

Renata Gnatowska<sup>1</sup>

## PLANOWANIE TERENÓW ZABUDOWANYCH W ZGODZIE Z ZASADAMI ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU Z ZASTOSOWANIEM METOD MODELOWYCH

**Streszczenie.** W niniejszej publikacji omówiono koncepcję planowania terenów zabudowanych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju z zastosowaniem metod modelowych (eksperymentalnej i numerycznej). Zintegrowane podejście do planów zagospodarowania przestrzennego oznacza w tym przypadku interdyscyplinarność wykorzystywanej wiedzy wywodzącej się z szeregu dziedzin, jak np.: eko-budownictwo, systemy zaopatrzenia w energię, ale również kształtowanie klimatu wiatrowego miast i osiedli (tj. aerodynamika środowiska). Przedstawiona w artykule analiza przeprowadzona została na przykładzie modelowania przepływu powietrza w przestrzeni między budynkami w strefie zabudowanej dla konfiguracji dwóch budynków w układzie tandem. Geometria układu dobrana została na bazie danych literaturowych [4], które wskazują analizowany tu przypadek, jako powszechny błąd architektoniczny prowadzący do ekstremalnie niekorzystnych efektów wiatrowych.

**Słowa kluczowe:** planowanie terenów zabudowanych, zasady zrównoważonego rozwoju, eksperymentalne i numeryczne metody modelowania.

### WSTĘP

Pojęcie rozwoju zrównoważonego zakłada, iż bieżący rozwój nie powinien odbywać się kosztem przyszłych pokoleń [5]. Odpowiednia strategia działania powinna promować spójną wizję miast zrównoważonych, które muszą być atrakcyjnymi, zdrowymi, wysokiej jakości miejscami do życia, umożliwiającymi rozwój gospodarki oraz żyjących w nich społeczności.

Rozwój zrównoważony jest koncepcją, która wymaga realizacji na różnych poziomach organizacji, począwszy od globalnego, a skończywszy na regionalnym, który wymaga właściwego przeniesienia zasad rozwoju zrównoważonego na uwarunkowania występujące na danym obszarze, a następnie wyznaczenia celów takiego rozwoju oraz sposobów ich osiągnięcia. Musi on być odpowiednio zaplanowany, zarówno w sferze społeczno-gospodarczej, przyrodniczej, jak i przestrzennej. Wymaga to od władz danego regionu przyjęcia określonego modelu rozwoju zrównoważonego w kontekście zmian naturalnego środowiska i przestrzeni podlegającej procesom urbanizacji np.

---

<sup>1</sup> Instytut Maszyn Ciepłych, Politechnika Częstochowska, ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, e-mail: gnatowska@imc.pcz.czyst.pl

modelu „przemysłanego wzrostu” (ang. smart growth). Dlatego zintegrowane podejście do planowania terenów zabudowanych oznacza uwzględnienie interdyscyplinarnej wiedzy w tym również modelowych badań aerodynamicznych.

Tradycyjne podejście do tego typu badań, prowadzonych w skali rzeczywistej oraz w tunelach aerodynamicznych, było przez długi czas dominującym narzędziem stosowanym w celu scharakteryzowania przepływu w turbulentnej warstwie przyziemnej. Tunele aerodynamiczne zapewnić mogą dobrze zdefiniowane i możliwe do kontroli warunki badań, jednakże zakres tych warunków nie obejmuje całego stanu atmosferycznej strefy przyziemnej. Natomiast badania w pełnej skali służą uzyskaniu charakterystyk wiatru atmosferycznego niezbędnych m.in. do symulacji naturalnego wiatru w tunelach aerodynamicznych. Obecnie, dzięki dynamicznemu rozwojowi modeli matematycznych oraz postępowi technologicznemu, coraz powszechniej stosowaną metodą stają się metody obliczeniowej dynamiki przepływów (CFD). Ich zastosowanie w rozwiązywaniu zagadnień inżynierii wiatrowej i aerodynamiki budowli określa się mianem obliczeniowej inżynierii wiatrowej (CWE). Metody te dostarczyć mogą dobrych narzędzi dla architektów i urbanistów, przy czym celowym wydaje się połączenie symulacji numerycznych z metodami modelowania eksperymentalnego.

## **METODYKA ORAZ PRZEDMIOT BADAŃ**

Przepływ powietrza wokół różnych konfiguracji zabudowy jest zjawiskiem niezwykle złożonym, ponieważ na kierunek i prędkość wiatru wpływa zarówno sama zabudowa (układ, kształt, rozmiar), jak również cechy podłoża czy turbulencja. Układ budynków może prowadzić do wzrostu prędkości i turbulencji przepływającego wiatru, prowadząc do niekorzystnych zjawisk, takich jak: dyskomfort wiatrowy, rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń czy straty ciepłe w budynkach. Jednocześnie zabudowania stanowią w pewnych sytuacjach barierę dla przepływającego powietrza, powodując problemy związane z aeracją. Zastosowanie technik modelowych pozwala określić warunki wiatrowe w istniejącym układzie zabudowy, jak również przewidzieć zmiany wywołane wprowadzeniem nowych obiektów w istniejący układ budynków.

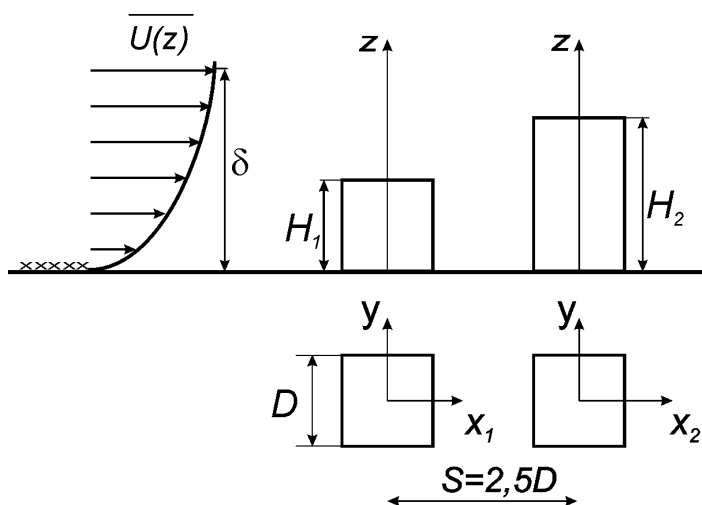
W niniejszym opracowaniu zastosowano równolegle dwie metody badawcze: eksperyment prowadzony w tunelu aerodynamicznym oraz modelowanie numeryczne.

W części eksperymentalnej posłużono się metodą wizualizacji olejowej, która jest jedną z metod jakościowej oceny przepływu wokół modelu pozwalającą zobrazować przebieg powierzchniowych linii prądu, położenie charakterystycznych punktów spiętrzenia, stagnacji i obszarów o silnych zawirowaniach, na podstawie których można oszacować miejsca występowania charakterystycznych stref opływu.

W symulacjach numerycznych wykorzystano standardowy pakiet FLUENT, z zastosowaniem modelu turbulencji  $k-\varepsilon$  w wersji RNG zalecaniej do obliczeń przepływów z rozległą strefą stagnacji [3].

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  $\alpha=0.16$  zależy od aerodynamicznej chropowatości modelowanego terenu w strefie napływu na obiekty i w analizowanym przypadku charakteryzuje tereny podmiejskie. Pokazane 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  $H_2/\delta=0,6$ . Szczegółowe dane dotyczące warunków napływu zestawiono poniżej:

- prędkość przepływu niezakłóconego:  $13\text{m/s}$ ;
- grubość modelowanej warstwy przyziemnej:  $\delta = 0.08\text{m}$ ,
- intensywność turbulencji wlotowej:  $1.5\%$ .



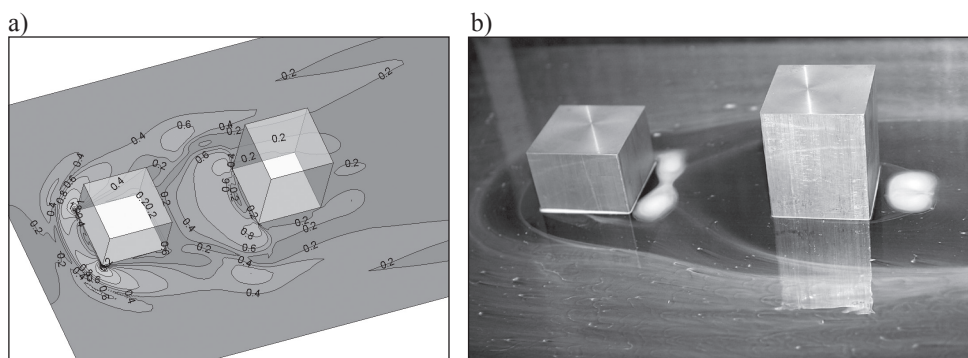
Rys. 1. Schemat rozpatrywanej konfiguracji obiektów

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

## WYNIKI

Interpretacji rezultatów zastosowanych metod modelowych dokonano zestawiając obrazy przedstawiające wyniki numerycznego odwzorowania cech przepływu wiatru przy użyciu omówionej wcześniej metody symulacji w postaci obliczeniowych rozkła-

dów tarcia powierzchniowego określonych na podłożu wokół badanych obiektów oraz rezultaty eksperymentu - wizualizacji olejowej. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane w efekcie przeprowadzonych badań. Wyniki symulacji numerycznej zaprezentowane w postaci rozkładów tarcia powierzchniowego (rys. 2a) wykazują jakościowy związek z wynikającym z wizualizacji olejowej (rys. 2b) 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.



**Rys. 2.** a) Wyniki symulacji numerycznej: rozkład modułu powierzchniowych naprężeń tarcia  $\tau$  ; b) Wyniki wizualizacji olejowej: obraz przedstawiający przepływu wokół konfiguracji obiektów w układzie tandem  $H_1/H_2=0.6$ ;  $S/D=2,5$ ;  $H_2/\delta=0,6$

Symulacje numeryczne oddają także charakter przepływu w obszarach natarcia na obiekty, gdzie formuje się wir podkowiasty. Jego obecność widoczna wyraźnie na obrazach wizualizacji olejowej zaznacza się odpowiednio na danych z symulacji numerycznych. 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. Zastosowany tu znany kod numeryczny (model  $k - \epsilon$  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. Umożli-

wiają 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.

## WNIOSKI

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 budowlanej.

Rozwijane obecnie numeryczne metody modelowania przepływu wiatru w obszarach zabudowanych dostarczyć mogą dobrych narzędzi dla architektów i urbanistów, przy czym celowym wydaje się połączenie symulacji numerycznych z metodami modelowania eksperymentalnego. Jednak, 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.

W trakcie realizacji pracy potwierdzono słuszność stosowania nowoczesnych narzędzi numerycznych w rozwiązaniach inżynierskich. Tego typu badania wykazują duży potencjał, jeśli chodzi o łatwość uzyskiwania danych potrzebnych do analizy badanego przypadku. Należy jednak zwrócić uwagę, że metody CFD są zawiłe i trudne w stosowaniu dla osób nieposiadających gruntownej wiedzy z zakresu mechaniki płynów jak i samego działania metod numerycznych. Dlatego ważny jest rozwój uproszczonych modeli numerycznych tak, aby mogły być one w przyszłości wykorzystywane nie tylko w ośrodkach naukowych, jak to ma miejsce dzisiaj, ale także w zastosowaniach komercyjnych i przemysłowych m.in. w celu planowania terenów zabudowanych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

## PIŚMIENNICTWO

1. Blocken B., Carmeliet J. 2004. Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples. *Journal of Thermal Env. & Bldg. Sci.*, 28, 2: 107-159.
2. Bottema M. 2000. A method for optimization of wind discomfort criteria, *Building and Environment* 35: 1-18.
3. Gnatowska R. 2011. Aerodynamic Characteristics of Three-Dimensional Surface-Mounted Objects in Tandem Arrangement *International Journal of Turbo and Jet Engines* 28, 1: 21-29.
4. Stathopoulos T. 2006. Pedestrian level winds and outdoor human comfort, *J. of Wind Eng. & Ind. Aerodyn.* 94: 769-780.
5. Zaręba K. 2012. Zrównoważony rozwój warunkiem zabezpieczenia funkcji rekreacyjnych uzdrowisk, *Inżynieria Ekologiczna.* 30: 206-218.

## **THE URBAN PLANNING IN ACCORDANCE WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT USING MODELING METHODS**

### **Abstract**

The paper presents the concept of urban planning in accordance with sustainable development using modeling methods (experimental and numerical). The integrated approach to urban planning in this case means used interdisciplinary knowledge derived from: eco-construction, energy supply systems, but also the development of wind climate in cities and settlements (i.e., environmental aerodynamics). The subject of this study is a tandem arrangement of two rectangular blocks, which is characterized by the appearance of down-wash effect. The geometry was chosen based on the literature, which shows the case analyzed here, as a common architectural error that leads to extremely adverse effects of wind.

**Keywords:** urban planning, sustainable development, experimental and numerical modeling,