



**Renata Gnatowska**

*Politechnika Częstochowska*

*al. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa*

*e-mail: gnatowska@imc.pcz.czyst.pl*

## DETEKCJA CHARAKTERYSTYCZNYCH OBSZARÓW OPŁYWU OBIEKTÓW METODĄ WIZUALIZACJI POWIERZCHNIOWEJ

**Streszczenie.** W niniejszym artykule przedstawiono sposób wykorzystania prostych metod wizualizacji przepływu do wspomagania procesów projektowania i realizacji prac badawczych obejmujących tematykę związaną z zagadnieniami opływu obiektów budowlanych przez strumień powietrza, w tym rozwiązywania problemów inżynierii bezpieczeństwa. Opisano proces rozpoznawania informacji użytkowych przedstawionej metody oraz zilustrowano jej wykorzystanie na przykładach konkretnych obiektów technicznych. Poniższy materiał przedstawia fragmenty prac badawczych prowadzonych przez autorkę niniejszego artykułu. Analizie poddano obszar przepływu w otoczeniu modelu prostopadłościennego usytuowanego na podłożu. W badaniach wykorzystano olejową technikę wizualizacji powierzchniowej uzupełnioną pomiarami termooanemometrycznymi.

**Słowa kluczowe:** wizualizacja powierzchniowa, badania eksperymentalne, inżynieria bezpieczeństwa.

## DETECTION OF CHARACTERISTIC FLOW AREAS OF OBJECTS USING A VISUALIZATION METHOD

**Abstract.** This article shows how to use simple visualization methods to support the design and execution of research work related to the topics of airflow around buildings, including safety engineering problems. Describes the process of detection operating information presented method and illustrates its use for examples of specific technical objects. The following material presents fragments of experimental research conducted by the author. The study used an oily surface visualization technique supplemented by anemometry measurements.

**Keywords:** oil surface visualization, experimental research, safety engineering.

## Wstęp

Proces powstawania nowych osiedli mieszkaniowych, zakładów przemysłowych itp. obiektów składa się z wielu etapów, wśród których jednym z najważniejszych jest etap projektowania. Poprawna realizacja tej fazy pozwala uniknąć szeregu problemów. Dlatego też tak istotną rolę odgrywają obecnie narzędzia wspomagające proces projektowania. Uzyskane na tym etapie wyniki pozwalają niejednokrotnie na obniżenie kosztów, ale również mogą posłużyć zapewnieniu komfortu i bezpieczeństwa konkretnego obiektu.

Informacje niezbędne projektantom osiedli mieszkaniowych i obiektów przemysłowych w celu zapewnienia komfortu mieszkańcom, poprzez wyeliminowanie silnych podmuchów oraz przeciągów i hałasu wywołanego ruchem powietrza przy niekorzystnych warunkach opływu, to przede wszystkim informacja o polu prędkości wiatru. Analogiczne informacje przydatne są podmiotom (Policja, PSP, miejskie jednostki organizacyjne, centrum zarządzania kryzysowego) biorącym udział w reagowaniu na sytuacje kryzysowe w przypadku powstania zagrożenia, m.in. typu skażenie. Na podstawie aerodynamicznych badań modeli zabudowy przemysłowej przewidywać można również przebieg rozprzestrzeniania dymu i pyłów unoszących się z kominów ciepłowniczych i fabrycznych oraz lokalizację miejsc o szczególnie dużej koncentracji zanieczyszczeń (Gnatowska, 2009; Li, Stathopoulos, 1997). Badania pojedynczych modeli o różnej geometrii i zmiennym usytuowaniu względem kierunku napływu wiatru pozwalają na sformułowanie wskazówek sprzyjających właściwemu projektowaniu bardziej złożonych rzeczywistych układów architektonicznych (Aynsley i in., 1987).

Celem niniejszej pracy jest analiza pola przepływu wokół obiektu prostopadłościennego będącego modelem elementu zabudowy zlokalizowanej w obszarze atmosferycznej warstwy przyziemnej. W badaniach eksperymentalnych posłużono się olejową techniką wizualizacji, umożliwiającą detekcję charakterystycznych stref przepływu w otoczeniu wiatrowym opływanego modelu. Uzupełnieniem tych danych są wyniki analizy spektralnej turbulentnych fluktuacji prędkości w wybranych punktach bliskiego śladu za obiektem.

## Opis techniki wizualizacji

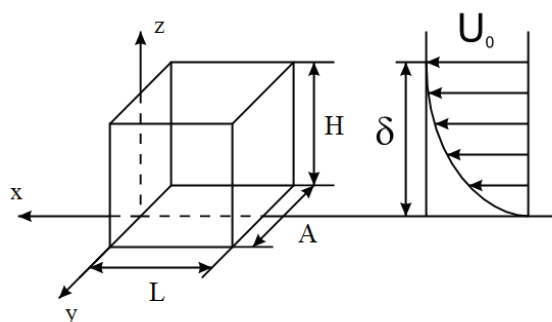
Źródłem szybkiej i łatwej do uzyskania informacji jakościowej w aerodynamicznych badaniach modeli zabudowy są metody wizualizacyjne. Zastosowana w relacjonowanych tu badaniach olejowa technika wizualizacji powierzchniowej polega na powlekanii podłoża w otoczeniu modelu cienką warstwą zawiesiny dwutlenku tytanu w kwasie oleinowym z dodatkiem oleju parafinowego. Dla zapewnienia odpowiedniego kontrastu oraz łatwości formo-

wania się obrazu model ustawiano na czarnej, gładkiej płycie, osadzonej w dolnej ścianie tunelu aerodynamicznego. Bieżącą rejestrację przemieszczania się warstwy zawiesiny umożliwiała kamera umieszczona nad obiektem.

Przydatność i fizykalna prawidłowość zastosowanej w niniejszej pracy olejowej techniki wizualizacji powierzchniowej dyskutowana była w jednej z prac Hunta i in. (1978). Uzasadniali oni poprawność założenia, że średnie przemieszczenie cząsteczek w cienkiej warstwie zawiesiny olejowej jest lokalnie równoległe do wektora prędkości średniej cząsteczek powietrza bezpośrednio nad powierzchnią. Problem możliwości pominięcia interakcji między zawiesiną olejową a przepływem w tego typu badaniach rozważany był również przez Laneville'a i in. (1983). Stwierdzili oni dopuszczalność takiego założenia, zwracając jednocześnie uwagę na właściwy dobór lepkości mieszaniny, która wyznacza długość czasu uśredniania obserwowanego procesu. Czas ten winien znacznie przekraczać okres wynikający z liczby Strouhala, charakterystycznej dla opływu danego obiektu.

## Warunki eksperymentu

Na wlocie do sekcji pomiarowej wygenerowano profil prędkości o kształcie i poziomie turbulencji zbliżonym do atmosferycznej warstwy przyziemnej uformowanej w obszarze podmiejskim charakteryzującym się niewielkim poziomem aerodynamicznej chropowatości. Grubość modelowanej warstwy przyziemnej w miejscu usytuowania modelu wynosiła  $\delta = 80\text{ mm}$ , natomiast prędkość na granicy warstwy  $U_o = 11\text{ m/s}$ . Badany model o kształcie prostopadłościanu o kwadratowym przekroju poprzecznym, którego wymiar  $D = 40\text{ mm}$ , usytuowano w przepływie zgodnie z układem osi zaprezentowanym na rysunku 1. Wielkością zmienną w była wysokość obiektu  $H$  przyjmująca wartości względne  $H/\delta = 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0; 1,2$ .

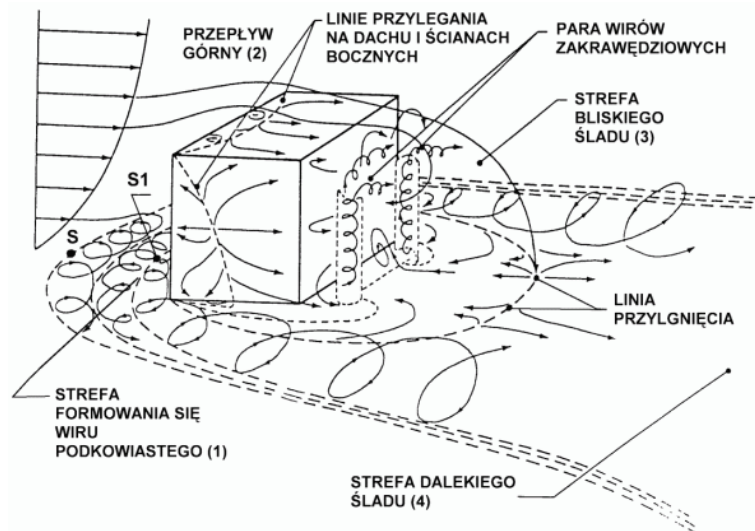


Rys. 1. Schemat badanego układu przepływowego

## Wyniki badań

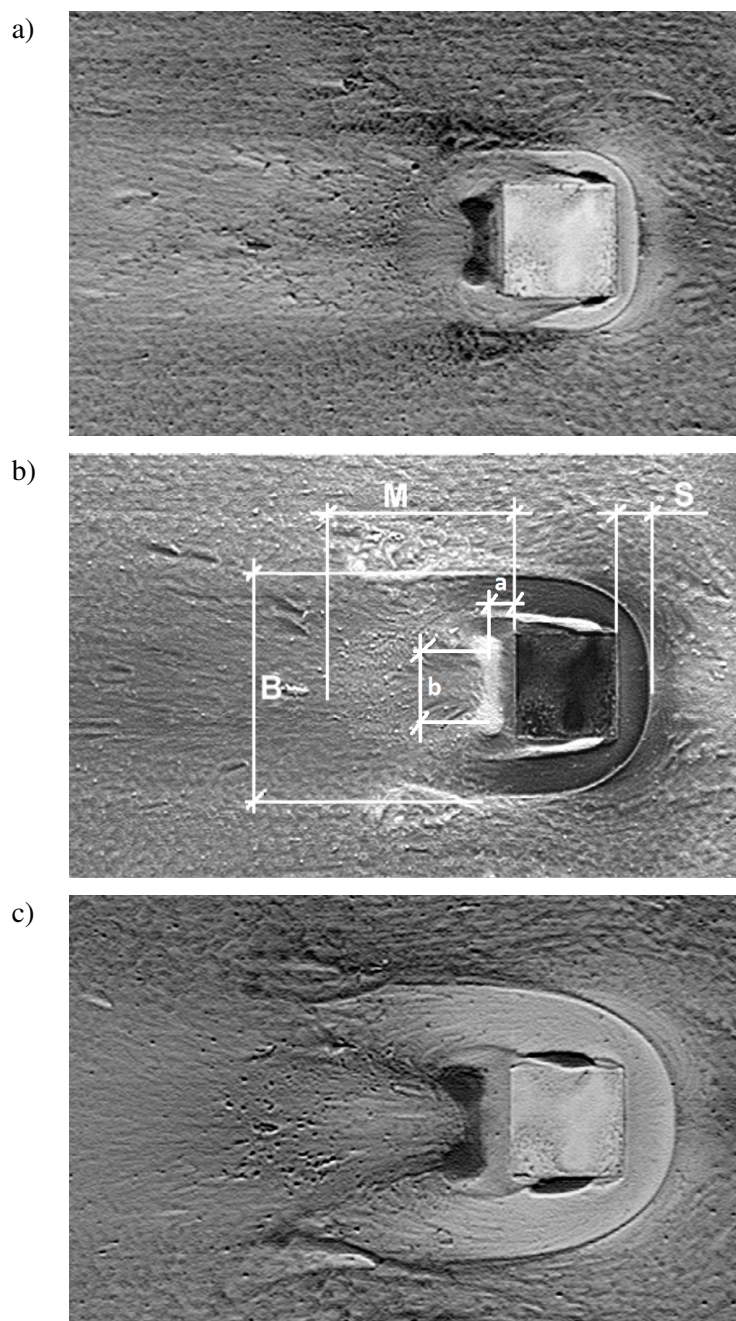
Obraz przepływu wokół trójwymiarowego ciała o kształcie nieopływowym, umieszczonego na powierzchni z uformowaną warstwą przyścienną (rys. 2), cechuje duży stopień złożoności, bowiem koncentrują się tu problemy znane z trudności zarówno eksperymentalnego, jak i matematycznego ich opisu, jak np. stagnacja, oderwanie, cyrkulacja, wirowość.

Na przedstawionym na rysunku 2 schemacie przestrzennym linii prądu, zaczerpniętym z pracy Hoskera (1978), wyodrębnić można podstawowe charakterystyczne obszary w przepływie tego typu: obszar formującego się przed obiektem wiru podkowiastego (1), przepływ górny (2), rejony bliskiego (3) i dalekiego (4) śladu. Wg interpretacji Hunta i in. (1978) na obraz przepływu wokół obiektu składa się szereg punktów separacji i przyłgnięcia, sklasyfikowanych jako osobliwe punkty węzłowe i siodłowe.



Rys. 2. Schemat struktury przepływu wiatru wokół pojedynczego elementu posadowionego na podłożu (Hunt, 1971)

Na rys. 2 zaznaczono dwa podstawowe punkty separacji – pierwotny  $S$  i wtórny  $S_1$ , występujące w procesie generacji wiru podkowiastego. Odległość punktu wtórnej separacji od przeszkody daje przybliżony wymiar wiru podkowiastego, natomiast linia przechodząca przez punkt separacji pierwotnej wyznacza zakres oddziaływania ujemnego gradientu ciśnienia wywołanego obecnością modelu. Zasięg bliskiego śladu określa linia przylegania przepływu górnego do podłoża. Na linii tej następuje zmiana kierunku przepływu nad powierzchnią.



Rys. 3. Obrazy przepływu uzyskane techniką wizualizacji olejowej:  
 a)  $H / \delta = 0,2$  ; b)  $H / \delta = 0,4$  ; c)  $H / \delta = 0,8$

Zestawienie przedstawionego na rysunku 2 schematu opływu prostopadłością z obrazem uzyskanym metodą powierzchniowej wizualizacji olejowej (rys. 3a–c) dowodzi, że technika ta umożliwia lokalizację charakterystycznych obszarów analizowanego pola prędkości. Zarejestrowany obraz w szczególności umożliwia określenie parametrów geometrycznych opływu, takich jak:

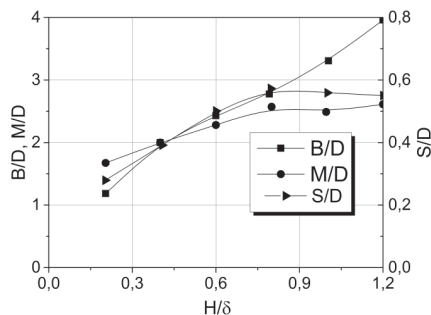
- szerokość śladu (B),
- odległość punktu wtórnej separacji od przeszkody (S),
- zasięg bliskiego śladu (M),
- dystans pary wirów zakrawędziowych od tylnej ściany obiektu (a),
- poprzeczna odległość osi pary wznoszących się wirów (b).

Ukazane na rys. 3a–c „uśrednione” linie prądu przy powierzchni podłoża wokół opływającego modelu odpowiadają różnym wartościom parametru  $H/\delta$  wyznaczającego stopień „zanurzenia” obiektu w warstwie przyściennej oraz zmieniającym się względnym wysokością modelu  $H/D$  (rys. 1).

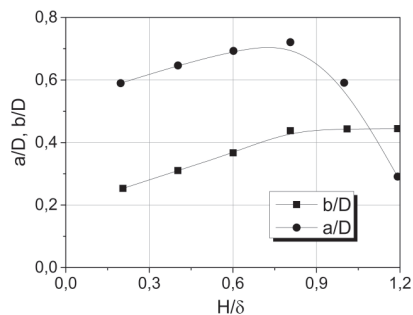
Parametry przepływu wokół badanego obiektu wyznaczone na podstawie utrwalonych obrazów powierzchniowych trajektorii cząstek przedstawione zostały na rys. 4a.

Obserwowany w przypadku wyższych modeli proporcjonalny wzrost zasięgu bliskiego śladu  $M/D$  spowodowany jest w tym przypadku większą energią kinetyczną przepływu górnego, co opóźnia jego przyłgnięcie do podłoża. Podkreślić tu należy, że uzyskane obrazy nie wskazują na fakt ponownego przyłgnięcia oderwanej strugi do bocznej powierzchni modelu, co mogłoby prowadzić do redukcji obszaru przepływów wtórnych za opływającym ciałem. Dwa pozostałe parametry, a więc zarówno rozmiar wiru podkowiastego przed przeszkodą  $S/D$ , jak i szerokość śladu  $B/D$  stabilizują się wówczas, gdy wysokość opływającej bryły zbliża się do granicy warstwy przyściennej.

a)



b)

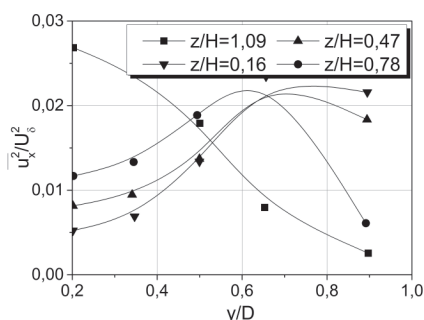


Rys. 4. Wpływ względnej wysokości obiektu na: a) parametry geometryczne badanego pola prędkości; b) położenie wirów zakrawędziowych

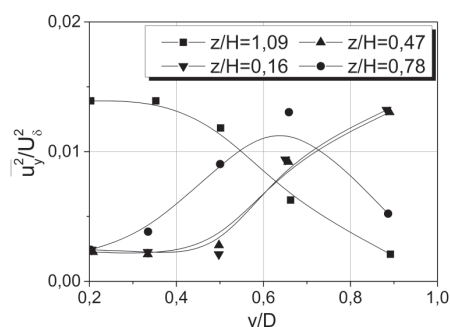
Bardziej złożona jest relacja między stopniem zanurzenia modelu w warstwie ( $H/\delta$ ) a usytuowaniem wirów zakrawędziowych (rys. 4b). Osie tych wirów przybliżają się oraz oddalają od siebie w zależności od wysokości obiektu, a w przypadku modeli wysuniętych poza strefę warstwy następuje pełna interferencja (zespolenie) tych dwóch struktur wirowych, przy jednoczesnym narastaniu odległości strefy cyrkulacji od przeszkody  $a/D$ .

Rezultaty te pozostają w ścisłym związku z poziomem turbulentnych fluktuacji prędkości  $\overline{u_x^2}$  oraz  $\overline{u_y^2}$ , których rozkład wzdłuż linii łączącej osie wirów zakrawędziowych przedstawiono na rys. 5a i b. Naniesione tu linie odpowiadają różnym odległościom od podłoża  $z/H$  i dotyczą obiektu o względnej wysokości  $H/\delta = 0,4$ .

a)



b)



Rys. 5. Wariancja fluktuacji a) wzdłużnych, b) poprzecznych prędkości

Zwraca uwagę odmienny charakter tych rozkładów w trawersie wychodzącym poza strefę tylnej ściany obiektu ( $z/H > 1$ ). Nie obserwuje się tu m.in. wysokiego poziomu turbulencji charakterystycznego dla obszaru w pobliżu krawędzi ( $y/D \geq 0,5$ ) i występującego bliżej podłoża ( $z/H < 1$ ).

## Podsumowanie

Technika wizualizacji olejowej umożliwia lokalizację charakterystycznych obszarów analizowanego pola prędkości. Ponadto, stwarzając możliwość wstępnego rozpoznania geometrii przepływu wokół obiektu, metoda ta daje podstawy do dalszych prac mających na celu określenie parametrów typu rozkład prędkości tego złożonego obszaru przy użyciu innych metod pomiaro-

wych, których zastosowanie jest ułatwione znajomością położenia charakterystycznych stref badanego przepływu.

Znajomość opisanych właściwości aerodynamicznych pozwala określić np. lokalizację silnych podmuchów oraz przeciągów i hałasu, czy przebieg rozprzestrzeniania dymu i pyłów unoszących się z kominów ciepłowniczych i fabrycznych oraz lokalizację miejsc o szczególnie dużej koncentracji zanieczyszczeń. Z uwagi na powyższe, przedstawiona eksperymentalna metoda wizualizacji może w sposób istotny wesprzeć proces projektowania oraz usprawnić analizę bezpieczeństwa w otoczeniu badanych obiektów.

## Literatura

- [1] Gnatowska R., Numerical modeling of unsteady phenomena in flow around bluff-bodies in tandem arrangement, Proceedings of 3rd International Conference on Experiments/ Process/ System Modelling/ Simulation/ Optimization (IC-EpsMsO), ISBN 978-960-98941-1-1, Athens 2009.
- [2] Li Y., Stathopoulos, T. Numerical evaluation of wind-induced dispersion of pollutants around a building. *J. of Wind Engng and Ind. Aerodynamics*, 1997, p. 757–766;  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(97\)00116-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(97)00116-5).
- [3] Aynsley R.M., Melbourne W., Vickey B.J., *Architectural Aerodynamics*, Appl. Science Publisher LTP, London 1987.
- [4] Hunt J.C.R., Abell C.J., Peterka J.A., Woo H., Kinematical Studies of the Flows Around Free or Surface-Mounted Obstacles; Applying Topology to Flow Visualization, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 86, 1978, p. 179–200;  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112078001068>.
- [5] Laneville A., Lu Zhi Yong, Mean flow patterns around two-dimensional rectangular cylinders and their interpretation. *J. of Wind Engn. And Ind. Aerodyn.* Vol. 14, 1983, p. 387–398;  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105\(83\)90040-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105(83)90040-5).
- [6] Hosker R.P. Jr., Empirical estimation of wake cavity size behind block-type structures, *Publ. by Am.Meteorol. Soc.*, Boston, Mass, 1978, p. 603–609.
- [7] Hunt J.C.R., The effect of single buildings and structures. „*Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*” 269, 1199, 1971, p. 457–467.