



## **ROLA BADAŃ MODELOWYCH W TUNELACH AERODYNAMICZNYCH W ZAPOBIEGANIU KATASTROF I USZKODZEŃ BUDOWLI I KONSTRUKCJI SPOWODOWANYCH WIATREM**

ANDRZEJ FLAGA, *LIWPK@windlab.pl*

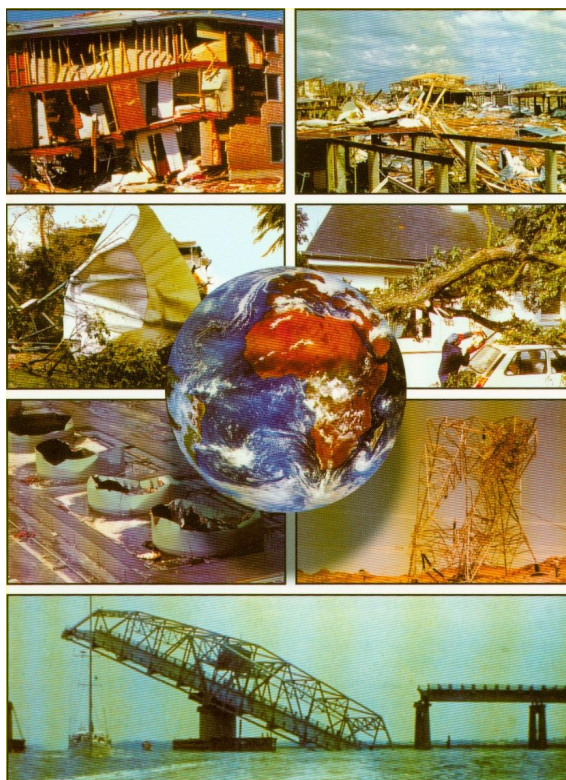
Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, Politechnika Krakowska

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono ogólną charakterystykę zagadnień współczesnej inżynierii wiatrowej oraz rolę badań modelowych w tunelach aerodynamicznych w zapobieganiu katastrof i uszkodzeń budowli i konstrukcji spowodowanych wiatrem. Ponadto przedstawiono wybrane badania modelowe zrealizowane w tunelu aerodynamicznym Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej.

**Słowa kluczowe:** inżynieria wiatrowa, badania modelowe, tunel aerodynamiczny.

### **1. Ogólna charakterystyka zagadnień współczesnej inżynierii wiatrowej**

Inżynieria wiatrowa jest interdyscyplinarną dziedziną wiedzy [1, 2, 3]. Burzliwy jej rozwój nastąpił w ostatnim 50-leciu. Powodem takiego stanu rzeczy były liczne katastrofy obiektów inżynierskich spowodowane wiatrem (por. rys. 1).



Rys. 1. Atmosfera otaczająca Ziemię jest w nieustannym ruchu, w wyniku czego, od czasu do czasu, w jednych regionach kuli ziemskiej występują wiatry silne, w innych wiatry ekstremalne, wywołujące katastrofy różnych obiektów i klęski żywiołowe [4]

Przykłady dwóch najsłynniejszych takich katastrof pokazano na rys. 2 i 3. Inżynieria wiatrowa obejmuje ogół zagadnień związanych z wpływami wiatru na: budowle, obiekty, konstrukcje inżynierskie, ludzi, środowisko (otoczenie człowieka), jak również zagadnień związanych z wykorzystaniem wiatru jako źródła energii (por. rys. 4), bezpieczeństwem i niezawodnością budowli i konstrukcji poddanych działaniu wiatru, klęskami żywiołowymi spowodowanymi wiatrami ekstremalnymi (cyklonami, tajfunami, tornadami, trąbami powietrznymi itp.), jak również normalizacją (kodyfikacją) zagadnień wymienionych wyżej. Ogólną klasyfikację współczesnej inżynierii wiatrowej przedstawia rys. 5.

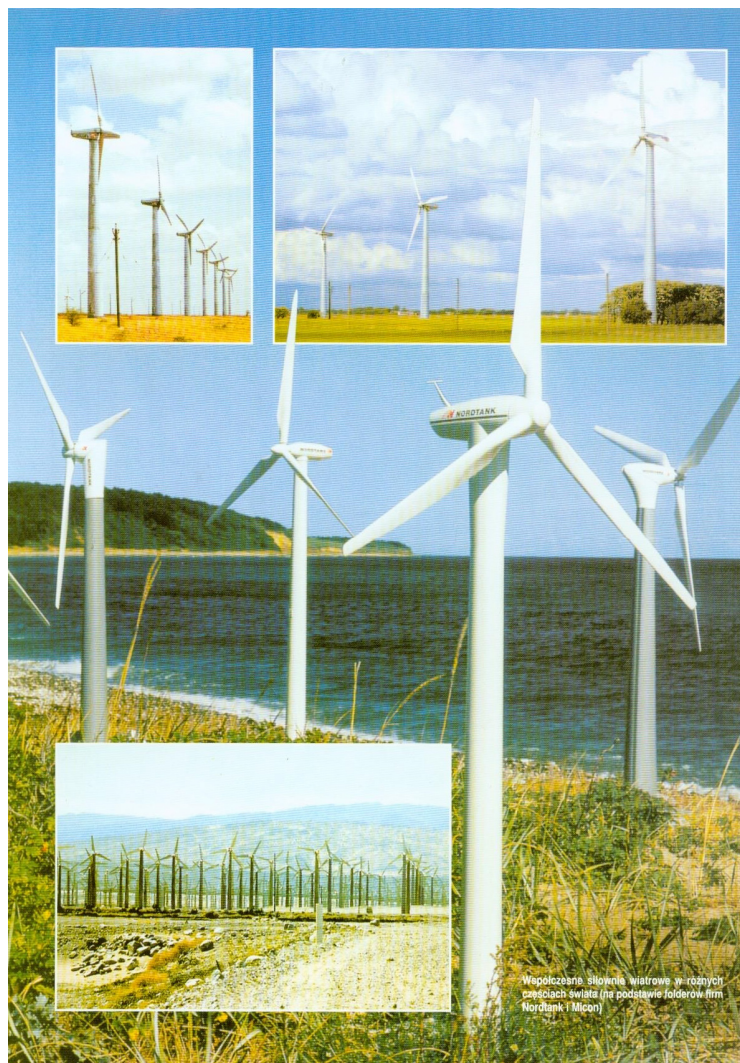


Rys. 2. Katastrofa trzech z ośmiu, ponad 100-metrowych żelbetowych chłodzi kominowych w Ferrybridge, Wielka Brytania. Zniszczeniu uległy chłodnie zawietrzne. Przyczyną katastrofy były zjawiska interferencji aerodynamicznej chłodzi zawietrznych z nawietrznymi o charakterze nieustalonym, które wywołały nadmierne drgania chłodzi zawietrznych [4]



Rys. 3. Katastrofa mostu wiszącego w Tacoma Narrows, blisko Seattle, USA, w wyniku flutteru giętno-skrętnego przęsła mostu przy silnym wietrze (1940 r.) [4]



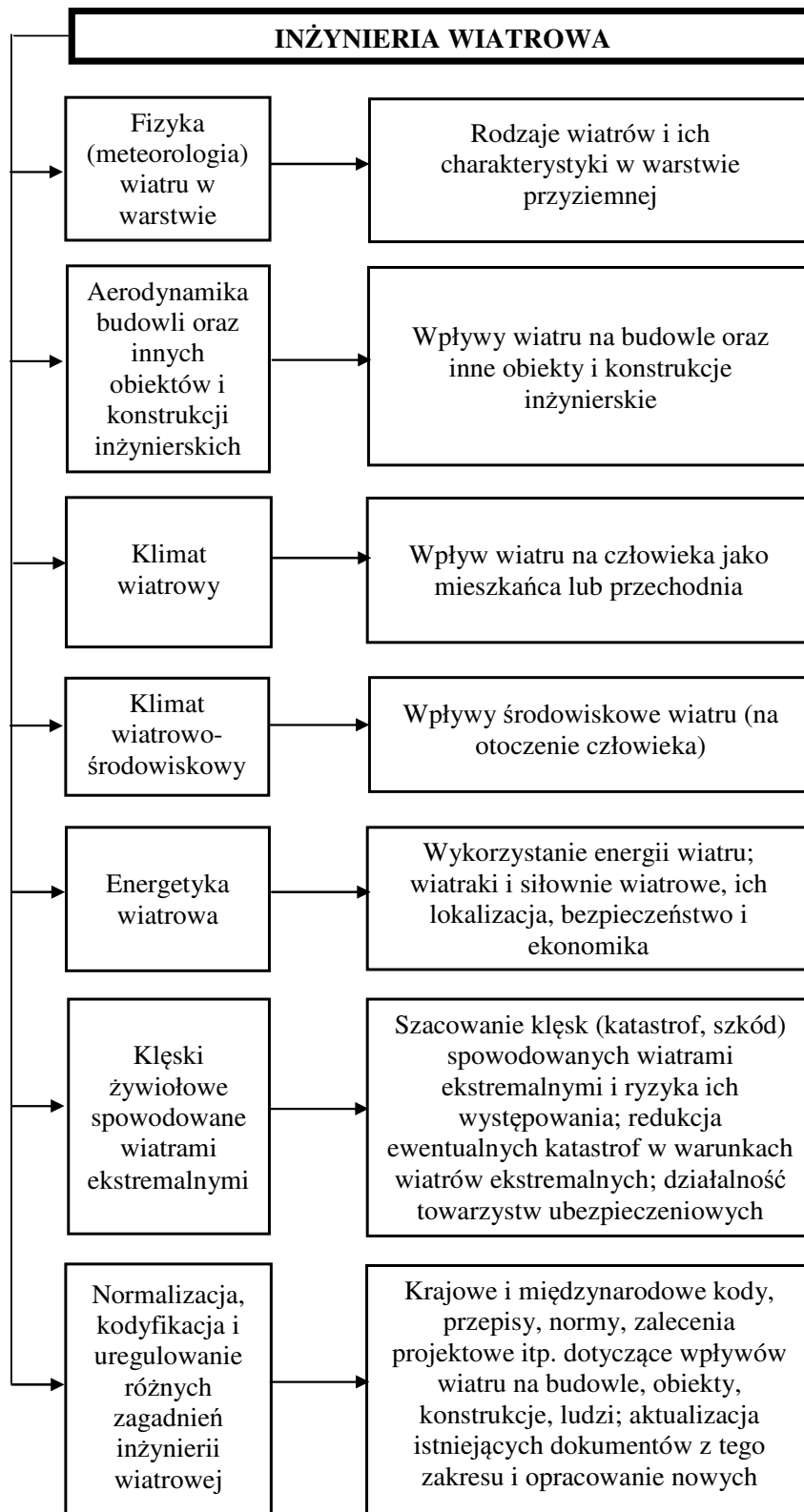


Rys. 4. Współczesne siłownie wiatrowe w różnych częściach świata (na podstawie folderów firm Nordtank Micon)

W inżynierii wiatrowej mają zastosowania wybrane działy następujących dyscyplin naukowych: meteorologii, aerodynamiki, mechaniki budowli, wiatroenergetyki, badań eksperymentalnych w skali naturalnej i laboratoryjnej (w tunelach aerodynamicznych), teorii procesów i zmiennych losowych, statystyki, teorii symulacji pól turbulentnych, obliczeniowej (komputerowej) dynamiki płynów, teorii bezpieczeństwa i niezawodności budowli i konstrukcji, analizy i szacowania ryzyka (hazard wiatrowy), medycyny (kryteria komfortu mieszkańców i przechodniów) i inne.

W inżynierii wiatrowej w ogóle, a szczególnie przy wyznaczaniu oddziaływań aerodynamicznych na budowle i konstrukcje, zwykle stosowane są następujące grupy metod:

- normowe (nominalne), zgodne z normami (standardami), przepisami, zaleceniami i dokumentami normalizacyjnymi (kodami);
- w pełni obliczeniowe (analityczne lub numeryczne), według znanych modeli matematycznych określających oddziaływanie wiatru i przy znanych parametrach tych modeli (np. współczynnikach aerodynamicznych);
- półempiryczne, według znanych modeli matematycznych określających oddziaływanie wiatru lecz nieznanymi parametrach tych modeli, które trzeba wyznaczyć doświadczalnie;
- empiryczne, na podstawie doświadczeń *in situ* lub w tunelu aerodynamicznym.



Rys. 5. Ogólna klasyfikacja (działy) współczesnej inżynierii wiatrowej

Metody normowe dotyczą przypadków prostych, typowych, bez interferencji aerodynamicznej (budowla odosobniona), oraz przypadków takich gdy oddziaływanie wiatru ma znaczenie drugorzędne, szacuje się je zgrubnie, z zapasem, stosując znaczne uproszczenia.



Oddziaływanie wiatru na budowle i konstrukcje specyfikowane w normach, kodach itp. są oparte zwykle na badaniach modelowych w tunelach aerodynamicznych, częściowo weryfikowanych w naturze. Wartości normowe oddziaływania wiatru mogą i na ogół znacząco odbiegać od tych jakie otrzymuje się w badaniach modelowych, czy w skali naturalnej. Główną przyczyną jest tu interferencja aerodynamiczna danej budowli czy konstrukcji z sąsiadującą zabudową, w wyniku której np. profil średniej prędkości wiatru, czy też charakterystyki składowej fluktuacyjnej prędkości wiatru zupełnie nie odpowiadają tym wyspecyfikowanym w normach. Ponadto silnie zależą one od kierunku wiatru, tak jak i charakter sąsiadującej zabudowy zmienia się wraz ze zmianą kierunku napływającego powietrza. Należy także zwrócić uwagę na fakt, że w budowlach rzeczywistych występuje wiele detali konstrukcyjnych i architektonicznych, które mogą znacząco zmieniać rozkłady ciśnień wiatru na ścianach czy dachach budowli. Nie bez znaczenia są tu także warunki meteorologiczne.

I tak np. istotny wpływ na rozkład ciśnień wiatru mogą mieć następujące czynniki: typ naroży, krawędzi i załamania (ostre lub wyokrąglone); obecność attyk i gzymsów; wystawanie elementu o ostrych krawędziach czy narożach poza obrys ścian czy dachu; szorstkość powierzchni ścian, dachu, komina, rurociągu, liny; oblodzenie; duża wilgotność powietrza lub padający deszcz itp. Wszystko to powoduje, że opływ powietrza wokół danej budowli czy konstrukcji, a następnie wynikający stąd rozkład ciśnień wiatru, i dalej, rozkład sił i momentów aerodynamicznych może być i na ogół jest znacząco różny od tego jaki jest wyspecyfikowany w danej normie czy kodzie. Dlatego też niektóre z nich wprost zalecają wykonanie badań w tunelu aerodynamicznym dla budowli (konstrukcji), które:

- mają nietypowy kształt geometryczny;
- mają nietypowe charakterystyki odpowiedzi dynamicznej;
- są położone w śladzie aerodynamicznym budowli nawietrznych lub sąsiadujących;
- dla których pożądane jest bardziej dokładne rozeznanie oddziaływania wiatru (np. budowle czy konstrukcje dla których oddziaływanie wiatru jest oddziaływaniem podstawowym).

Metody obliczeniowe oraz półempiryczne dotyczą również na ogół przypadków prostych, mało skomplikowanych, typowych, dla których znane są modele matematyczne oddziaływania wiatru na budowle czy konstrukcje.

Metody eksperymentalne dotyczą przypadków złożonych, o nietypowej geometrii, nie w pełni rozpoznanych aerodynamicznie, przy silnych wpływach interferencji aerodynamicznej (sąsiadującej zabudowy), przy występowaniu sprzężeń aerodynamicznych (wzajemnego wpływu drgań budowli na jej oddziaływanie wiatru), przypadków budowli szczególnie ważnych, dla których oddziaływanie wiatru jest oddziaływaniem podstawowym (wysokie budynki, mosty wiszące i podwieszane, lekkie kładki dla pieszych, dachy wiszące, przekrycia dużych rozpiętości, kominy, wieże, wiszące rurociągi, maszty itp.) (rys. 6–10).

Metody eksperymentalne stosowane są również chętnie do identyfikacji stref i wartości lokalnych, nadmiernych oddziaływań wiatru. W projektowaniu wielu współczesnych rozwiązań lekkich ścian osłonowych lub różnych systemów pokrycia ścian i dachów, włączając w to szkło i cienkie panele kamienne, konieczne jest przeprowadzenie dokładniejszej analizy lokalnych oddziaływań wiatru. Szczytowe wartości oddziaływań wiatru na ściany i dachy budowli odnoszą się zwykle do małych obszarów ścian czy dachów. Badania w tunelu aerodynamicznym umożliwiają identyfikację tych stref w celu wzmocnienia elementów osłonowych i pokrycia ścian i dachów w tych obszarach i rezygnacji z takiego zabiegu w pozostałych obszarach. W efekcie może to doprowadzić do znacznych oszczędności, jeśli np. uwzględnimy fakt, że ściany osłonowe mogą stanowić w bilansie kosztów dużą część całkowitych kosztów (np. współczesne biurowce). W dodatku koszty napraw odpadnięcia pojedynczego panelu szklanego czy kamiennego (np. blisko wierzchołka wysokiego budynku) mogą być znaczne (spadający element może uszkodzić liczne panele znajdujące się poniżej, które także wymagają wymiany).

W badaniach modelowych stosowane są dwa rodzaje modeli:

- modele sztywne, umożliwiające pomiary ciśnień wiatru na ścianach modelu przy pomocy czujników ciśnienia, oraz pomiary sił i momentów aerodynamicznych przy pomocy wagi aerodynamicznej (rys. 6, 7, 8);



Rys. 6. Model zabudowy wielkomiejskiej wraz z modelem sztywnym wysokiego budynku do badań rozkładu ciśnień wiatru na ścianach budynku, z uwzględnieniem zjawisk interferencji aerodynamicznej, pochodzących od sąsiadującej zabudowy – tunel aerodynamiczny RWI w Guelph (Ontario, Kanada)



Rys. 7. Model stadionu sportowego z nietypowym ruchomym przekryciem (Sky Dome), wraz z sąsiadującą zabudową, do badań rozkładu ciśnień wiatru na przekryciu – tunel aerodynamiczny RWDI w Guelph (Ontario, Kanada)

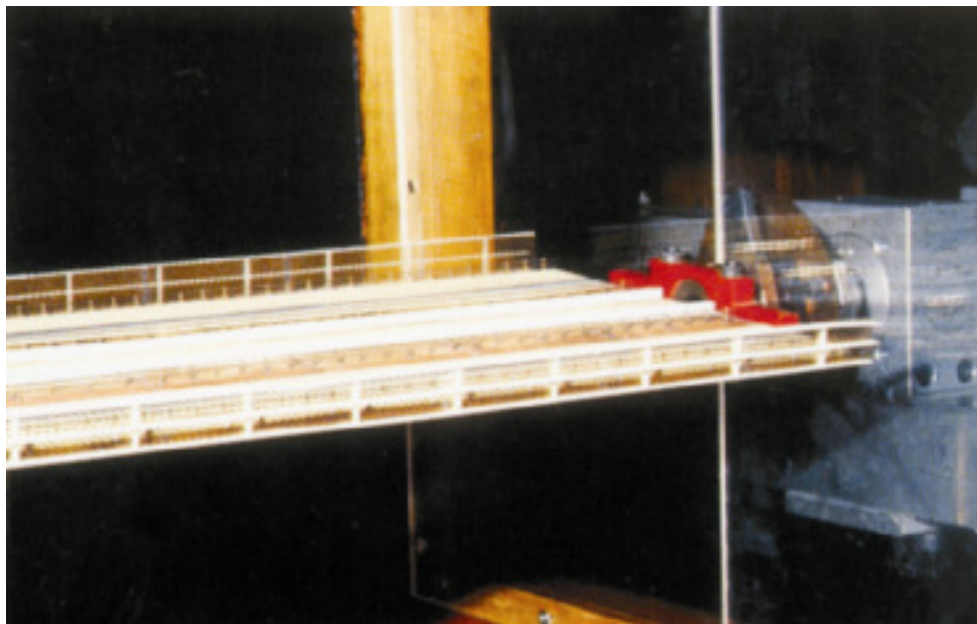
- modele aeroelastyczne (podatne), spełniające odpowiednie kryteria podobieństwa dynamicznego zjawisk, umożliwiające pomiary sił i momentów aerodynamicznych na wadze aeroelastodynamicznej, oraz pomiary odpowiedzi modelu wywołanej wiatrem przy pomocy czujników elektrooporowych, indukcyjnych lub metodami fotogrametrycznymi. Te ostatnie modele będą albo pełnymi modelami elastycznymi (rzadko) albo modelami sztywnymi zamocowanymi elastycznie (na ogół – tzw. modele sekcyjne) (rys. 9 i 10).



Rys. 8. Model chłodni kominowych i sąsiadującej zabudowy (budynki i kominy elektrociepłowni) do badań rozkładu ciśnień wiatru na ścianach chłodni, z uwzględnieniem zjawisk interferencji aerodynamicznej – tunel aerodynamiczny Uniwersytetu w Rio Grande do Sul (Brazylia)



Rys. 9. Model aeroelastyczny głównego przęsła mostu wiszącego (Great Belt East Bridge) w tunelu aerodynamicznym im. Martina Jensena w DMI Lyngby (Dania)



Rys. 10. Model aeroelastyczny sekcji przęsła mostu podwieszonoego – tunel aerodynamiczny DMI w Lyngby (Dania)

## 2. Tunel aerodynamiczny z warstwą przyścienną Politechniki Krakowskiej

### 2.1. Informacje wstępne

Laboratorium Inżynierii Wiatrowej z tunelem aerodynamicznym z warstwą przyścienną, umożliwiającym symulację wiatru w warstwie przyziemnej, zostało zrealizowane w 2001 r.

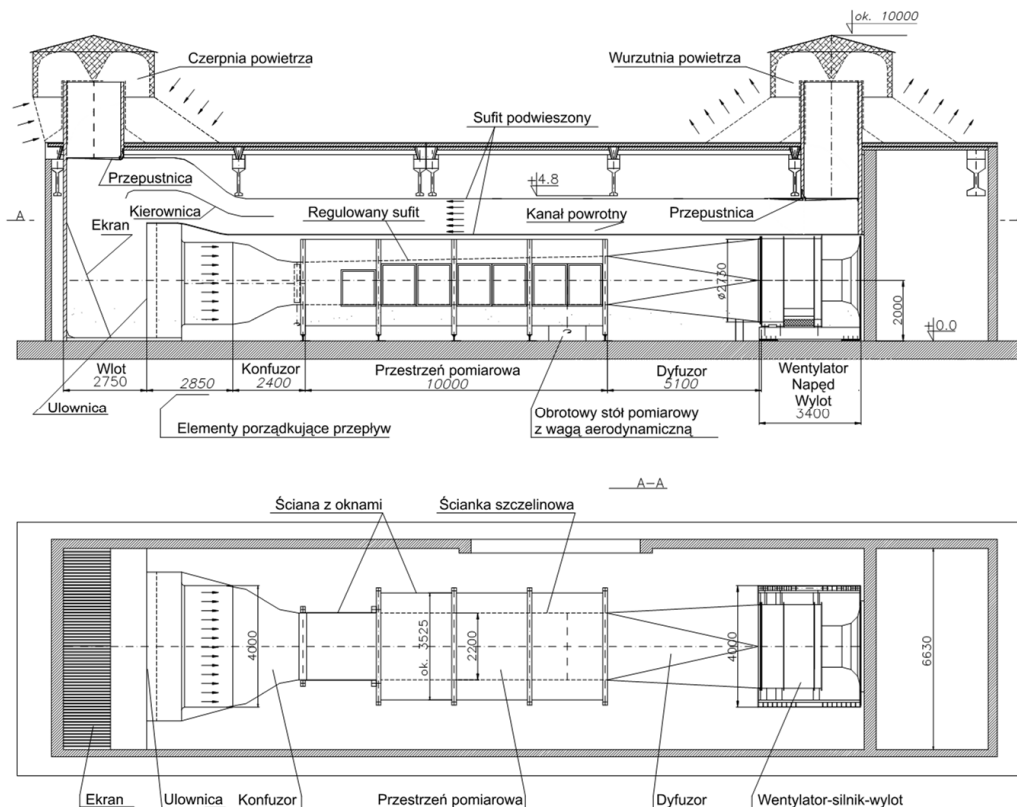
W Laboratorium Inżynierii Wiatrowej realizowane są prace eksperymentalne i obliczeniowe z następujących działów inżynierii wiatrowej [1, 2, 3]:

- fizyka wiatru w warstwie przyziemnej;
- aerodynamika budowli i konstrukcji;
- aerodynamika ruchomych obiektów inżynierskich;
- klimat wiatrowy i wiatrowo-środowiskowy;
- energetyka wiatrowa;
- normalizacja, kodyfikacja i regulowanie różnych zagadnień inżynierii wiatrowej.

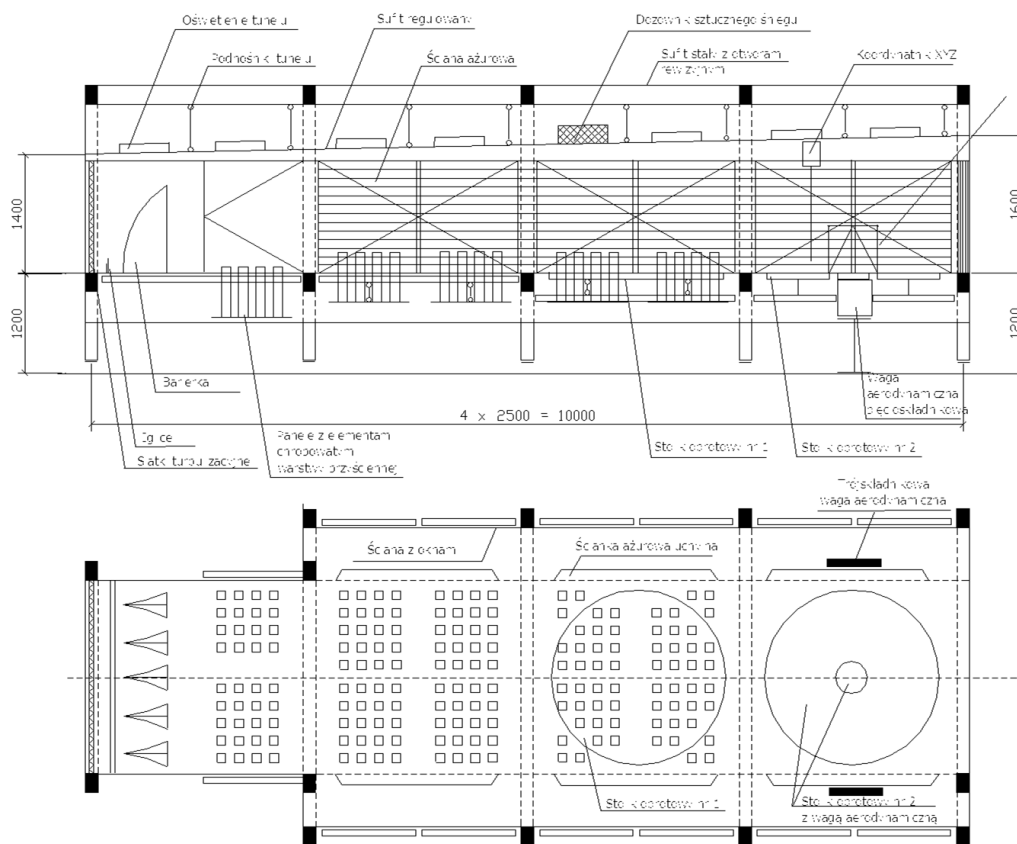
Wymienione działy inżynierii wiatrowej stanowią obszar zainteresowania inżynierów konstruktorów, architektów, urbanistów, specjalistów z dziedziny wentylacji i inżynierii środowiska, inżynierów mechaników i innych.

Podstawowe dane charakteryzujące tunel aerodynamiczny przedstawiono na rys. 11 i 12.





Rys. 11. Widok z boku (a) i z góry (b) tunelu aerodynamicznego.



Rys. 12. Przestrzeń pomiarowa tunelu aerodynamicznego: przekrój pionowy (a), przekrój poziomy (b).

## 2.2. Rodzaj prac eksperymentalnych realizowanych w tunelu aerodynamicznym

Pomiary prędkości przepływu i jego turbulencji (termoanemometry, anemometry skrzydełkowe, sonda grzebieniowa);

Pomiary ciśnienia wiatru w przepływie (sondy ciśnieniowe, sonda grzebieniowa, czujniki ciśnienia);

Pomiary ciśnienia wiatru na ścianach modeli (manometr bateryjny na 100 p.p., dwa moduły czujników ciśnienia wiatru ze skanerami ciśnienia na 64 p.p.);

Pomiary sił i momentów aerodynamicznych działających na cały model lub na sekcję modelu w przepływie płaskim (5-składnikowa waga aerodynamiczna dla modeli pionowych i trójskładnikowa waga aerodynamiczna dla modeli poziomych);

Pomiary drgań modeli aeroelastycznych (akcelerometry, tensometry, czujniki drogi);

Wizualizacja opływu (5-kanałowa dymownica do wizualizacji dymowej oraz sonda grzebieniowa)

Badania symulacyjne obciążenia śniegiem dachów w warunkach opadu i redystrybucji pokrywy śnieżnej (system fotogrametryczny)

Pomiary mocy i momentu obrotowego wirników wiatrowych (urządzenie elektromechaniczne z hamulcem hydraulicznym i magnetycznym).

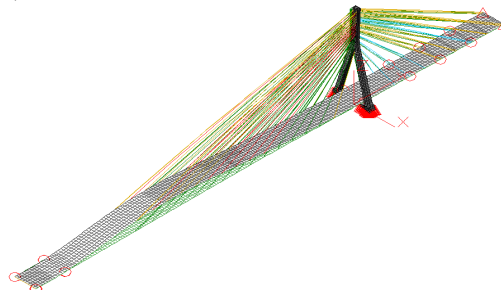
## 3. Wybrane prace naukowo-badawcze zrealizowane w Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej [2, 3, 5, 6, 7, 8]

- 1) Kompleksowe obliczenia aerodynamiczne mostu podwieszonoego im. H. Sucharskiego (obecnie mostu III Tysiąclecia im. Jana Pała II) w Gdańsku, Kraków-Lublin 2000.

a)



b)



Widok mostu (a) i model komputerowy mostu przyjęty w obliczeniach aerodynamicznych (b)

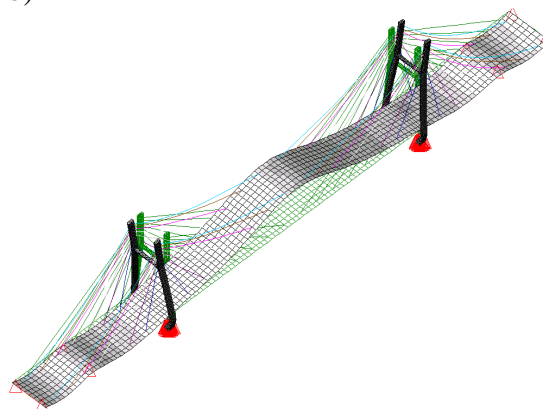
Badania modelowe mostu przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym CSTB w Nantes, Francja. W obliczeniach aerodynamicznych wykorzystano wartości współczynników aerodynamicznych otrzymanych w tych badaniach.

- 2) Kompleksowe obliczenia aerodynamiczne mostu podwieszonoego w ciągu Trasy Siekierkowskiej w Warszawie, Kraków-Lublin 2002 r.

a)



b)



Widok mostu (a) i model komputerowy mostu przyjęty w obliczeniach aerodynamicznych (b)

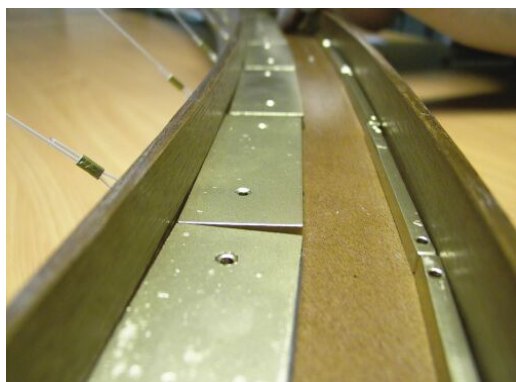
Badania modelowe mostu przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym CSTB w Nantes, Francja. W obliczeniach aerodynamicznych wykorzystano wartości współczynników aerodynamicznych otrzymanych w tych badaniach.

3) Badania interferencji aerodynamicznej dwóch cylindrycznych, dwupłaszczyznowych zbiorników z dachem stałym i pływającym na paliwa płynne, Kraków 2004.

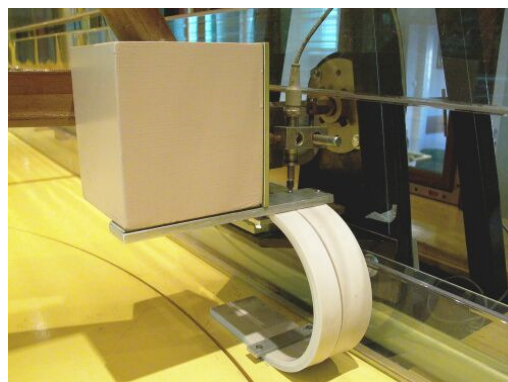


Modele (1:50) zbiorników dwupłaszczyznowych o dachach stałych w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

4) Badania i obliczenia aerodynamiczne kładki dla pieszych nad Drogową Trasą Średnicową w Katowicach, Kraków 2002, 2003.



Rozmieszczenie dodatkowych elementów masowych na pomoście modelu

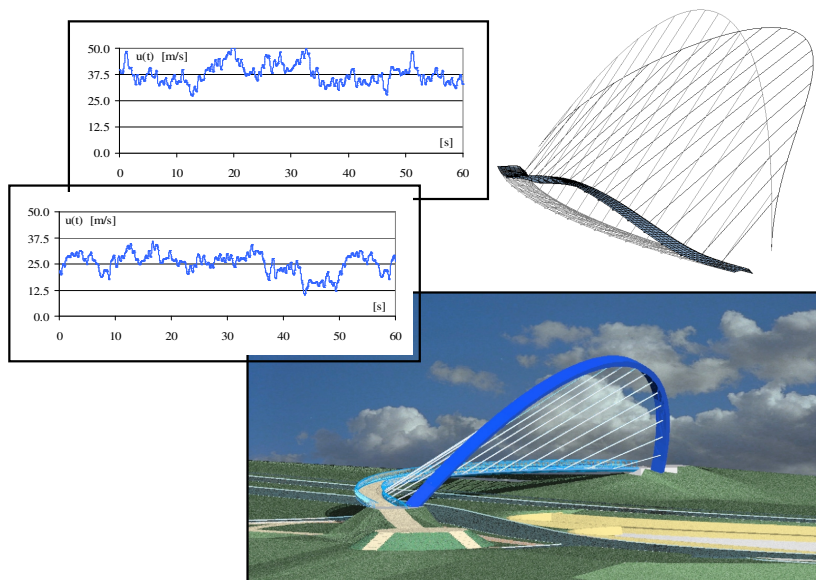


Gumowe elementy tłumiące





Model aeroelastyczny kładki w tunelu aerodynamicznym



Obliczenia aerodynamiczne kładki

- 5) Badania aerodynamiczne oddziaływania wiatru na zadaszanie stadionu żużlowego w Tarnowie, Kraków 2007.

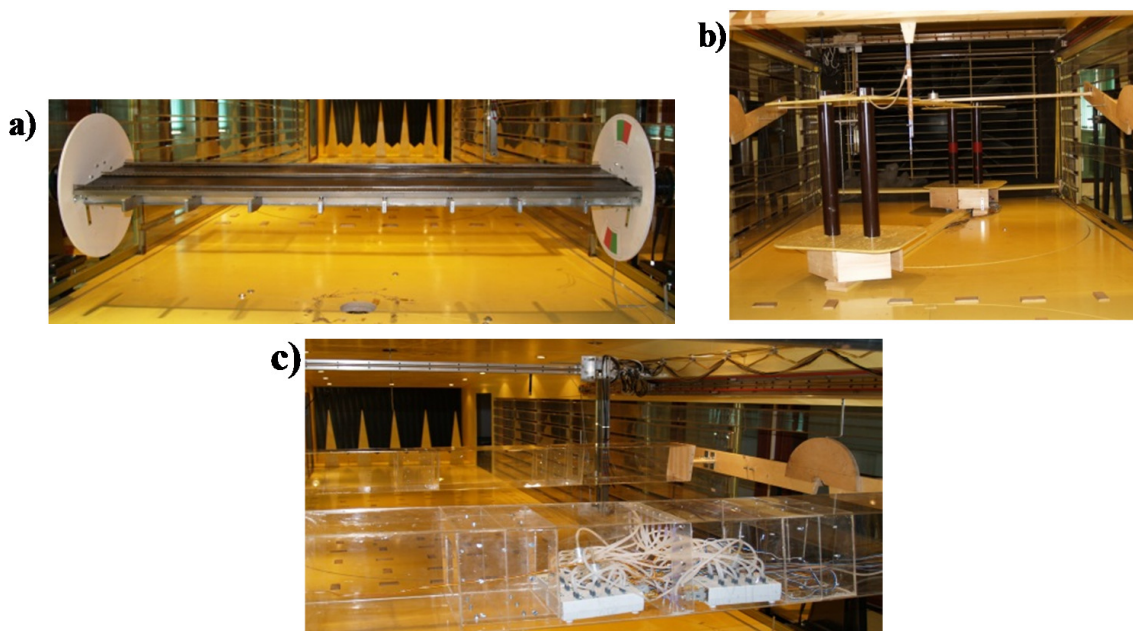


Model (1:200) zadaszania stadionu w Tarnowie w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

- 6) Badania aerodynamiczne oddziaływania wiatru na główne elementy konstrukcyjne mostu łukowego o rozpiętości 215 m przez rzekę Wisłę w Puławach, Kraków 2007.

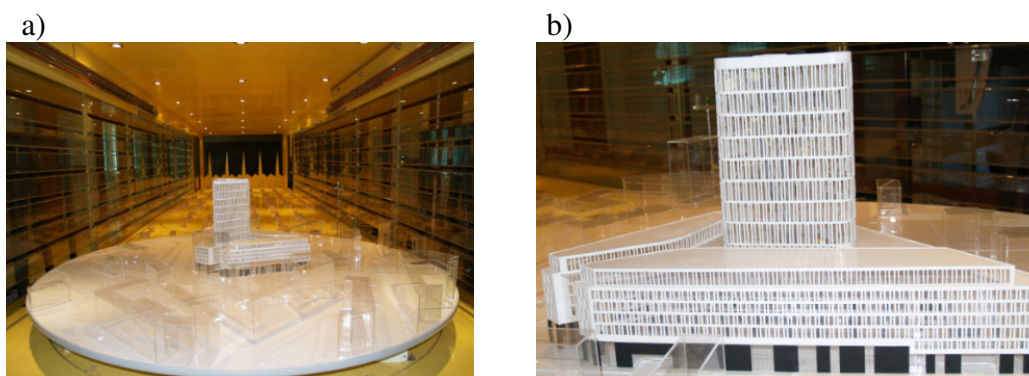


Wizualizacja komputerowa mostu łukowego w Puławach (<http://pomost.com.pl>, [www.mostostal-pulawy.com.pl](http://www.mostostal-pulawy.com.pl))



Modele sekcyjne: przęsła (1:60) (a), łuku nośnego (1:10) (b), wieszaków (1:1) (c) mostu w Puławach w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

- 7) Badania modelowe i analizy studialne oddziaływania wiatru na budynek wysoki przy ul. Puławskiej w Warszawie, Kraków 2008.



Model kompleksu budynków przy ul. Puławskiej w Warszawie wraz z otoczeniem umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego (a) i jego zbliżenie (b)



- 8) Badania modelowe, analizy studialne i obliczenia aerodynamiczne oddziaływania wiatru na wysoki budynek „ALBA TOWER” we Wrocławiu przy ul. Traugutta w warunkach braku i z obecnością drugiego projektowanego w przyszłości budynku wysokiego, Kraków 2008.

a)



b)

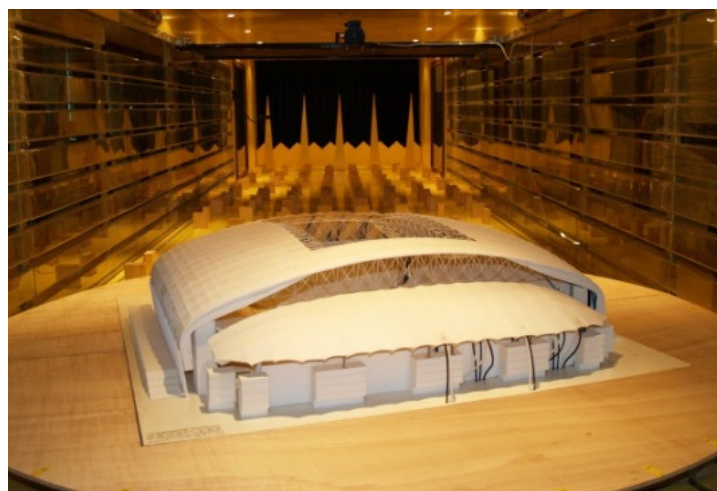


c)



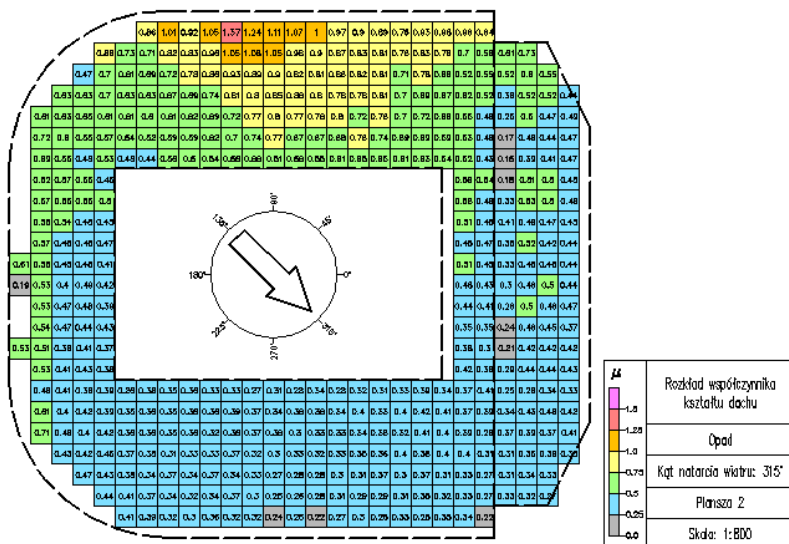
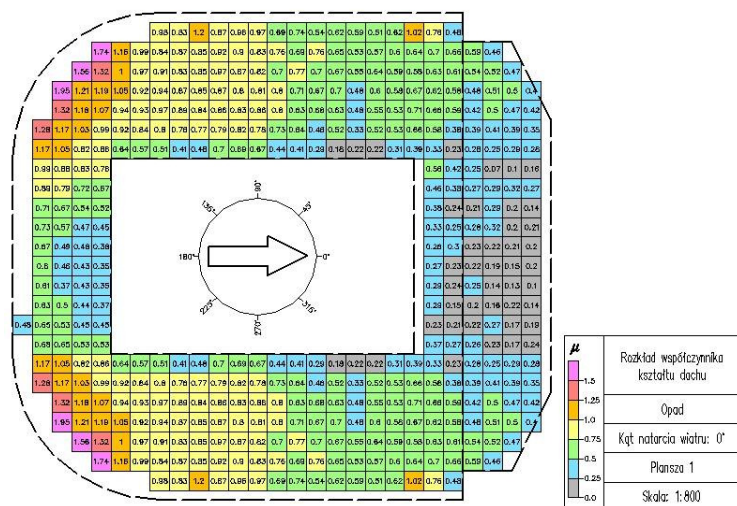
Model budynku ALBA-Tower wraz z otoczeniem umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego w warunkach braku (a) i z obecnością drugiego projektowanego budynku (b, c)

- 9) Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym oddziaływania wiatru i obciążenia śniegiem przekrycia Stadionu Miejskiego w Poznaniu przy ul. Bułgarskiej, Kraków 2008.



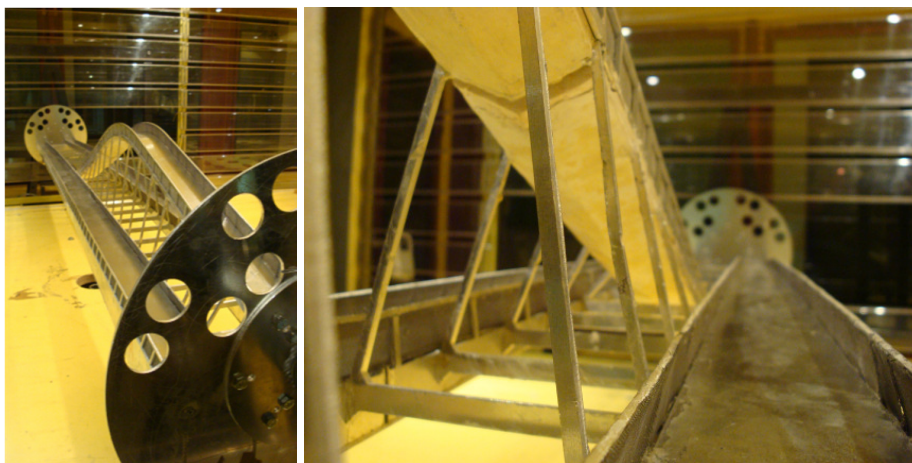
Model stadionu umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego





Rozkład współczynnika kształtu dachu przy dwóch różnych kierunkach natarcia wiatru

#### 10) Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne mostu pieszo-rowerowego przez rzekę Wisłę „Kazimierz-Ludwinów” w Krakowie, Kraków 2009.



Szczegóły konstrukcyjne modeli



Widok całego modelu mostu

11) Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne oddziaływania wiatru na most pieszo-rowerowy „Kazimierz-Podgórze” przez rzekę Wisłę w Krakowie, Kraków 2009.

a)



b)



Widoki całego modelu (a) i modeli sekcyjnych (b) w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

12) Badania oddziaływania wiatru na konstrukcję modelu akwaporyny, Kraków 2009.



Widoki modelu w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

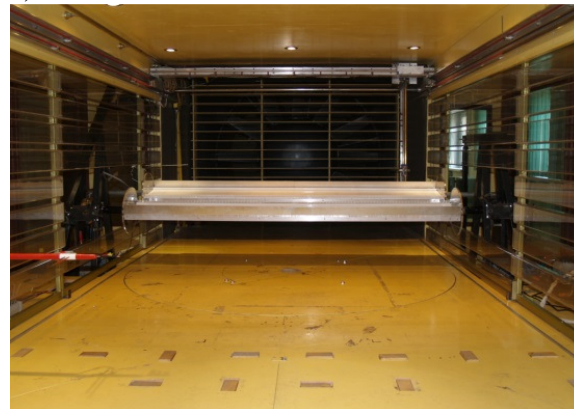


- 13) Badania aerodynamiczne mostu drogowego MD7 bez i z ekranami akustycznymi w ciągu drogi S-7 przez rzekę Wisłę w Krakowie, Kraków 2008, 2010.

a)



b)



Model sekcyjny przęsła mostu bez (a) i z ekranami akustycznymi (b) umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

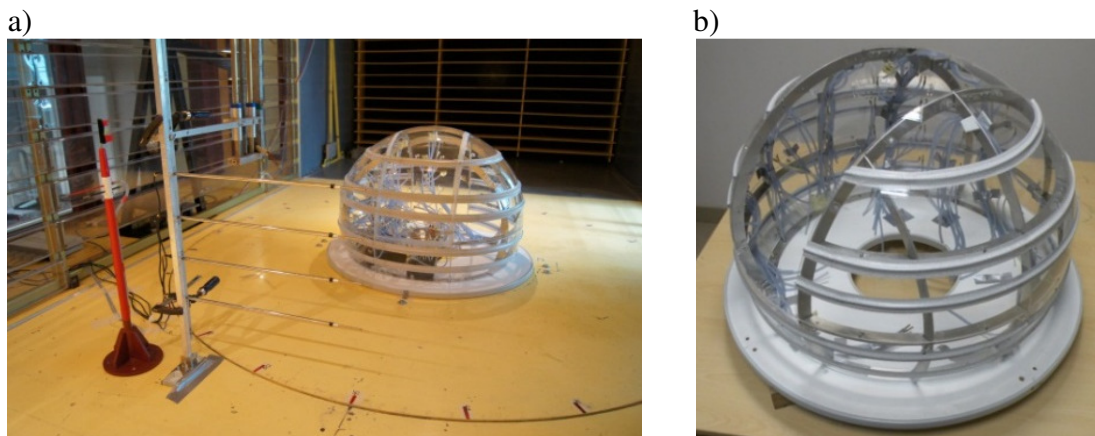
- 14) Wyznaczenie oddziaływania wiatru na okładziny elewacyjne budynku Sky Tower we Wrocławiu, Kraków 2010.



Widok modelu budynku Sky Tower wraz z otoczeniem, umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

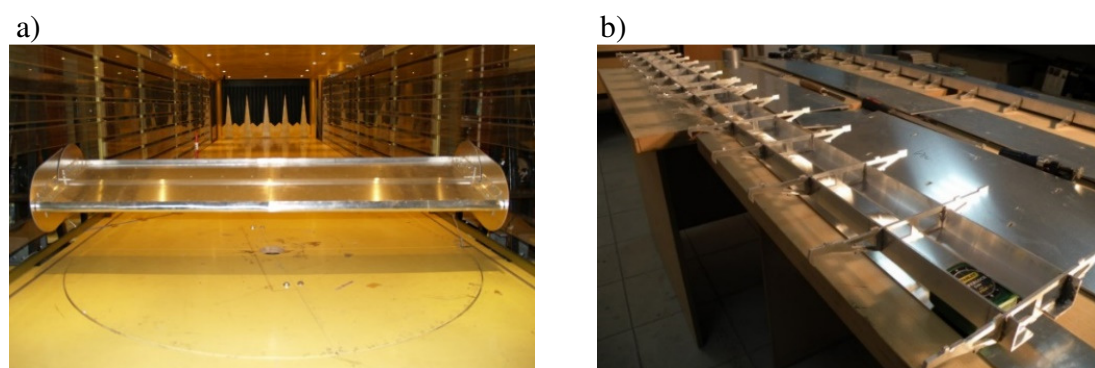


15) Badania modelowe i obliczenia aerodynamiczne kopuł „SCOPEHOME”, Kraków 2010.



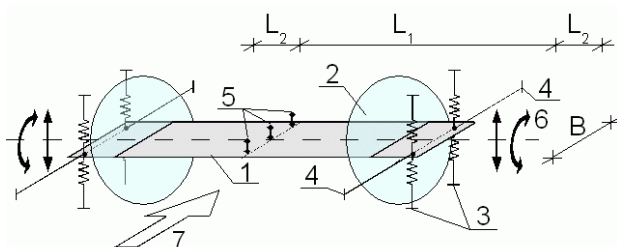
Model kopuły umieszczony na stole obrotowym w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego (a) i jego zbliżenie (b)

16) Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym i obliczenia aerodynamiczne mostu podwieszono MA-21 przez rzekę Odrę w ciągu autostradowej obwodnicy Wrocławia A-8, Kraków 2010.



Model sekcyjny pomostu umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego (a), Widok sekcji przęsła mostu z góry, z zaznaczeniem żeber usztywniających (b)

17) Badania odpowiedzi aerodynamicznej sekcyjnego modelu aeroelastycznego przęsła mostu w różnych konfiguracjach, Kraków 2010.

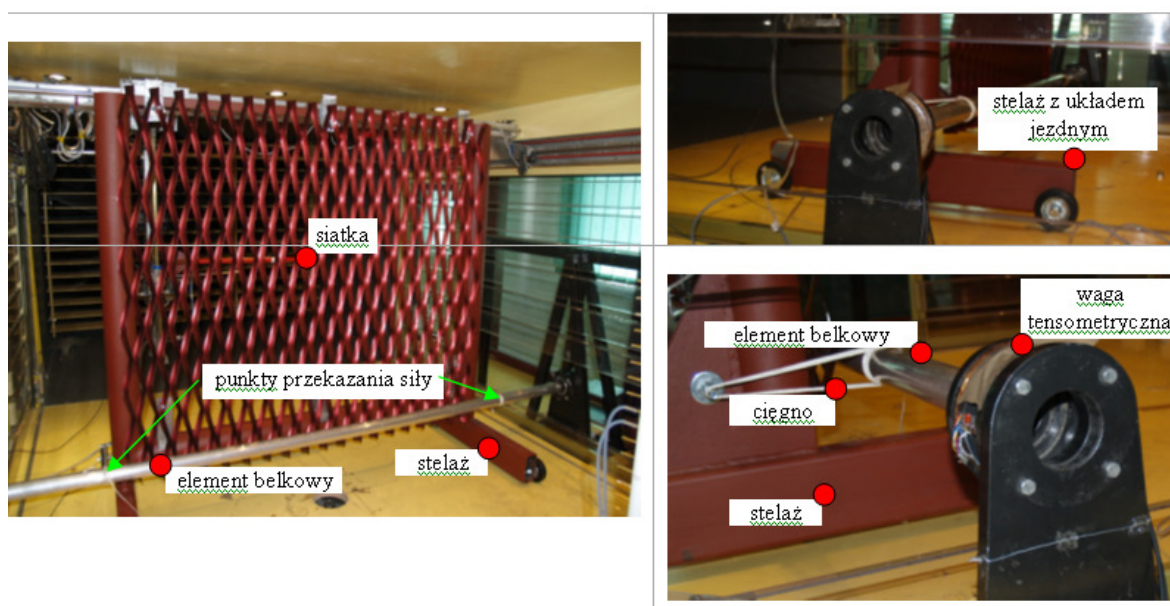


Schemat modelu aeroelastycznego: 1 – płyta nośna modelu; 2 – płyty okrągłe zmniejszające zniekształcenia przepływu na końcach modelu; 3 – sprężyny zawieszenia o regulowanym rozstawie; 4 – cięgna; 5 – akcelerometry; 6 – stopnie swobody (przesuwny pionowy oraz obrotowy)



Opcjonalne elementy zawieszenia i dodatkowe tłumiki gumowe

18) Badania okładzin z siatek cięto-ciągnionych do projektu Stadionu Narodowego w Warszawie, Kraków 2010



Stanowisko pomiarowe w przestrzeni tunelu aerodynamicznego

19) Badania modelowe obciążenia śniegiem dachów hali głównej i treningowej hali widowiskowo-sportowej Kraków-Czyżyny, Kraków 2012.



Widok modelu hali głównej i treningowej umieszczony w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego



- 20) Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym i analizy studialne oddziaływań wiatru dla projektowanego budynku wysokościowego u zbiegu al. Jana Pawła II i ul. Grzybowskiej w Warszawie, Kraków 2013.



Model budynku wraz z otoczeniem interferencyjnym w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

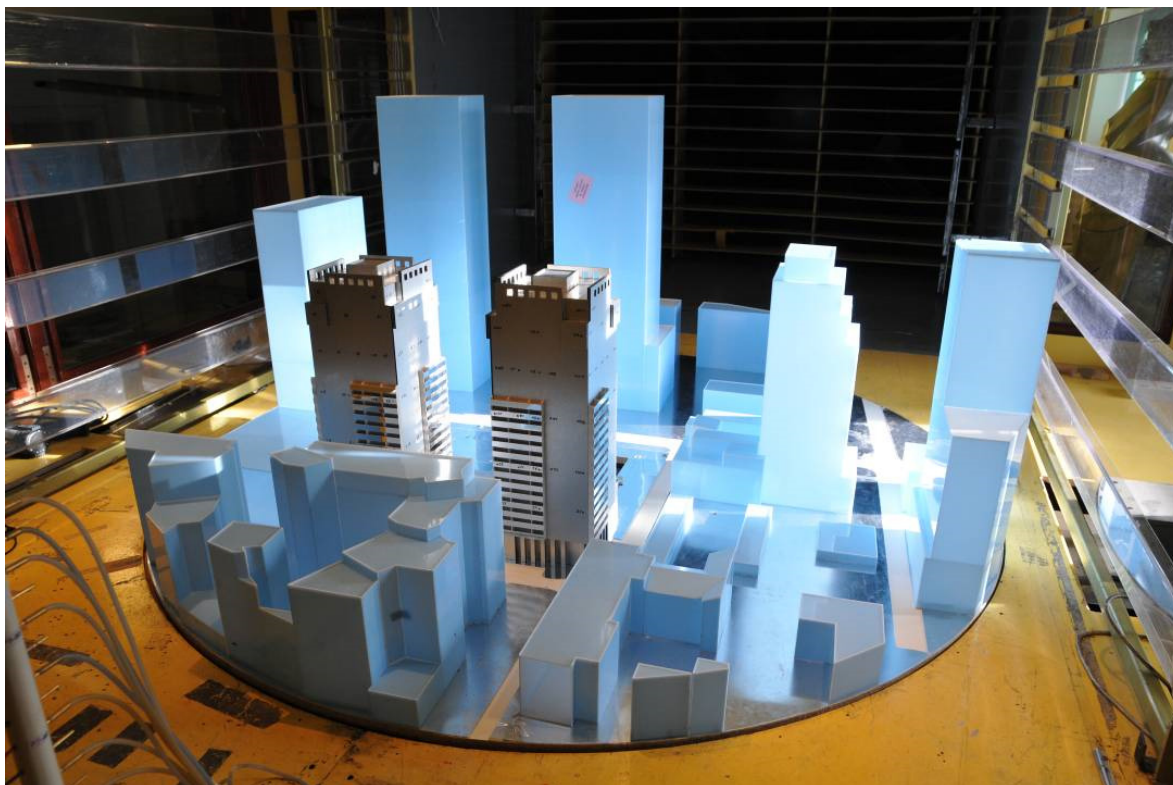
- 21) Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym oddziaływania wiatru i obciążenia śniegiem przekrycia Stadionu Miejskiego w Łodzi, Kraków 2012.



Widok modelu stadionu wraz z otoczeniem w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego



22) Wpływ projektowanego budynku wysokościowego przy ul. Grzybowskiej w Warszawie na dwa inne sąsiadujące z nim budynki o nazwie Platinum Towers, Kraków 2015.



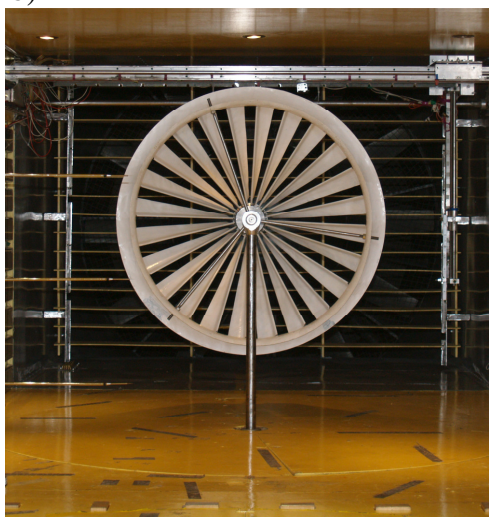
Widok modelu wraz z otoczeniem w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

23) Badania różnych typów wirników wiatrowych.

a)

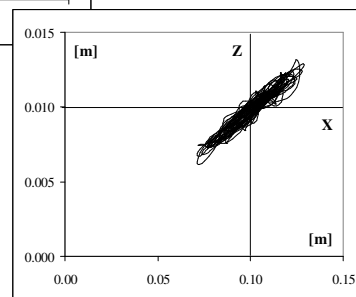
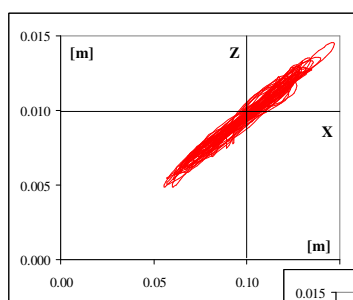
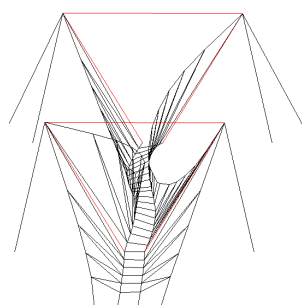
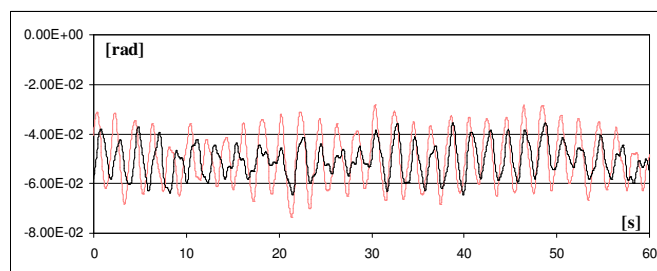
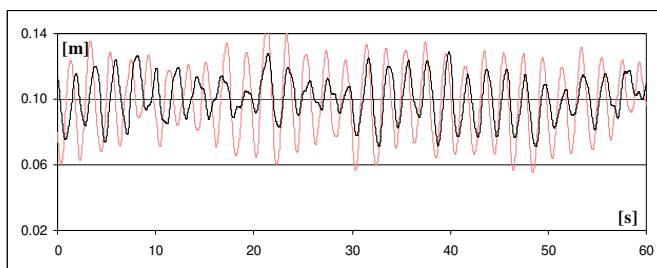


b)



Widoki modeli turbin: o osi pionowej ze sterowanym ruchem łopat (a) i turbiny stożkowej o osi poziomej (b) w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego

24) Obliczenia aerodynamiczne kładek dla pieszych w: Myślenicach, Piwnicznej, Tropiu, Tylmanowej.



### Literatura

1. Flaga A. Laboratorium Inżynierii Wiatrowej z tunelem aerodynamicznym, Politechnika Krakowska, Kraków 1999.
2. Flaga A. Nowe trendy w inżynierii wiatrowej i aerodynamice budowli, Politechnika Lubelska, Lublin 2004.
3. Flaga A. Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania, Arkady Warszawa 2008.
4. Windstrom, A publication of the Munich Reinsurance Company, 1990.
5. Flaga A. i in. Eksperymentalne wspomaganie projektowania przy wpływach środowiskowych na budowle i ludzi, Polskie Stowarzyszenie Inżynierii Wiatrowej, Kraków 2011.
6. System Aerodynbud i jego zastosowania w aerodynamice budowli i inżynierii wiatrowej, edytorzy Flaga A., Lipecki T. Politechnika Lubelska, Lublin, Polskie Stowarzyszenie Inżynierii Wiatrowej, Kraków 2011.
7. Flaga A. Mosty dla pieszych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
8. Flaga A., Błazik-Borowa E., Podgórski J. Aerodynamika smukłych budowli i konstrukcji prętowo-cięgnowych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.

### **THE ROLE OF MODEL TESTS IN WIND TUNNELS IN PREVENTING OF DISASTERS AND DAMAGES OF BUILDINGS AND STRUCTURES CAUSED BY WIND**

**Abstract:** The paper presents a general characteristics of contemporary issues of wind engineering and a role of model tests in wind tunnels to prevent disasters and damages of buildings and structures caused by wind. Moreover, selected model tests carried out in wind tunnel of the Wind Engineering Laboratory at the Cracow University of Technology have been presented.

**Keywords:** Wind engineering, model tests, wind tunnel.