



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

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA BADAŃ MODELOWYCH W ANALIZIE DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ ZE ŹRÓDEŁ NISKIEJ EMISJI W STREFIE ZABUDOWANEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę modelowania procesu dyspersji zanieczyszczeń gazowych w przestrzeni między budynkami w strefie zabudowanej.

Charakterystyki aerodynamiczne przepływu oraz profile koncentracji gazu znacznikowego (CO₂) dla różnych konfiguracji obiektów uzyskano z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania FLUENT. Cechą szczególną pól prędkości w otoczeniu grupy opływanych budynków jest wysoki poziom niestacjonarności wynikający zarówno z samego charakteru wiatru, jak i z faktu generowania przez obiekty zjawisk periodycznych związanych z procesem schodzenia wirów. Jest to czynnik, który oddziałuje na proces dyspersji zanieczyszczeń w obszarze zabudowanym.

Przedmiotem prezentowanych badań była konfiguracja typu tandem dwóch modeli budynków o różnych wysokościach charakteryzująca się występowaniem efektu „down-wash”.

Słowa kluczowe: badania modelowe, dyspersja zanieczyszczeń, CFD

Wprowadzenie

Struktura wiatrowej warstwy przyziemnej jest czynnikiem o istotnym znaczeniu, wpływającym na warunki klimatyczne i zdrowotne obszarów zabudo-

wanych, determinującym wytrzymałość i naturalną wentylację konstrukcji budowlanych oraz rzutującym na procesy dyspersji zanieczyszczeń [1]. Na proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń mają wpływ przede wszystkim mechanizmy dyfuzji masy, spowodowanej gradientami stężeń oraz adwekcji, przenoszącej zanieczyszczenia w kierunku przepływu za pośrednictwem średniego ruchu powietrza. Ważną rolę odgrywają także procesy transportu turbulentnego [6].

Stan wiedzy dotyczącej omawianego zagadnienia uległ w ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci znacznemu wzbogaceniu, głównie dzięki rosnącym możliwościom technik badawczych [1]. Istotną rolę w pogłębianiu wiedzy na temat zachodzących w atmosferze procesów dyspersji odgrywają badania prowadzone w tunelach aerodynamicznych. Dostarczają one także danych niezbędnych do weryfikacji wyników uzyskanych za pomocą modelowania numerycznego. W badaniach modelowych z zakresu aerodynamiki środowiska rzeczywiste kształty obiektów naziemnych zastępuje się najczęściej ich wersjami uproszczonymi, w przypadku budynków są to zwykle bryły prostopadłościenne [4, 5]. Ponadto, w ostatnich latach narzędziem istotnie wspierającym rozwój metod modelowych aerodynamiki środowiska stały się numeryczne techniki modelowania (CFD). Dzięki zintegrowaniu metod eksperymentalnych i symulacji numerycznych można m.in. odkrywać nowe aspekty procesów zachodzących w środowisku atmosferycznej warstwy przyziemnej.

Prezentowana praca dotyczy zastosowania symulacji numerycznych w modelowaniu dyspersji zanieczyszczeń gazowych 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, 4], które wskazują analizowany tu przypadek jako powszechny błąd architektoniczny prowadzący do ekstremalnie niekorzystnych efektów wiatrowych. Celem badań było określenie stopnia wiarygodności kodu komercyjnego FLUENT w jego zastosowaniu do modelowania dyspersji zanieczyszczeń gazowych w otoczeniu obiektów naziemnych.

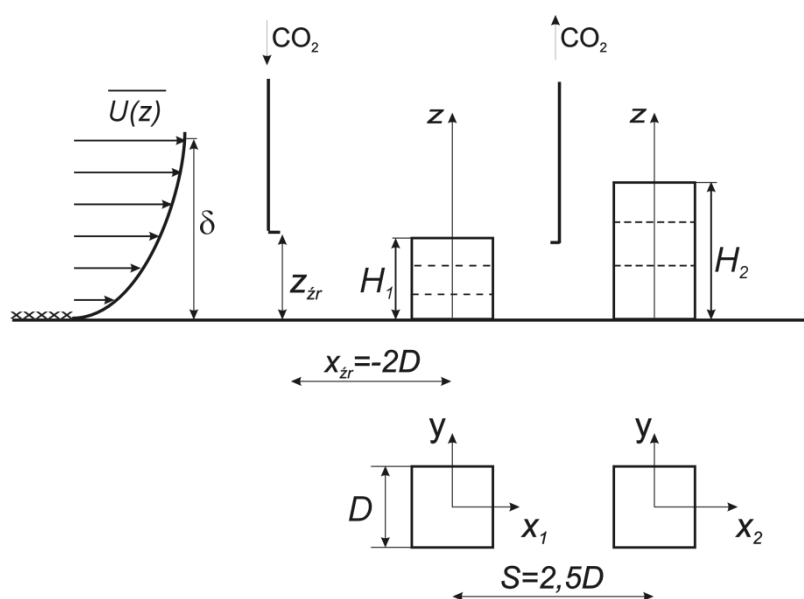
Analizowany układ przepływowy

Geometrię modelowanego układu przepływowego, usytuowanie źródła zanieczyszczeń względem badanego układu obiektów, a także przyjęty układ współrzędnych pokazano na rysunku 1. 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: 13m/s ;
- grubość modelowanej warstwy przyziemnej: $\delta = 0,08\text{m}$,
- 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 relacjami $H_1/H_2 = 0,6$; $S/D = 2,5$, a stopień ich „zanurzenia” w warstwie przyściennej $H_2/\delta = 0,3 - 0,6$. 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 zawietrznego dużych mas powietrza, czego efektem jest silna cyrkulacja powietrza w przestrzeni między obiektami.



Rys. 1. Schemat rozpatrywanej konfiguracji obiektów

W badaniach modelowych posłużono się standardowym pakietem FLUENT, z zastosowaniem modelu turbulencji $k - \varepsilon$ w zmodyfikowanej wersji RNG zalecanej do obliczeń przepływów z rozległą strefą stagnacji [5].

Prezentacja i analiza wyników

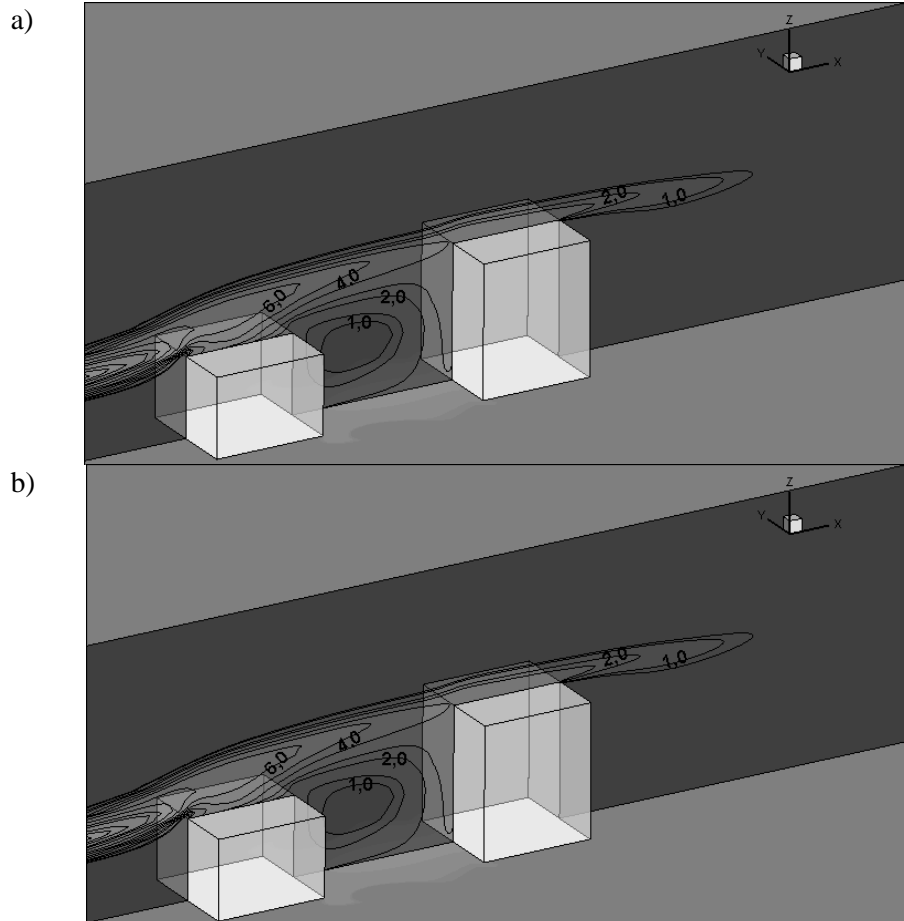
Analiza procesu dyspersji zanieczyszczeń w obszarze zabudowanym wymaga dokładnego rozpoznania złożonych warunków przepływowych, które komplikują zarówno ruch konwekcyjny, jak i dyfuzję rozprzestrzeniających się cząstek. Pole koncentracji zanieczyszczenia emitowanego ze źródła ulokowanego w sąsiedztwie obiektów naziemnych zależy od struktury pola prędkości w obszarze zabudowanym, w szczególności są to m.in. rozkłady linii prądu, gradienty prędkości oraz rozkłady energii i skal turbulencji uformowanych nad podłożem, którego charakter nie zmienia się na długim dystansie. Pojawiają się tu wszystkie sytuacje przepływowe trudne do fizykalnego oraz matematycznego opisu: strefa stagnacji, oderwania, recyrkulacji, którym towarzyszy silne zakrzywienie linii prądu, silne zmiany kierunku wiatru, a przede wszystkim zjawiska okresowe związane z procesem generacji struktur wirowych.

Na rys. 2. przedstawiono rezultaty obliczeń numerycznych w postaci rozkładów koncentracji CO_2 w luce między obiektami dla rozpatrywanej konfiguracji. Uzyskane profile koncentracji znacznika gazowego wykazują jakościowy związek z położeniem stref ciszy wiatrowej oraz podwyższonej prędkości wiatru. Rozpatrywany przypadek dotyczy napływu powietrza od strony niższego obiektu, co skutkuje wystąpieniem tzw. efektu „down-wash” charakteryzująca się silną cyrkulacją powietrza w przestrzeni między obiektami. Wraz ze zmianą wysokości elementów układu zmianie ulegał parametr ich zanurzenia w warstwie przyściennej (H_2/δ). Jak widać na rys. 2, parametr ten ma wpływ na strukturę przepływu, a co za tym idzie na koncentrację zanieczyszczeń. Największe zmiany obserwuje się w przestrzeni między obiektami. Znacznik gazowy przenoszony jest głównie za pośrednictwem przepływu górnego, co skutkuje większymi koncentracjami znacznika gazowego w strefie powyżej obiektu nawietrznego.

Zastosowany tu znany kod numeryczny (model $k - \varepsilon$ w wersji RNG) wykazuje zadowalającą skuteczność, jeśli w wyniku modelowania oczekuje się informacji o cechach przepływu istotnych z punktu widzenia dyskomfortu wiatrowego, a objawiających się:

- lokalnymi strefami ciszy wiatrowej (obszary zastoju pozbawione możliwości naturalnej aeracji),
- lokalnymi strefami silnych podmuchów o dużej prędkości wiatru i wysokim poziomie jego turbulencji,
- obszarami o podwyższonej koncentracji zanieczyszczeń wynikających z kształtowanych wiatrem warunków dyfuzji i adwekcji.

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 inwestycją budowlaną.



Rys. 2. Wyniki symulacji numerycznej. Profile koncentracji znacznika gazowego w luce między obiektami konfiguracji typu tandem dla $H_1/H_2=0,6$, $z_s = H_1$; a) $H_2/\delta = 0,3$; b) $H_2/\delta = 0,6$

Podsumowanie

Badania modelowe 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 stosowanymi metodami mogą być metody obliczeniowej dynamiki przepływów (CFD) w rozwiązywaniu zagadnień inżynierii wiatrowej które stają się użytecznym narzędziem stosowanym przez architektów i urbanistów.

Wzmożony przepływ powietrza w obrębie ulic, placów i innych przestrzeni miejskich bywa często przyczyną dyskomfortu pieszych, strat ciepłych w budynkach, czy uszkodzeń strukturalnych budowli [2]. Dodatkowo przywiązywanie zbyt małej uwagi do warunków klimatycznych może doprowadzić do wielu problemów, takich jak zanieczyszczenie powietrza, zbyt intensywny lub osłabiony dopływ promieniowania słonecznego, niedostateczne doświetlenie budynków. Niezwykle istotna staje się więc znajomość rozkładu prędkości wokół zabudowy zarówno istniejącej, jak i projektowanej.

Dobór optymalnej konfiguracji elementów zabudowy zapewniającej właściwy komfort użytkownikom obszaru zabudowanego wymaga zatem konieczności uwzględnienia większej liczby często sprzecznych kryteriów. Zmusza to do ustalenia priorytetu i nadania każdemu z kryteriów odpowiedniej wagi. Dlatego też zastosowanie symulacji numerycznych z wielokryterialnymi procedurami optymalizacyjnymi jest sposobem na stworzenie praktycznego narzędzia obliczeniowego, przydatnego w fazie projektowania zabudowy. Umożliwia ono modelowanie lokalnych warunków wiatrowych z uwzględnieniem procesów rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w celu określenia położenia stref dyskomfortu wiatrowego oraz optymalizację warunków zabudowy dla przyjętych kryteriów komfortu pieszych z uwzględnieniem szeregu zmiennych decyzyjnych.

Literatura

- [1] Blocken B., Carmeliet J., Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples, *J. Thermal Env. & Bldg. Sci.*, 28/2, 2004, s. 107–159.
- [2] Bottema M., A method for optimization of wind discomfort criteria, *Building and Environment* 35, 2000, s.1–18.
- [3] Stathopoulos T.: Pedestrian level winds and outdoor human comfort, *J. of Wind Eng. & Ind. Aerodyn.* 94, 2006, s.769–780.
- [4] Martinuzzi R.J., Havel B., 2000, Turbulent flow around two interfering surface-mounted cubic obstacles in tandem arrangement. *J. Fluid Engineering*, 122, str. 24–31

- [5] Moryń-Kucharczyk E., Gnatowska R., 2007, Pollutant dispersion in flow around bluff bodies arrangement. Proc. EUROMECH Colloquim, Wind Energy, Springer Verlag Berlin Heidelberg, str. 49–53
- [6] 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 w Częstochowie
¹*Politechnika Częstochowska*

POSSIBILITY OF USING THE MODEL STUDIES IN THE ANALYSIS OF POLLUTANT DISPERSION FROM LOW-EMISSION SOURCES IN URBAN AREAS

Summary

The paper presents the analysis of the pollutant dispersion modeling in the space between the buildings in built-up area. The local characteristics of flow and concentration profiles of tracer gas (CO₂) for various inter obstacle gaps were obtained by the use of commercial CFD code (FLUENT). Characteristic feature of flow field around groups of buildings in urban areas is high level the unsteady phenomena resulting from itself character of the wind or from the interference of the wake flow connected with a process of vortex shedding. This is the factor affecting process of the dispersion of pollutants in the 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: modelling, pollutants dispersion, CFD