

M. Sosnowski, ¹R. Gnatowska
Akademia im. Jana Długosza, ¹Politechnika Częstochowska

ZASTOSOWANIE SYMULACJI NUMERYCZNYCH W ZAGADNIENIACH PRZEPŁYWU WIATRU W OBSZARACH ZABUDOWANYCH

Streszczenie

Przedstawiona w artykule analiza dotyczy zastosowania symulacji numerycznych (CFD) w modelowaniu przepływu powietrza w przestrzeni między budynkami w strefie zabudowanej. Przedmiotem prezentowanych badań była konfiguracja typu tandem dwóch modeli budynków o różnych wysokościach, charakteryzująca się występowaniem efektu „down-wash”.

Słowa kluczowe: CFD, przepływ powietrza, symulacja numeryczna

Wprowadzenie

Klimat wiatrowy w obszarach zabudowanych i jego wszelkie implikacje inżynierskie (projektowanie architektoniczne, zagospodarowanie terenów) stanowią ważny przedmiot zainteresowania urbanistów, projektantów, wykonawców budowlanych. Wiedza z tego zakresu pozwala bowiem właściwie kształtować otoczenie wiatrowe obiektów komunalnych w celu zapewnienia ich użytkownikom odpowiedniego komfortu [1, 2].

Tradycyjne podejście do badań z zakresu przepływu wiatru w obszarach zabudowanych opiera się na wizualizacji przepływu oraz pomiarach prowadzonych w tunelach aerodynamicznych z zachowaniem kryteriów podobieństwa wymaganych przy modelowaniu eksperymentalnym. Tunele aerodynamiczne zapewnić mogą dobrze zdefiniowane i możliwe do kontroli warunki badań, jednakże zakres tych warunków nie obejmuje całego stanu atmosferycznej strefy przyziemnej. Prowadzone są również badania w pełnej skali w celu uzyska-

nia danych dotyczących charakterystyk wiatru atmosferycznego niezbędnych m.in. dla poprawnej symulacji naturalnego wiatru w tunelach aerodynamicznych. Ponadto, w ostatnich latach narzędziem istotnie wspierającym rozwój aerodynamiki środowiska stały się numeryczne techniki modelowania przepływu (CFD). Ich zastosowanie w rozwiązywaniu zagadnień inżynierii wiatrowej i aerodynamiki budowli określa się mianem obliczeniowej inżynierii wiatrowej (CWE).

Prezentowana praca dotyczy zastosowania symulacji numerycznych w modelowaniu przepływu powietrza w przestrzeni między budynkami w strefie zabudowanej. Przedstawiona w artykule analiza przeprowadzona została na przykładzie konfiguracji dwóch budynków w układzie tandem. Geometria układu dobrana została na bazie danych literaturowych [3], które wskazują analizowany tu przypadek jako powszechny błąd architektoniczny prowadzący do ekstremalnie niekorzystnych efektów wiatrowych. Porównaniu poddano wyniki powierzchniowej wizualizacji olejowej z uzyskanymi w wyniku symulacji numerycznych rozkładami tarcia powierzchniowego na poziomie gruntu w modelowanej strefie między budynkami.

Artykuł zawiera relację z wstępnego etapu realizowanego programu badawczego, związanego z modelowaniem klimatu wiatrowego obszarów zabudowanych. W przedstawionym tu fragmencie skoncentrowano się głównie na ocenie stopnia wiarygodności kodu komercyjnego FLUENT w jego zastosowaniu do symulacji przepływu wiatru wokół układów obiektów naziemnych.

Analizowany układ przepływowy

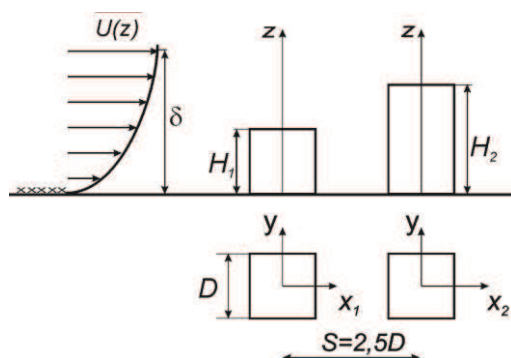
Geometrię modelowanego układu przepływowego charakteryzuje schemat na rysunku 1. Przedstawia on podstawowe relacje między parametrami geometrycznymi poszczególnych obiektów oraz lokalizację układu współrzędnych. Profil prędkości napływu, której kierunek zgodny jest z osią wzdłużną x , opisany jest znaną w inżynierii wiatrowej relacją $U(z) = U_0(z/\delta)^\alpha$, w której wykładnik $\alpha = 0,16$ wynika z aerodynamicznej chropowatości modelowanego terenu w strefie napływu na obiekty (tereny podmiejskie). Szczegółowe dane dotyczące warunków napływu zestawiono poniżej:

- prędkość przepływu niezakłóconego: 13 m/s;
- grubość modelowanej warstwy przyziemnej: $\delta = 0,08$ m,
- intensywność turbulencji wlotowej: 1,5 %.

Jak już wcześniej wspomniano, wymiary modeli budynków wynikały z relacji podanej w pracach [3,4], wskazujących na układ najmniej korzystny z punktu widzenia komfortu wiatrowego w obszarze między budynkami. Ukazane w pracy rezultaty dotyczą obiektów, których geometrię opisać można rela-

cjami $H_1/H_2 = 0,6$; $S/D = 2,5$ a stopień ich „zanurzenia” w warstwie przyściennej $H_2/\delta = 0,6$.

Rozpatrywany przypadek, przedstawiony schematycznie na rys. 1, dotyczy napływu powietrza od strony niższego obiektu, co skutkuje wystąpieniem tzw. efektu „down-wash” polegającego na spływaniu po ścianie czołowej obiektu zawietrzego dużych mas powietrza, czego efektem jest silna cyrkulacja powietrza w przestrzeni między obiektami.



Rys. 1. Schemat rozpatrywanej konfiguracji obiektów

W symulacjach numerycznych posłużono się standardowym pakietem FLUENT 6.3, z zastosowaniem modelu turbulencji $k - \epsilon$ w zmodyfikowanej wersji RNG zalecanej do obliczeń przepływów z rozległą strefą stagnacji [4].

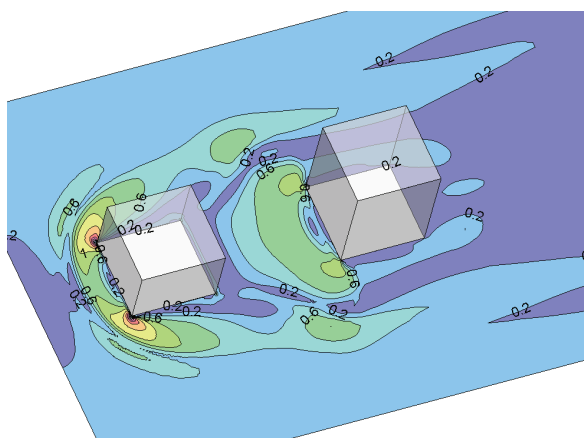
Prezentacja i analiza wyników

Za miarę skuteczności numerycznego odwzorowania powierzchniowych cech przepływu wiatru przy użyciu omówionej wcześniej metody symulacji uznano porównanie obliczeniowych rozkładów tarcia powierzchniowego określonych na podłożu wokół badanych obiektów z wynikami wizualizacji olejowej. W badaniach aerodynamicznych metoda ta jest źródłem szybkiej i łatwej do uzyskania informacji jakościowej charakteryzującej przepływ.

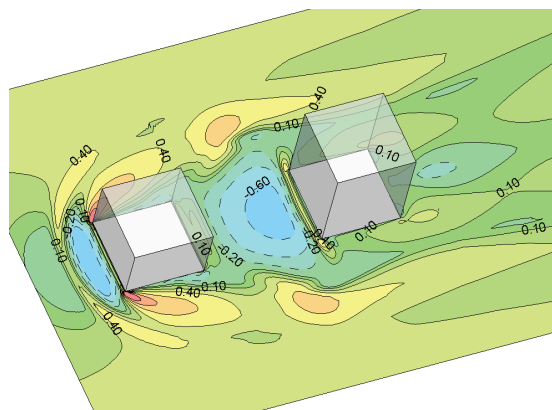
Interpretacji rezultatów obliczeń numerycznych przedstawionych na rys. 2 dokonano w zestawieniu z obrazem prezentującym wynik badań eksperymentalnych w postaci wizualizacji olejowej (rys. 3). W rozkładach tarcia powierzchniowego, wyrażonego zarówno poprzez jego moduł (rys. 2a) jak i z uwzględnieniem kierunku (rys. 2b) widoczny jest jakościowy związek z wynikającym z wizualizacji położeniem stref ciszy wiatrowej oraz podwyższonej prędkości wiatru. Obliczeniowe obszary, w których wartość naprężeń powierzchniowych zbliżona jest do zerowej, wyznaczają nie tylko granice oderwania i przyłgnięcia, ale również

wskazują na lokalizację obszarów ciszy wiatrowej przy powierzchni gruntu. W procesie wizualizacji formują się tu obszary o grubej warstwie mieszaniny olejowej nagromadzonej na powierzchni, natomiast tam, gdzie prędkość jest wysoka, mieszanina olejowa jest wymywana. Z wyznaczonych na podstawie obliczeń powierzchniowych naprężeń stycznych w kierunku wzdłużnym (rys. 2b) wynika kierunek powierzchniowych linii prądu, a w konsekwencji informacje o kierunku wiatru przy podłożu, gdzie największej prędkości towarzyszą duże wartości modułu tarcia powierzchniowego ($\tau = \mu(\partial U/\partial z)$).

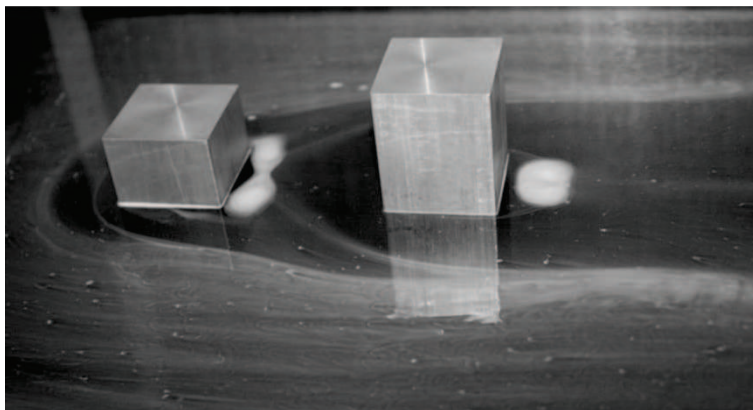
a)



b)



Rys. 2. Wyniki symulacji numerycznej: a) rozkład modułu powierzchniowych naprężeń tarcia π
b) warstwie powierzchniowych naprężeń tarcia w kierunku wzdłużnym π_x



Rys. 3. Wyniki wizualizacji olejowej przepływu wokół konfiguracji obiektów w układzie tandem $H_1/H_2 = 0,6$; $S/D = 2,5$; $H_2/\delta = 0,6$

Porównanie numerycznych i eksperymentalnych danych dotyczących położenia i zasięgu charakterystycznych cech przepływu nad podłożem otaczającym badane obiekty wskazuje na zadowalający poziom ich jakościowej zgodności w strefie między budynkami oraz w śladzie za układem. Symulacje numeryczne oddają także charakter przepływu w obszarach natarcia na obiekty, gdzie formuje się wir podkowiały. Jego obecność, widoczna wyraźnie na obrazach wizualizacji olejowej, zaznacza się odpowiednio na danych z symulacji numerycznych, w szczególności na rozkładach powierzchniowych naprężeń tarcia w kierunku wzdłużnym (rys. 2b).

Zastosowany tu znany kod numeryczny (model $k - \varepsilon$ w wersji RNG) wykazuje zadowalającą skuteczność, jeśli w wyniku symulacji oczekuje się jedynie informacji o cechach przepływu istotnych z punktu widzenia komfortu wiatrowego i związanego z nim planowania przestrzennego obszarów zabudowanych. Projektowanie zabudowy terenu wymaga informacji, w jaki sposób posadowiony na podłożu obiekt lub ich grupa zmieni pole przepływu w porównaniu z wyjściową sytuacją poprzedzającą analizowaną inwestycję budowlaną.

Zweryfikowaną tu eksperymentalnie metodę symulacji numerycznej uznać można za dogodne narzędzie, pomocne w uwzględnianiu bogatej liczby wariantów. Umożliwiają one modelowanie lokalnych warunków wiatrowych w celu określenia położenia stref dyskomfortu wiatrowego oraz optymalizację warunków zabudowy dla przyjętych kryteriów komfortu pieszych z uwzględnieniem szeregu zmiennych decyzyjnych.

Podsumowanie

Badania eksperymentalne w skali rzeczywistej i w tunelach aerodynamicznych były przez długi czas dominującym narzędziem stosowanym w celu scharakteryzowania przepływu w turbulentnej warstwie przyziemnej. Obecnie, dzięki dynamicznemu rozwojowi modeli matematycznych oraz postępowi technologicznemu, coraz powszechniej stosowaną metodą stają się metody obliczeniowej dynamiki przepływów (CFD) w rozwiązywaniu zagadnień inżynierii wiatrowej i aerodynamiki budowli.

Rozwijane obecnie numeryczne metody modelowania przepływu wiatru w obszarach zabudowanych dostarczyć mogą dobrych narzędzi dla architektów i urbanistów, zwłaszcza w celu znalezienia rozwiązań optymalnych, kiedy to niezbędna jest analiza dużej liczby układów przepływowych, zależnych od wzajemnej konfiguracji obiektów budowlanych, ich geometrii i usytuowania względem napływu wiatru. Zaznaczyć należy, że celowym wydaje się połączenie symulacji numerycznych z metodami modelowania eksperymentalnego.

Literatura

- [1] Blocken B., Carmeliet J., *Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples*, Journal of Thermal Envelope & Building Science, 2004, nr 2, s. 107–159.
- [2] Bottema M., *A method for optimization of wind discomfort criteria*, Building and Environment, 2000, nr 1., s.1–18.
- [3] Stathopoulos T.: *Pedestrian level winds and outdoor human comfort*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 2006, nr 11, s.769–780.
- [4] Gnatowska R., *Numerical modeling of unsteady phenomena in flow around bluff-bodies in tandem arrangement*, Proc. of 3rd International Conference on Experiments /Process/ System Modelling/ Simulation/ Optimization (IC-EpsMsO), Athens 2009, s. 485–491.

Marcin Sosnowski, ¹Renata Gnatowska
Akademia im. Jana Długosza, ¹Politechnika Częstochowska

THE NUMERICAL SIMULATION OF WIND FLOW IN URBAN ARE- AS

The paper presents the analysis of the numerical modelling (CFD) of air flow in the space between the buildings in built-up area. The subject of this study was a two rectangular blocks in tandem arrangement, which is characterized by the appearance of down-wash effect.

Keywords: CFD, air flow, numerical simulation