



Analysis of wind hazard leading to buildings damage

Renata GNATOWSKA¹

¹ Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, tel. 343250534/fax. 343250507
e-mail: gmatowska@imc.pcz.czest.pl

Abstract

The increasing number of threats resulting from the impact of strong winds, among others as a result of an increase in the violence of the phenomena of their range, frequency, and as a result of improper operation of facilities and the natural wear and tear. This paper is devoted to the analysis of the impact of the strong wind on the building construction in the different configurations in urban areas. The main aim of the experiment was to determine the pressure distribution on the walls of rectangular objects immersed in flow. Measurements are performed in the Laboratory of Environmental Aerodynamics Institute of Thermal Machinery Czestochowa University of Technology. Based on the results visualization and of aerodynamic ratios pressure observed, that changes the nature of the wind load are dependent on the configuration of objects.

Keywords: wind-induced damage, buildings, strong winds, wind tunnel experiments

Streszczenie

Analiza zagrożeń wiatrowych powodujących uszkodzenia budynków

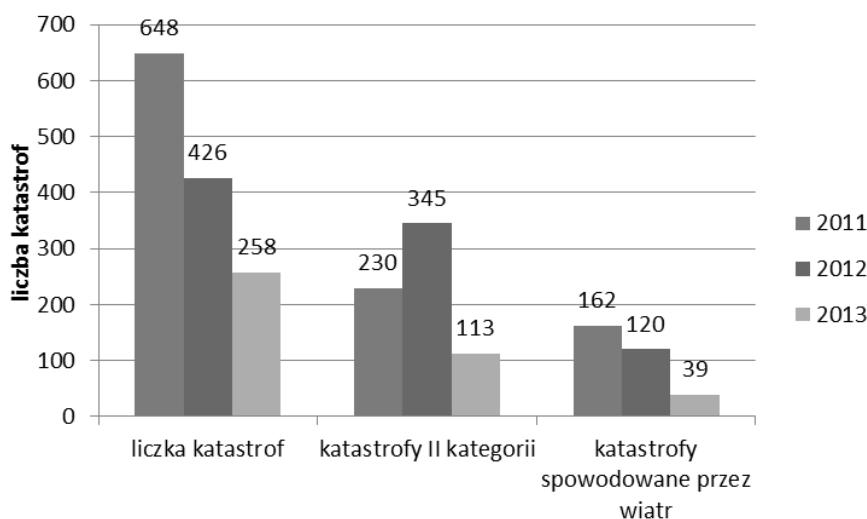
Wzrasta liczba zagrożeń wynikających z oddziaływania silnych wiatrów m.in. w wyniku zwiększenia się gwałtowności zjawisk, obszaru ich występowania, częstości występowania, a także w wyniku niewłaściwej eksploatacji obiektów i ich zużycia naturalnego. Niniejsza praca poświęcona została analizie wpływu oddziaływania silnego wiatru na konstrukcje budynków występujące w różnych konfiguracjach w obszarach zabudowanych. Jej głównym celem było wyznaczenie i przeanalizowanie obciążenia ciśnieniowego obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania przepływu. Pomiarów zrealizowano w Laboratorium Aerodynamiki Środowiska w Instytucie Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej. Na podstawie analizy wyników wizualizacji oraz aerodynamicznych współczynników ciśnieniowych zaobserwowano, że zmiany charakteru obciążenia wiatrowego zależne są od konfiguracji obiektów.

Słowa kluczowe: uszkodzenia wywołane przez wiatr, budynki, silne wiatry, badania w tunelu aerodynamicznym

1. Wstęp

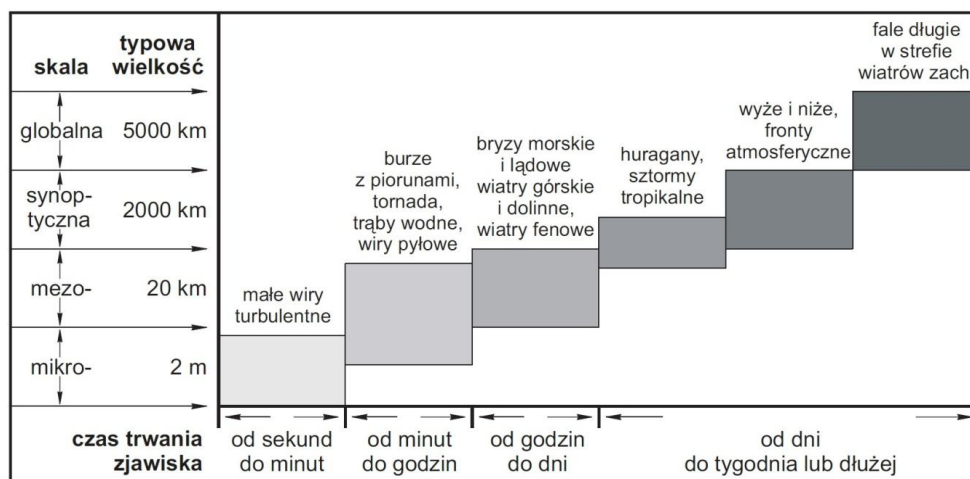
Wiatr jest to poziomy lub prawie poziomy ruch powietrza względem powierzchni ziemi. Wywołany jest różnicą ciśnień oraz w wyniku ukształtowania powierzchni. Rozróżnia się kilka rodzajów wiatrów. Jednak przedmiotem zainteresowań niniejszej są tylko te, które stwarzają zagrożenia dla budynków: wiatry sztormowe, burzowe, fenowe i tornada. Według Munich Reinsurance Company wystąpienie trąby powietrznej na terenie Polski jest znikome. Otóż tylko 2% powierzchni Polski jest narażone w stopniu wysokim, natomiast 98% w stopniu małym. Warto również wiedzieć o tym, że główną siłą niszczącą nie jest sama trąba powietrzna co gwałtowne podmuchy zstępujące. Co więcej, wiatry katastrofalne mogą się pojawiać w ciągu całego roku, a nie tylko w konkretnych przedziałach czasu. Pokazuje nam to jak ważne jest odpowiednie przygotowanie konstrukcji budynku, aby stawiła ona opór nieprzyjaznemu środowisku. Przykładowo: podczas okresu zimowego są to wichury zimowe, związane z działalnością cyklonalną, natomiast w porze cieplej są to najczęściej wiatry występujące w sytuacjach burzowych (np. wiatry szkwałowe) [1]. Według raportu Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego odnośnie katastrof budowlanych silne wiatry są zaliczane do II kategorii katastrof budowlanych – wynikających z przyczyn

losowych. Analizując raport z katastrof budowlanych z 3 ostatnich lat, na rysunku 1.1 zaobserwować można tendencję spadkową tych tragedii. W roku 2011 zarejestrowano 648 katastrof budowlanych z czego 230 to katastrofy kategorii II (35% ogólnej liczby katastrof); 162 katastrofy były spowodowane przez silne wiatry (w tym 84 katastrofy miały miejsce w województwie łódzkim a 34 w województwie lubelskim) [2]. W roku 2012 doszło do 426 katastrof budowlanych z czego aż 345 to katastrofy kategorii II (81% ogólnej liczby katastrof). W tym roku wiatr był sprawcą 120 katastrof (52 katastrofy w województwie podlaskim oraz 43 w województwie kujawsko – pomorskim) [3]. W 2013 roku odnotowano 258 katastrof z czego 113 to katastrofy kategorii II (44% ogólnej liczby katastrof); wiatr był odpowiedzialny tylko za 39 katastrof w tym aż 31 miało miejsce w województwie małopolskim [4].



Rys. 1.1. Liczba katastrof, z podziałem na Katastrofy II kategorii i te spowodowane przez wiatr w latach 2011 – 2013 [5].

Opisując zjawiska meteorologiczne w kontekście występowania wiatrów katastrofalnych, można je sklasyfikować w kategorii zasięgu i czasu trwania zjawiska (rysunek 1.2). Przykładowo zjawiska takie jak burze z piorunami, tornada, trąby powietrzne mają zasięg do 20 km i trwają od minut do godzin. Huragany, sztormy tropikalne mogą trwać od dni do tygodnia lub dłużej a typowa wielkość to do 2000 km.



Rys. 1.2. Przeciętna wielkość i czas trwania zjawisk meteorologicznych [5].

Uszkodzenia budynków w skutek oddziaływania wiatru można podzielić na bezpośrednie i pośrednie. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z bezpośrednim wpływem wiatru na budynek lub jego część, np.

wybitcie szyb, wyrwanie okien, oberwanie rynien, zerwanie pokrycia dachowego, natomiast pośrednie będą związane z uderzeniami przewracających się drzew, słupów elektroenergetycznych. Ponadto, uszkodzenia pośrednie mogą wpływać na występowanie uszkodzeń bezpośrednich, poprzez zniszczenie drzwi, okien – co w konsekwencji może prowadzić do zniszczenia wnętrza budynku przez zjawiska towarzyszące gwałtownym wiatrom (np. deszcz, grad). Analizując zniszczenia spowodowane przez wiatr, najczęściej dotyczy to uszkodzeń dachów oraz ich elementów. Ponadto, czynniki od których zależy charakter i zasięg uszkodzeń bezpośrednich to przede wszystkim: wiek i stan techniczny, ukształtowanie dachu, jakość materiałów, jakość wykonania połączeń konstrukcyjnych, rodzaj obiektu, oraz rozwiązania konstrukcyjne [6]. Czynniki wpływające na oddziaływanie wiatru to przede wszystkim: rodzaj i ukształtowanie terenu, na którym znajduje się budynek, obiekty znajdujące się w sąsiedztwie, lokalizacja budynku na obszarze kraju, wysokość rozpatrywanego budynku. Co więcej, Polskę możemy podzielić na 3 kategorie i parametry terenu (rysunek 1.3):

- 1) kategoria terenu 1 – jeziora albo obszary z pomijalną roślinnością i bez przeszkód;
- 2) kategoria terenu 2 – obszary z niską roślinnością, taką jak trawa oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości;
- 3) kategoria terenu 3 – obszary regularnie pokryte roślinnością albo budynkami lub z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości (tereny wiejskie i podmiejskie, stałe lasy).

Charakterystyczna prędkość wiatru (średnia dziesięciominutowa prędkość wiatru na wysokości 10 m nad poziomem gruntu terenie otwartym) dla poszczególnych stref wynosi: dla strefy I to 22 m/s, strefa II to 25 m/s, strefa III to 30 m/s.



Rys. 1.3. Strefy obciążenia wiatrem wg normy PN-EN-1991-1-4:2005 [7].

2. Obciążenia budowli wiatrem

Obciążenie budowli, wynikające z oddziaływania przepływającego wokół niego powietrza, zależy od wielu czynników działających bezpośrednio lub pośrednio, które połączyć można w cztery zasadnicze grupy [8]:

- prędkość wiatru gradientowego oraz gęstość powietrza,
- charakter terenu oraz otoczenie budowli,

- proporcje wymiarów obiektów a także ich kształt,
- rozwiązania konstrukcyjne (sztywność i rozkład masy).

Siły wywoływane przez wiatr działające na budowlę wynikają z oporów tarcia i różnicy ciśnienia występujących na jej powierzchniach. Względną miarą poziomu ciśnienia powierzchniowego, przyjmowaną powszechnie w aerodynamice, jest współczynnik ciśnienia definiowany jako [9]:

$$C_p = \frac{P}{0,5\rho U_\infty^2} \quad (1.1)$$

gdzie:

p - ciśnienie powierzchniowe,

ρ - gęstość czynnika opływającego,

U_∞^2 - prędkość napływu.

oraz ze względu na zmienny charakter obciążenia ciśnieniowego w czasie dodatkowo analizuje się współczynniki ciśnienia w oparciu o:

- wartość szczytową

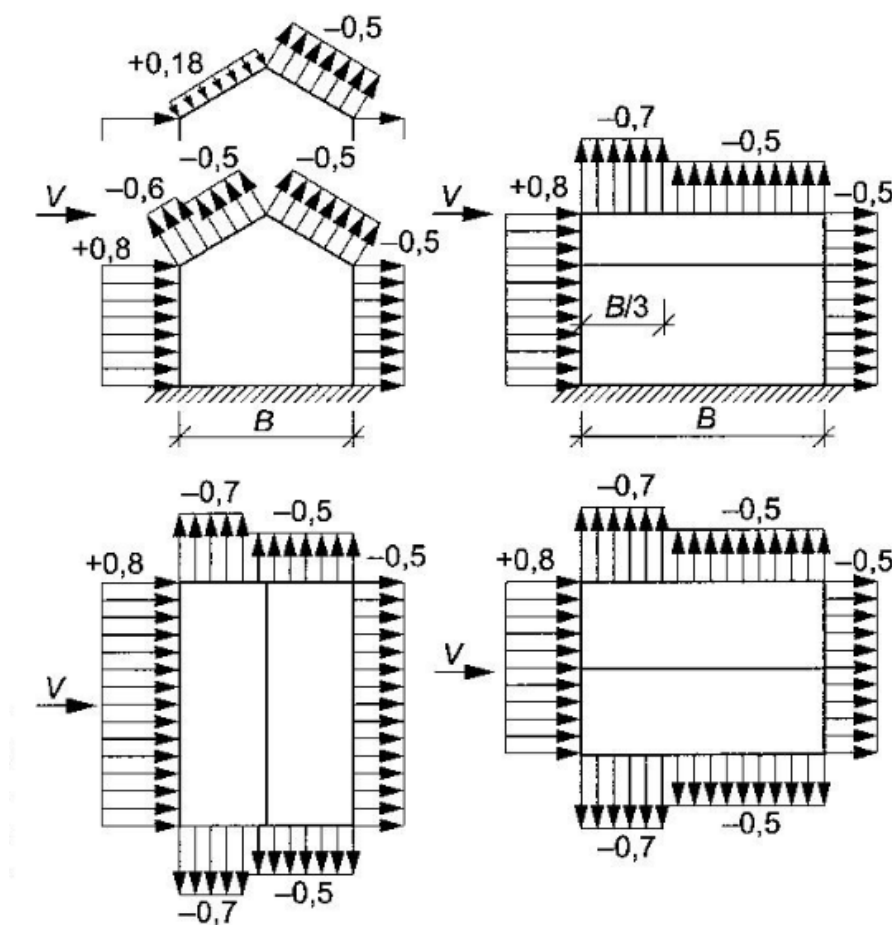
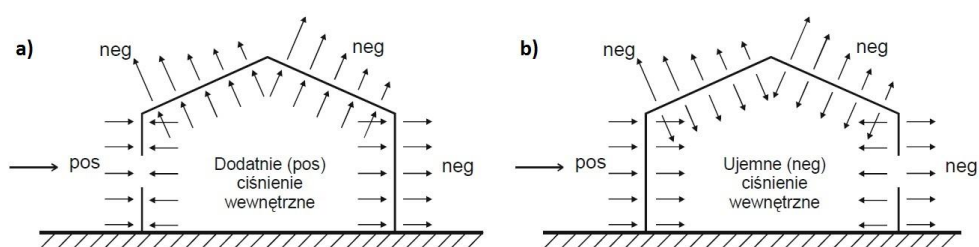
$$C_{ps} = \frac{P_s}{0,5\rho U_\infty^2} \quad (1.2)$$

- odchylenie standardowe

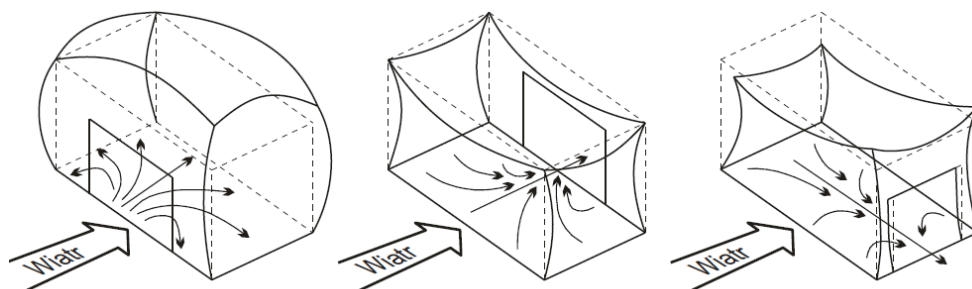
$$C_{p\delta} = \frac{\delta_p}{0,5\rho U_\infty^2} \quad (1.3)$$

Przykład rozkładu lokalnie uśrednionych przestrzennie wartości współczynnika C_p w budynku z dachem dwuspadowym ($\beta = 30^\circ$) został przedstawiony na rysunku 2.1.

Oddziaływanie wiatru przejawia się jako ciśnienie wywierane na zewnętrzne powierzchnie budowli zamkniętych, a także, z powodu przepuszczalności przegród wewnętrznych, jako ciśnienie wywierane na powierzchnie wewnętrzne. Ciśnienie wywierane na powierzchni konstrukcji lub jej indywidualnych elementów osłonowych, wywołuje siły prostopadłe do nich. Omywany tak budynek jest narażony na uszkodzenia. W przypadku większych budynków, gdzie większa powierzchnia jest omywana przez wiatr, powstają duże siły tarcia działające stycznie do powierzchni. Umieszczenie otworów w budynku też ma ogromne znaczenie. Przykładem tego może być sytuacja gdy w przedniej części budynku znajduje się duży otwór (rys. 2.2a oraz 2.3). Jeżeli znajduje się on od strony nawietrznej to powietrze jest włączane do środka, czego konsekwencją jest rozsądzenie budynku. Jeżeli natomiast ten otwór znajduje się z drugiej strony lub z boku budynku to mamy do czynienia z podciśnieniem, który powoduje spadek ciśnienia wewnątrz budynku co w konsekwencji może prowadzić do zapadnięcia się do środka ścian i stropu (rys. 2.2b oraz 2.3).

Rys. 2.1. Rozkład współczynnika C_p na budynku z dachem dwuspadowym [8].

Rys. 2.2. Ciśnienie wiatru wywierane na powierzchnie przegród [6].



Rys. 2.3. Charakter deformacji budynku z otworem w ścianie zewnętrznej nawietrznej, zawietrznej i bocznej [6].

Projektując konstrukcję przyjmuje się zwykle obciążenie zwane obliczeniowym, które powinna ona przenieść. Jest ono wartością umowną, przy której wyznaczaniu należy wziąć pod uwagę bezpieczeństwo budowli, wpływ na środowisko oraz czynniki wpływające na jego wzrost. Ich poniższego podziału dokonano w pozycji [8]:

- przeznaczenie budowli (okres użytkowania, znaczenie budowli),
- lokalizacja (strefa, teren, sąsiedztwo),
- kształt i wymiary budowli (współczynniki aerodynamiczne),
- rozwiązania konstrukcyjne (właściwości aeroelastyczne).

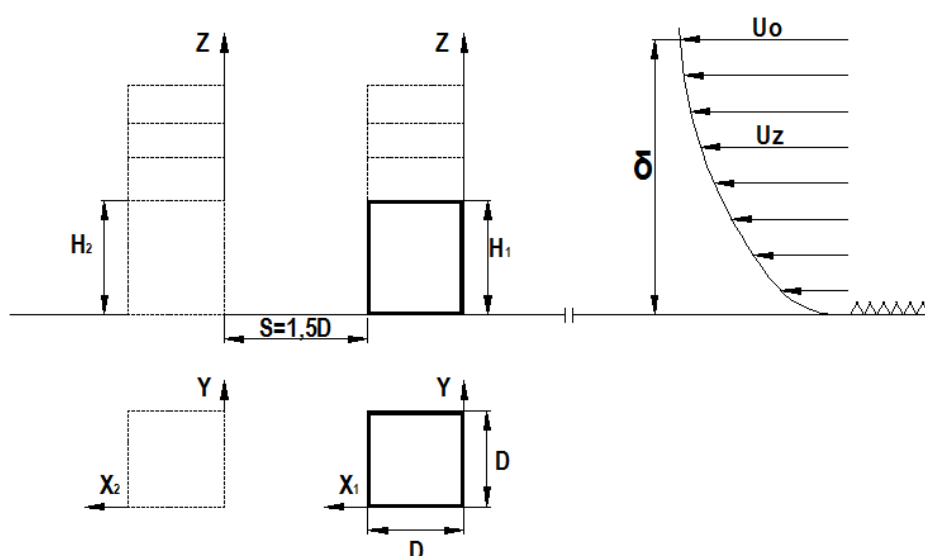
Wymienione czynniki są ze sobą powiązane i wzajemnie uzależnione. W większości są one losowymi funkcjami zależnymi od czasu i przestrzeni. Dlatego obciążenie wiatrem określić można mianem wielowymiarowego procesu stochastycznego. Podstawowym warunkiem, który powinien zostać spełniony w czasie całego użytkowania obiektu jest zależność $Q \leq N$ stanowiąca, aby obciążenie nie przekroczyło nośności konstrukcji. Ponieważ zarówno nośność jak i obciążenie są zmiennymi losowymi, powyższy warunek może być spełniony z pewnym prawdopodobieństwem, którego wartość powinna być ustalona na poziomie możliwym do zaakceptowania z perspektywy bezpieczeństwa konstrukcji jak i ekonomii. Stosowane w Polsce a także na świecie nazewnictwo opisujące oddziaływanie wiatru na obiekty budowlane jest dość nieprecyzyjne, a ponadto występują w nim niekiedy odmienne pojęcia określające ten sam rodzaj oddziaływania.

W celu zredukowania wpływu wiatru na obiekty budowlane stosuje się głównie dwa rodzaje sposobów przeciwdziałania, należą do nich [9]:

- urządzenia mechaniczne rozpraszające energię układu (zwane mechanicznymi tłumikami drgań MTD lub absorbentami energii drgań) w postaci wahadeł, układów mechanicznych z elementami masowymi, dyssypatywnymi (np. tarciovymi, lepkiemi), sprężystymi itp., które zwiększają efektywne tłumienie drgań obiektu jako całości,
- turbolizatory w postaci spiralnych pasków, drutów, skrzydełek, prętów lub pasów osiowych itp., które zmieniają szorstkość powierzchni obiektu.

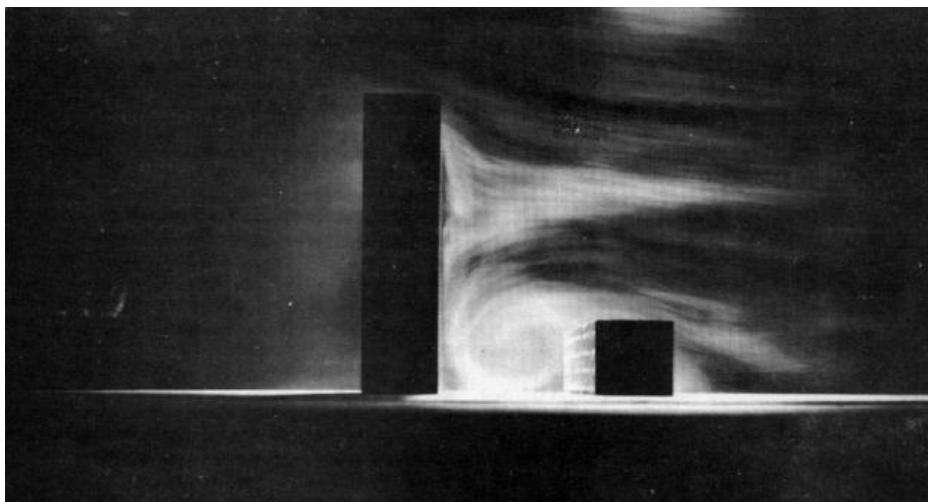
3. Przedmiot i metoda badań

Przedmiot badań stanowiły modele obiektów naziemnych w postaci stalowych brył prostopadłościennych o podstawie kwadratu 40 x 40 [mm], charakteryzujące się różnymi wysokościami. Schemat badanego układu został przedstawiony na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Schemat układu pomiarowego.

Badania zostały przeprowadzone dla różnych konfiguracji ustawienia modeli pomiarowych, w których odległość między budynkami pozostaje na stałym poziomie $S/D = 1,5$, natomiast zmienia się stosunek wysokości budynku nawietrznego H_1 i zawietrznego H_2 który wynosił: 1 oraz 0,6. Wspomniane ustawienia obiektów dobrane zostały w oparciu o wyniki podobnych eksperymentów realizowanych w Instytucie Maszyn Ciepłych. Ostatni z wymienionych przypadków opisywany jest w literaturze [11-12] jako przykład najbardziej niekorzystnej konfiguracji obiektów. Przy ustawieniu $H_1/H_2=0.6$ stwierdzono występowanie tzw. efektu downwash, który polega na spływananiu po ścianie czołowej obiektu zawietrznego dużych mas powietrza. W przestrzeni między budynkami zaobserwować można wir. Badania te wskazywały na ogólny wniosek, że wysokie budynki mają tendencje do sprowadzania powietrza o wyższej prędkości w stronę podłoża. Szczególną uwagę należy zwrócić na wystąpienie wiru w przestrzeni między budynkami oraz strumieni narożnych (rysunek 3.2). Mają one negatywne oddziaływanie na środowisko.



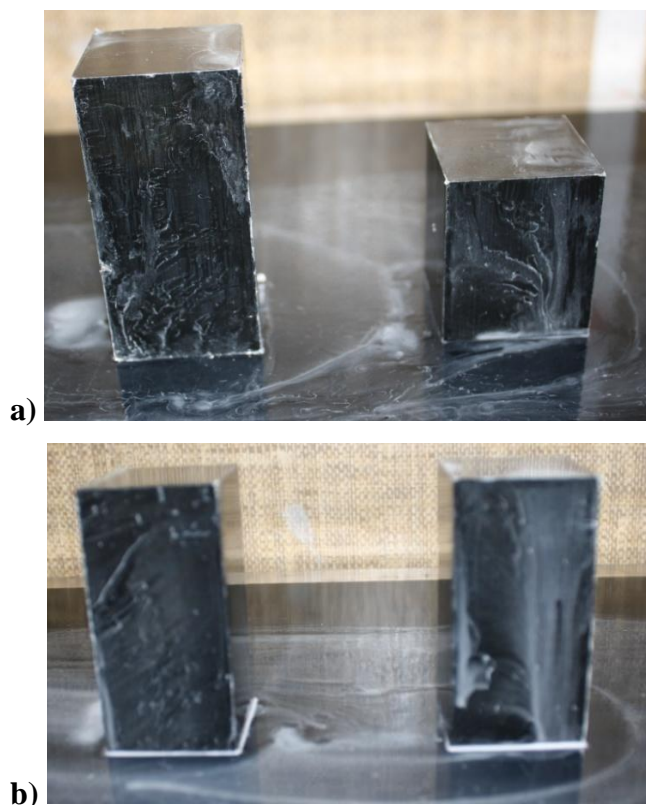
Rys. 3.2. Wizualizacja dymowa testu przeprowadzonego w tunelu aerodynamicznym dla przepływu wokół budynku wysokiego ekranowanego przez budynek niższy [10].

Analizowane w artykule przypadki dotyczą przepływu wokół obiektów usytuowanych w bliskim sąsiedztwie. Wystąpienie takiej sytuacji może skutkować zróżnicowanymi zaburzeniami przepływu, które skutkują złożoną strukturą obciążenia działającego na obiekty budowlane. Sytuacja taka może wystąpić np. na terenie elektrowni gdzie mamy dużą różnicę wysokości między wysoką chłodnią kominową a budynkami administracji. Badania wykonywane w ramach niniejszej pracy zrealizowane zostały w Laboratorium Aerodynamiki Środowiska w Instytucie Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej. Zastosowane eksperymentalne techniki badawcze obejmowały pomiary ciśnienia na powierzchni obiektów z wykorzystaniem wysokoczułych przetworników ciśnienia oraz metodę wizualizacji olejowej. Celem głównym było określenie rozkładu ciśnienia na ścianach prostopadłościennych obiektów w układzie tandem, wyznaczenie wpływu odległości między obiektami na rozkład ciśnienia na ścianach prostopadłościennych obiektów w układzie tandem. Wszystkie badania tunelowe w trakcie których zmierzony został rozkład ciśnienia na ścianach obiektów przeprowadzone zostały dla stałych parametrów przepływu, które wynosiły: prędkość średnia przepływu niezaburzonego $\bar{U} = 13$ [m/s], kąt napływu czynnika względem ściany nawietrznej obiektu $\beta = 90^\circ$, grubość warstwy przyziemnej $\delta = 80$ [mm].

4. Analiza wyników pomiarów

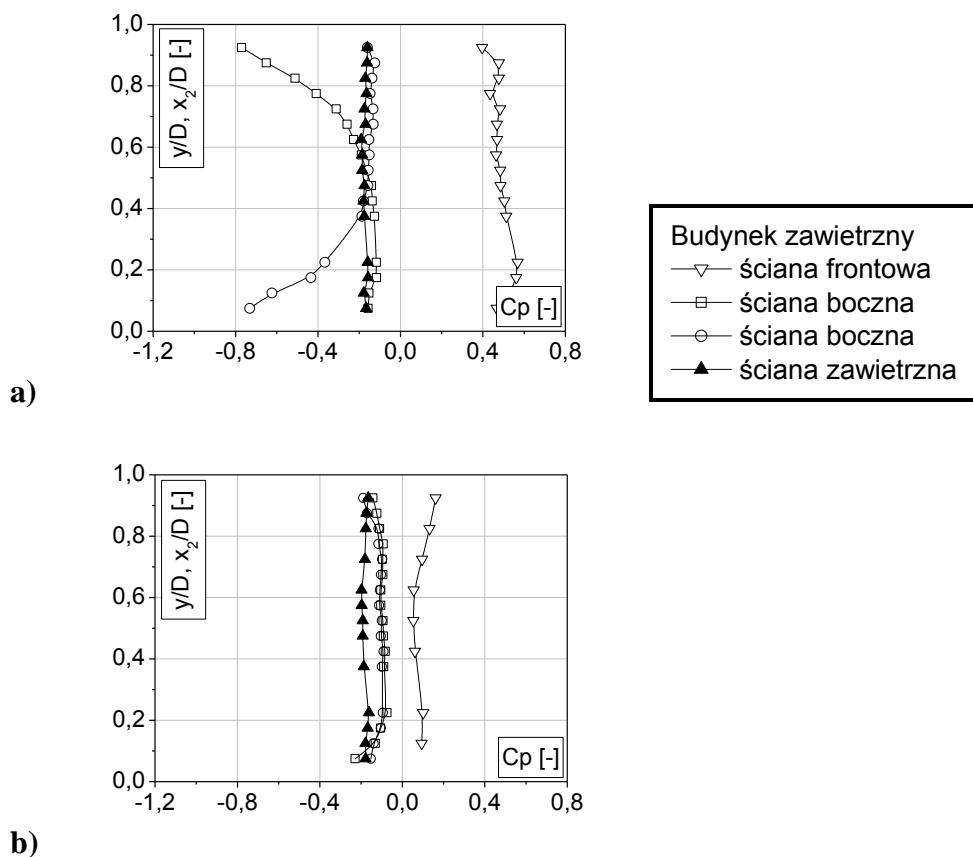
Za pomocą metody wizualizacji olejowej zostały uzyskane obrazy rozkładu linii prądu na poszczególnych ścianach obiektów oraz w obszarze między nimi. Analizując ich położenie oszacować można miejsca występowania obszarów podciśnienia oraz charakterystycznych stref opływu. Poniżej zaprezentowano przykładowe fotografie badanych obiektów w układzie tandem dla konfiguracji $H_1/H_2=0.6$, $\delta/H_2 = 1$ oraz $H_1/H_2=1$, $\delta/H_2 = 1$ (rysunek 4.1). Przedstawione powierzchniowe wizualizacje opływu obiektów dają jakościowy obraz na temat wpływu konfiguracji budowli na charakter przepływu. W wyniku analizy uzyskanych obrazów można stwierdzić, że dla układu $H_1/H_2 = 0,6$ zaobserwować można tak zwany efekt downwash (rysunek 4.1a),

w wyniku którego spływające po ścianie czołowej budynku zawietrznego powietrze tworzy u jego podstawy rozległy wir podkowiasty. W miarę zwiększania się zależności H_1/H_2 wspomniany wyżej efekt ustępuje, a w obszarze pomiędzy obiektami tworzy się strefa recyrkulacji wynikająca z obecności wirów zakrawędziowych za obiektem nawietrznym. Kolejną możliwą do zaobserwowania zależnością jest wzrost rozmiaru wiru podkowiastego na skutek powiększania się wysokości budynku nawietrznego. Podobnie zachowuje się strefa podciśnienia występująca na ścianach bocznych obiektu nawietrznego, jej obszar rośnie i przesuwa się w kierunku tyłu budynku.



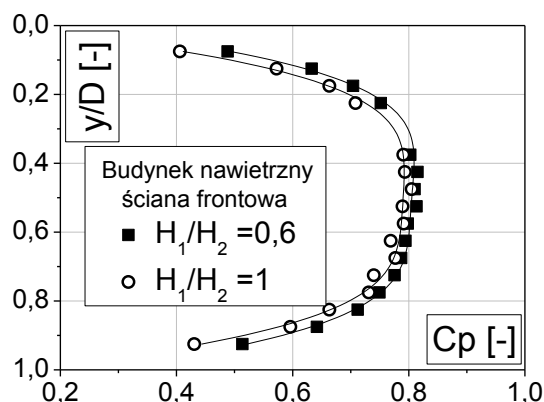
Rys. 4.1. Obraz wizualizacji olejowej obiektów w konfiguracji: a) $H_1/H_2=0.6$, $\delta/H_2=1$ oraz b) $H_1/H_2=1$, $\delta/H_2=1$.

Analizując obciążenia wiatrem konstrukcji budowlanych w zagadnieniach inżynierskich, często ich wartość określa się na podstawie średnich wartości ciśnienia rejestrowanych na powierzchniach ścian. Otrzymane na podstawie przeprowadzonego w ramach niniejszej pracy eksperymentu wyniki zaprezentowano na poniższych wykresach (rysunek 4.2), które prezentują rozkład zredukowanej wartości ciśnienia w postaci współczynnika C_p w funkcji długości ściany. Punkty pomiarowe znajdowały się na jednej linii umieszczonej na wysokości $z/D = 0.925$.



Rys. 4.2. Wartości współczynnika ciśnienia C_p [-] na ścianach budynku zawietrzny dla konfiguracji: a) $H_1/H_2=0.6$, $\delta/H_2 = 1$ oraz b) $H_1/H_2=1$, $\delta/H_2 = 1$.

Uzyskane wyniki wykazały zmiany rozkładu ciśnienia na poszczególnych ścianach obiektów w zależności od ich konfiguracji geometrycznej. Analizując zmienność ciśnienia dla powierzchni bocznych budynków zawietrznych, należy zwrócić uwagę na wpływ interakcji obiektów dla konfiguracji $H_1/H_2 = 0,6$ (rysunek 4.2a). Zjawisko to w znaczący sposób wpływa na charakter przepływu. Uzyskane wyniki świadczą o nierównomiernym rozkładzie podciśnienia, które osiąga wyższe wartości od strony frontowej części budynku. Dla ustawienia $H_1/H_2 = 1$, rozkład ten jest równomierny na całej długości. Wartości rejestrowane na ścianie frontowej budynku pierwszego pozostają na stałym poziomie nie zależnie od wysokości, a ich rozkład przybiera kształt paraboli z wartością maksymalną nadciśnienia dla $y/D=0,5$ (rysunek 4.3). Natomiast na ścianie frontowej budynku drugiego uwidacznia się wpływ efektu downwash w konfiguracji $H_1/H_2 = 0.6$ w postaci jego wysokich wartości w obszarze natarcia strumienia przepływu. Zarejestrowane na ścianie frontowej wielkości C_p mają wartości zbliżone do odczytów na obiekcie nawietrznym. W konfiguracji $H_1/H_2=1$ wspomniany wyżej efekt zanika. Wszystkie uzyskane przy pomocy tej metody pomiarowej wyniki okazały się wysoce zgodne z obrazami uzyskanymi z wykorzystaniem metody wizualizacji olejowej. Widać to dokładnie na przykładzie wartości podciśnienia. Jak wiadomo w miejscu gdzie osiąga ono największą wartość koncentruje się mieszanina używana do wizualizacji olejowej.



Rys. 4.3. Wartości współczynnika ciśnienia C_p [-] na ścianie budynku nawietrznego dla konfiguracji: $H_1/H_2=0.6$ oraz $H_1/H_2=1$.

Z przeprowadzonych badań dla przepływu nieustalonego w czasie, wynika, że na obiekt zawietrzny działa zmienne w czasie obciążenie ciśnieniowe. Wywołuje to konieczność analizy struktury obciążenia podczas etapu projektowania konstrukcji. Należy, bowiem poddać analizie wpływ zaburzeń przepływu i jego okresowych zmian, na dynamiczną odpowiedź konstrukcji, gdyż może dojść do sytuacji, w której okres drgań własnych konstrukcji pokryje się z okresem siły wymuszającej powstałej wskutek zmiennego pola prędkości oddziaływującego na obiekt, prowadząc do niebezpiecznego i niszczącego zjawiska rezonansu.

3. Podsumowanie

Praca poświęcona została analizie wpływu oddziaływania silnego wiatru na konstrukcje budynków występujące w różnych konfiguracjach w obszarach zabudowanych. Jej głównym celem było wyznaczenie i przeanalizowanie obciążenia ciśnieniowego obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania silnego wiatru. Badany układ składał się z dwóch modeli budynków usytuowanych w bliskim sąsiedztwie w konfiguracji tandem w przyziemnej warstwie wiatrowej.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zmiany charakteru wiatrowego obciążenia ciśnieniowego zależne są od konfiguracji obiektów. Korzystniejsze z punktu widzenia analizowanych parametrów warunki występują dla konfiguracji $H_1/H_2 = 1$; dla którego rozkład ciśnienia na ścianach budynków jest najbardziej korzystny z punktu widzenia komfortu wiatrowego. Przy takim ustawieniu budynków wystąpił tak zwany efekt „schronienia”, który ograniczył strefę występowania zaburzeń przepływu. Przedstawione badania dotyczące rozpatrywanego układu charakteryzującego się występowaniem efektu „downwash” ($H_1/H_2=0.6$) ukazały złożoność struktury przepływu i jej negatywny wpływ na charakter obciążeń ciśnieniowych oddziałujących na obiekty. Jest to mniej korzystna konfiguracja, na co wskazują wysokie wartości nadciśnienia na ścianie frontowej obiektu zawietrznego. Przyczyną tego są silne zaburzenia przepływu występujące w strefie między obiektami. Sytuacja ta jest niekorzystna z punktu widzenia oddziaływania na konstrukcję, gdyż wywołane wahania obciążeń mogą mieć szczególne znaczenie dla zmęczenia materiału danego obiektu, jak i wywoływać drgania budowli.

Otrzymane w ramach pracy wyniki rozkładów średniego ciśnienia na powierzchni obiektów wykazały dużą zgodność z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem metody wizualizacji olejowej. Potwierdzona została tym samym przydatność zastosowanych metod badawczych w zakresie aerodynamiki środowiska dotyczących poziomych wiatrowych obciążeń ciśnieniowych. W trakcie realizacji pracy potwierdzono, że tego typu badania wykazują duży potencjał, jeśli chodzi o łatwość uzyskiwania danych potrzebnych do analizy badanego przypadku.

Literatura

1. Żurański J, Gaczek M.: Oddziaływania wiatrów katastrofalnych w Polsce, Przegląd budowlany 11/2009, 26-31
2. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Katastrofy Budowlane w 2011 roku, Warszawa, 2011
3. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Katastrofy Budowlane w 2012 roku, Warszawa, 2012
4. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Katastrofy Budowlane w 2013 roku, Warszawa, 2013
5. Ahrens C.D.: Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere. Brooks Cole, 2000
6. Gaczek M, Żurański J, Uszkodzenia budynków wywołane huraganowym wiatrem cz. II, Inżynier Budownictwa październik 2008, 76-80
7. PN-EN1991-1-4:2008 (Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru)
8. Żurański J.: Obciążenia wiatrem budowli i konstrukcji, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa, 1978
9. Flaga A.: Inżynieria wiatrowa, Wydawnictwo „Arkady” Sp. z o.o., Warszawa, 2008
10. Wise A.F.E., Sexton D.E., Lillywhite M.S.T: Studies of Air Flow Round Buildings, The Architects Journal, 1965
11. 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
12. Gnatowska R.: Planowanie terenów zabudowanych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju z zastosowaniem metod modelowych, Inżynieria Ekologiczna 2013, nr 33, 35--40
13. Holmes J.D.: Wind loading of structures, London, 2007

