenia powierzchni przeszkleń do max. 40% powierzchni ścian zewnętrznych, zastosowania wentylacji naturalnej wspomaganą mechanicznie w najcieplejszych okresach, a także przewidzenia dużej masy akumulacyjnej budynku. Z drugiej strony analiza pokazuje, jak bardzo pomieszczenia mogą być przegrzewane, gdy nie zastosuje się odpowied-

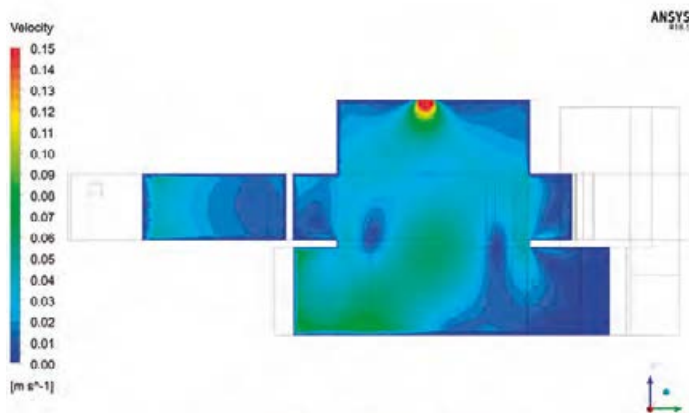
nych rozwiązań i nie przeanalizuje skutków ich działania. Przy zastosowaniu lekkiej konstrukcji i wentylacji naturalnej temperatura w pomieszczeniach może przekraczać maksymalnie 37°C.

### Korzyści z analizy

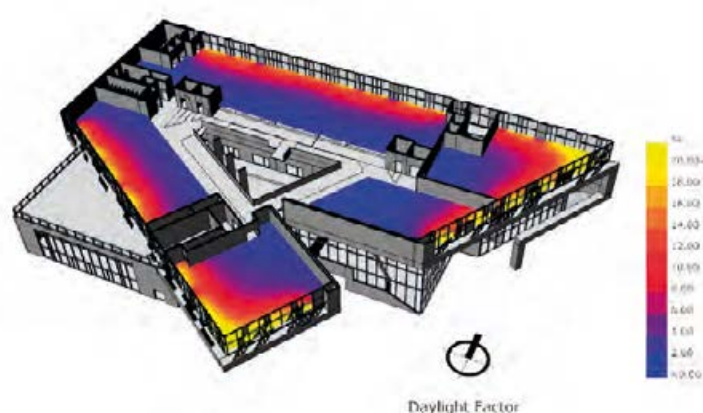
Na omówionym przykładzie analizy wykazano, iż mając skomplikowany, nietypowy budynek do zaprojektowania, można zaproponować w nim szereg rozwiązań ograniczających zużycie energii, zrównoważonych i przede wszystkim dostosowanych do indywidualnych potrzeb klienta. Za pomocą analiz CFD wykazano, iż wentylacja naturalna ma szansę stanowić skuteczną alternatywę dla mechanicznej, natomiast poprzez analizę energetyczną i komfortu udowodniono, że odpowiednie sterowanie otwieranymi oknami może zapobiec występowaniu nadmiernych strat ciepła w zimie oraz zapewnić bardzo dobry poziom komfortu cieplnego latem. Tak przeanalizowany i zoptymalizowany budynek będzie nie tylko o wiele tańszy inwestycyjnie, ale również porównywalny pod względem kosztów eksploatacyjnych i poziomu komfortu wewnętrznego z budynkiem wyposażonym w drogą, duże i wymagające serwisowania systemy.

### Podsumowanie

Dynamiczne symulacje cieplne umożliwiają dogłębną analizę danego budynku z wielu perspektyw. Co więcej, pozwalają one na przedstawienie inwestorowi wielu możliwych rozwiązań do zastosowania i danie mu możliwości świadomego wyboru rozwiązania najbardziej odpowiadającego jego oczekiwaniom. Jest to podejście wieloaspektowe, dające pełną informację o efektach zastosowania danego rozwiązania od strony zużycia energii, komfortu użytkownika, kosztów eksploatacji itp. Analizy energetyczne są coraz powszechniej wykorzystywane w Polsce, jednak często nie w wyniku chęci optymalizacji budynku, lecz z obowiązku przedstawienia charakterystyki ener-



Rys. 2. Przykład rozkładu prędkości w analizowanej przestrzeni dla najczęściej występującego kierunku wiatru



Rys. 3. Przykład analizy doświetlenia pomieszczeń światłem dziennym

getycznej zapisanej w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury. Niemniej jednak zwiększa się zapotrzebowanie na tego typu symulacje chociażby dla potrzeb certyfikacji LEED, BREEAM, WELL czy z chęci świadomego inwestora do stworzenia przemyślanego i dobrego jakościowo budynku.

Ważną cechą wydaje się możliwość optymalizacji wybranego rozwiązania – przykładowo doboru optymalnej powierzchni przeszkleń, wielkości otworów wentylacyjnych czy też struktury przegród. Istotne jest również to, że przeprowadzane analizy są godzinowe i dotyczą cyklu rocznego, co stwarza możliwość uwzględnienia dynamiki cieplnej oraz generuje bardzo dokładne wyniki przy założeniu odpowiednich danych wejściowych.

Natomiast jeśli chodzi o potencjał symulacji CFD w budownictwie, jedną z niewątpliwych zalet jest szerokość skali jej zastosowań. Zakres wykorzystania rozpoczyna się od analiz zagadnień o wielkości rzędu milimetrów – przykładowo analizy wpływu pojedynczego mostka cieplnego na przepływ ciepła przez ramę okienną czy związane z tym ryzyko kondensacji wilgoci.

CFD znajduje również zastosowanie przy sprawdzaniu efektywności proponowanych

Zakres wykorzystania symulacji CFD rozpoczyna się od analiz zagadnień o wielkości rzędu milimetrów – przykładowo analizy wpływu pojedynczego mostka cieplnego na przepływ ciepła przez ramę okienną czy związane z tym ryzyko kondensacji wilgoci.

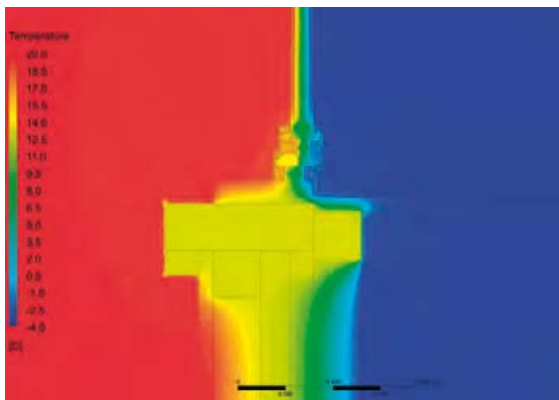
rozwiązań. Jako przykład może posłużyć analiza ryzyka bezpośredniego wyciągu powietrza nawiewanego w pomieszczeniach tak małych, że nawiew i wyciąg musiały być zlokalizowane na tyle blisko siebie, że nieodpowiednie rozmieszczenie anemostatów skutkowało by bezpośrednim wysysaniem powietrza świeżego. Za pomocą tego typu analiz sprawdza się również komfort cieplny z wykorzystaniem wskaźników PMV, PPD.

Za pomocą narzędzi CFD można symulować przepływ powietrza w instalacjach tak neuralgicznych, jak wentylacja oddymiająca czy strumieniowa. W Polsce często obliczenia projektowe przeprowadza się wskaźnikowo, nie zwracając raczej uwagi na rozmieszczenie jet-fanów tak, aby uniknąć po-

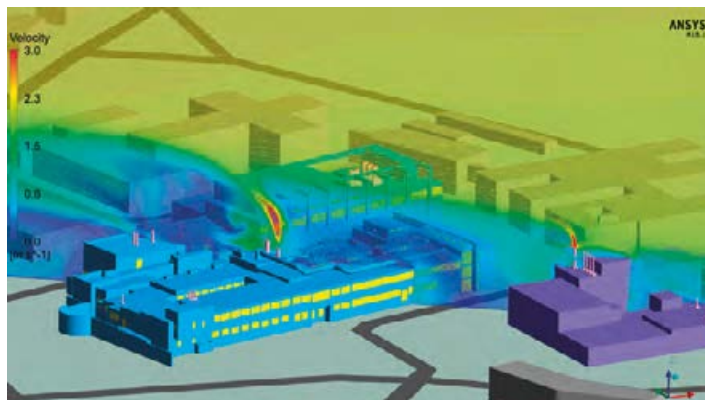
wstawania martwych stref lub wirów zmniejszających efektywność wentylacji, jednak w wielu miejscach na świecie tego typu szczegółowe analizy są powszechne i wymagane.

CFD umożliwia też analizę problemów w skali makro, co przekłada się na możliwość symulacji wpływu danej inwestycji na otoczenie. W obszarach o cieplejszym klimacie często przeprowadza się analizy wpływu projektowanego kompleksu budynków na efekt lokalnej wyspy ciepła. Powszechne są też analizy chociażby wpływu opływu budynku przez wiatr na komfort przechodniów lub optymalizacja wyrzutu zanieczyszczonego powietrza z parkingu podziemnego tak, aby poza budynkiem nie było ono kierowane w strefę sąsiadujących budynków lub przebywania ludzi.

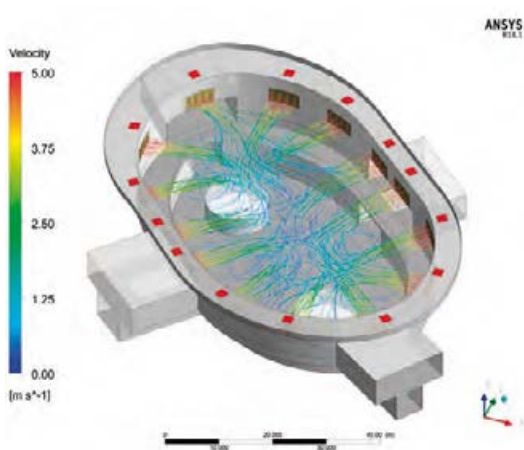
Barierą dla pełnego rozwoju rynku CFD i analiz cieplnych mogą stanowić wysokie koszty narzędzi do przeprowadzania symulacji. Jednak wraz z pojawianiem się na rynku firm posiadających najnowocześniejsze oprogramowanie i specjalizujących się w przeprowadzaniu tego typu symulacji analizy te mogą stać się coraz śmielej stosowane w Polsce, z pożytkiem dla inwestorów i jakości wykonywanych projektów. ■



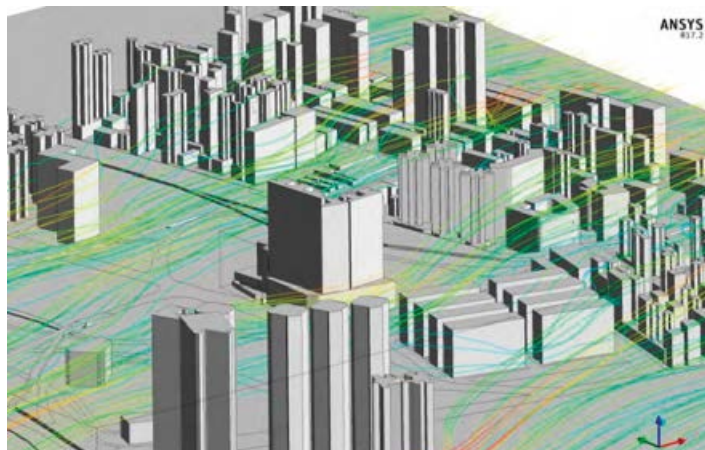
Rys. 4. Przykład analizy ryzyka kondensacji powierzchniowej dla wybranego detalu architektonicznego



Rys. 5. Przykład analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z kotłowni jednego z budynków i potencjalnego negatywnego wpływu na otoczenie



Rys. 6. Przykład analizy skuteczności chłodzenia wybranego obszaru projektowanego centrum handlowego w Dubaju



Rys. 7. Przykład analizy dostępności wiatru wokół projektowanego budynku w Hong Kongu