

# Katarzyna Zielonko-Jung

---

## Zjawiska aerodynamiczne a kształtowanie budynków i przestrzeni miejskich

---

Problemy Rozwoju Miast 7/4, 43-54

---

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## ZJAWISKA AERODYNAMICZNE A KSZTAŁTOWANIE BUDYNKÓW I PRZESTRZENI MIEJSKICH

**Abstrakt.** Jedną z charakterystycznych cech współczesnej cywilizacji jest tzw. transfer technologii, czyli przenikanie technologii tworzonych i eksploatowanych przez określone dziedziny przemysłu na inne pola. Przykładem na polu budownictwa jest wykorzystanie badań układów aerodynamicznych, powstających pod wpływem zderzenia mas powietrza z budynkami. Wywołują one określone efekty atmosferyczne w przestrzeniach miejskich, np. gwałtowne zawirowania i przyspieszanie wiatru, zastoje mgły, oraz mają kluczowe znaczenie dla przewietrzania miast.

Artykuł jest próbą zaprezentowania, w jakim zakresie możliwe jest wykorzystanie wiedzy na temat zjawisk aerodynamicznych na potrzeby architektury i urbanistyki. Przedstawia także metody badawcze zarezerwowane dotychczas dla przemysłu lotniczego czy motoryzacyjnego, pozwalające na analizę układów aerodynamicznych, jakie tworzą się wokół budynku w relacji z zabudową sąsiadującą. Wykorzystano światowe przykłady budynków projektowanych w ostatnich latach, w przypadku których badania aerodynamiczne miały istotny wpływ na proces ich projektowania, oraz badania przeprowadzone we współpracy Wydziału Architektury i Wydziału Energetyki i Lotnictwa PW w ramach seminarium studenckiego Aerodynamika w architekturze. Wnioski końcowe dotyczą konieczności współpracy interdyscyplinarnej w projektowaniu budynków i układów urbanistycznych oraz wypracowania narzędzi wspomagających pracę architektów, jako niezbędnych warunków tworzenia architektury zrównoważonej – efektywnej pod względem ekologicznym, ekonomicznym i użytkowym.

**Słowa kluczowe:** aerodynamika, architektura, przewietrzanie miast, energia wiatrowa.

Jedną z charakterystycznych cech współczesnej cywilizacji jest tzw. transfer technologii, czyli przenikanie technologii tworzonych i eksploatowanych przez określone dziedziny przemysłu na inne pola. Praca nad innowacyjnymi rozwiązaniami staje się tym samym działaniem interdyscyplinarnym, łączącym wiedzę z różnych dziedzin. Przykładem działań na polu budownictwa jest wykorzystanie badań aerodynamicznych przy kształtowaniu różnych form architektonicznych i urbanistycznych, poddawanych działaniu wiatru.

### **Znaczenie zjawisk aerodynamicznych dla architektury i urbanistyki**

Każdy budynek o określonej formie i orientacji względem stron świata, usytuowany w określonych warunkach urbanistycznych, infrastrukturalnych i biologicznych, stanowi niepowtarzalny układ przepływu energii i materii między nim a otoczeniem. Planowanie budynku lub zespołu budynków, prowadzone na poziomie urbanistyki, czyli określenia ich skali, wysokości, linii zabudowy, kształtu planu, formy, jej relacji do otaczającej struktury urbanistycznej i innych, jest równocześnie pierwszą koncepcją kształtowania wzajemnych

oddziaływań ich struktury i środowiska naturalnego. Dlatego rzetelna analiza danych, istniejących uwarunkowań lokalizacji (np. warunki nasłonecznienia, wiatru, układ zabudowy sąsiadującej) oraz późniejsze badania, w jaki sposób projektowany budynek na nie odpowiada i w jaki sposób je zmienia, są podstawą projektowania w ogóle, a w szczególności gdy dążymy do rozwiązań „zrównoważonych” środowiskowo, np. niskoenergochłonnych czy ekonomicznych pod względem zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych. W przypadku budynków drobnych, np. jednorodzinnych, można polegać na doświadczeniu i intuicji projektantów, wspomaganym wiedzą zapraszanych odpowiednio wcześniej do współpracy specjalistów. Im większy i bardziej złożony funkcjonalnie i przestrzennie budynek, tym proces projektowania i optymalizowania jego formy jest bardziej złożony i wymaga większych nakładów środków i wiedzy. Dotyczy to wielu zagadnień związanych z oddziaływaniem planowanej zabudowy na środowisko naturalne.

Badania aerodynamiczne są przydatne w ocenie następujących zjawisk (Zielonko-Jung 2009:4):

- ruchów mas powietrza w skali urbanistycznej; należy je badać zarówno w przypadku projektowania kompleksu budynków, jak i uzupełniania istniejącej struktury budynkiem nowym; analiza aerodynamiczna pozwala ocenić, na ile istniejąca zabudowa oraz inne elementy danej lokalizacji (np. drzewa, powierzchnie zielone) zmieniają strukturę naturalnych czynników klimatycznych; do najczęściej występujących, uciążliwych problemów należy np. efekt dyszy, który występuje w szczelnie zabudowanych ciągach ulic, zawirowania powietrza wynikające ze zderzania się mas powietrza z dużymi powierzchniami lub załamaniem powierzchni budynku (oba zjawiska są szczególnie uciążliwe, jeśli występują na poziomie przechodniów) oraz zastoje powietrza w zbyt ciasnych i zamkniętych wnętrzach urbanistycznych;
- możliwości przewietrzania przestrzeni zurbanizowanych w skali kwartałów, dzielnic i fragmentów miasta; poprzez kształtowanie układu przestrzeni zabudowanych i ciągów terenów otwartych można dążyć do uzyskania efektywnej wymiany powietrza i eliminacji zanieczyszczeń; są one także możliwe w układzie pionowym, jako system kominów przewietrzających;
- rozkładu ciśnień (parcia, ssania), działających na poszczególne fragmenty obudowy budynku; ich pomiar i rozpoznanie charakterystyki rozkładu ich wartości pozwala określić parametry konstrukcyjne budynku i jego obudowy; może także wskazać najbardziej kłopotliwe strefy bądź dać impuls do optymalizacji formy budynku (np. zmniejszenie stref najbardziej obciążonych poprzez odpowiednie zakrzywienie powierzchni, eliminację załamania powierzchni); w przypadku budynków szczególnie narażonych na działanie dynamicznych sił wiatru, np. wysokościowych, czy specjalnych zadacheń wielkoprzestrzennych (stadiony, amfiteatry) badania tego rodzaju są niezbędne;
- możliwości wykorzystania sił wiatru do naturalnego przewietrzania budynku; optymalizując jego formę (obrys, kształt dachu) oraz układ jego przestrzeni wewnętrznych (atria, przestrzenie buforowe elewacji, kominy słoneczne) można wprowadzić wentylację naturalną, także poprzeczną, która prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na działanie systemów mechanicznych; badania także są szczególnie przydatne dla

budynków wysokich i o głębokich traktach; są bardzo złożone, gdyż wymagają zbadania przepływu powietrza wewnątrz budynku w różnych układach otwierania okien i innych otworów wentylacyjnych;

- możliwości wykorzystania energii wiatru dzięki turbinom zespolonym z budynkiem o znacznej wysokości; badania prowadzą do optymalizacji formy budynku, tak by zmaksymalizować i ukierunkować siły wiatru, by turbiny mogły działać najbardziej efektywnie; na razie powstało kilka prototypowych projektów, które oczekują na realizację lub są w jej trakcie.

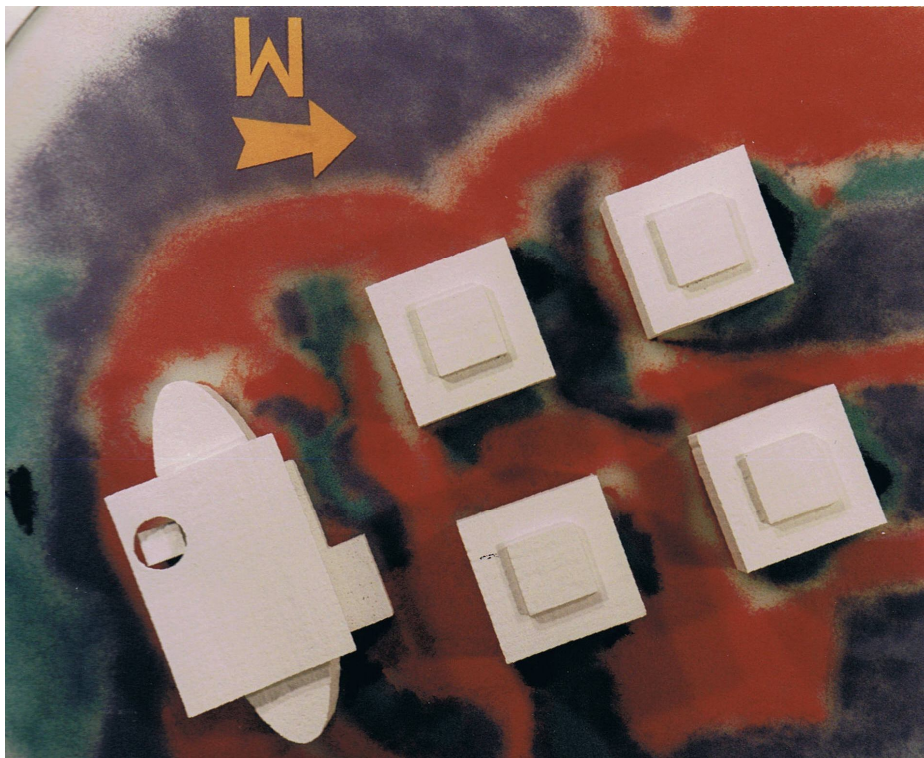
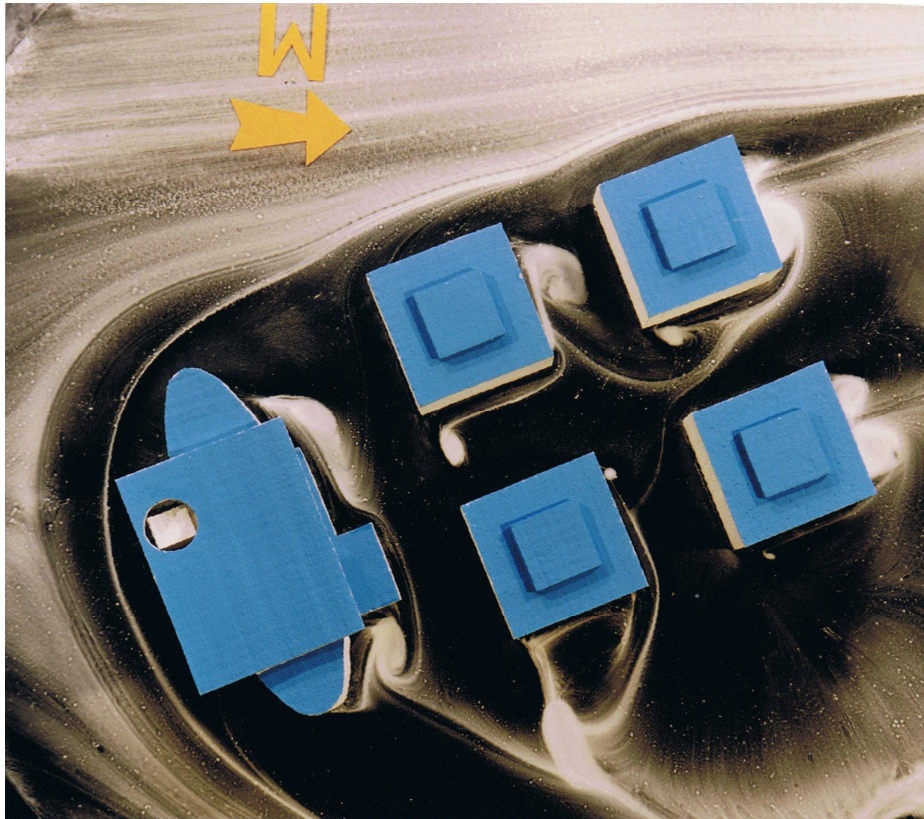
### **Metody badawcze**

Analiza układu aerodynamicznego budynków dotyczy zjawisk zmiennych, zależnych od wielu nieprzewidywalnych czynników. Struktura zawirowań powietrza powstających wokół budynku na skutek zderzenia mas powietrza z jego formą jest bardzo złożona i nie do końca wyjaśniona teoretycznie. Dlatego też tradycyjne metody obliczeniowe, wystarczające w przypadku badania obciążeń statycznych, nie są skutecznym narzędziem w tym zakresie. Konieczne jest przeprowadzenie badań doświadczalnych lub zaawansowanych symulacji komputerowych.

Największe możliwości i najbardziej miarodajne wyniki dają badania w tunelu wiatrowym. Model budynku wraz z układem zabudowy sąsiadującej i najistotniejszymi elementami otoczenia (zwarta zieleń, zróżnicowanie poziomów terenu) umieszczany jest w tunelu i poddawany działaniu strumienia powietrza symulującego wiatr, przy czym w przedpolu umieszczane są tzw. turbulizatory, czyli elementy odtwarzające profil prędkości wiatru w warstwie przyziemnej. Model jest obracany, aby symulować działanie wiatru z różnych kierunków. Wielkość skali badanego modelu zależy od wielkości tunelu. Największe, a co za tym idzie najdokładniejsze tunele osiągają wielkość budynków i pozwalają na badanie modeli znacznej wielkości oraz prototypów elementów budynków w skali 1:1.

Badania mogą polegać na obrazowaniu zjawisk aerodynamicznych poprzez wprowadzenie znacznika, który uwidacznia ruchy powietrza wokół budynków i ich zmiany w czasie. Jedną z metod jest pomalowanie podstawy modelu olejem zabarwionym na kolor kontrastujący z kolorem podstawy. Pod wpływem oddziaływania strumienia powietrza olej przesuwa się, a miejsca jego rozrzedzenia i zagęszczenia „rysują” na powierzchni podstawy (terenu) ślady odpowiadające zachodzącym zjawiskom (zawirowania, szczególnie duże siły, zastoje). Metoda ta daje obraz zjawisk zachodzących na poziomie przyziemia budynków (ryc. 1a). Sekwencja fotografii lub film wykonywany prostopadle do podstawy modelu pokazuje przebieg zjawisk.

Do badania większych układów urbanistycznych w stosunkowo drobnej skali można zastosować metodę piaskową. Płaszczyzna modelu jest pokrywana precyzyjnie warstwami piasku barwionego na różne kolory. Strumienie powietrza powodują erozję piasku, a kolejno odsłaniające się warstwy obrazują zjawiska przepływowe na badanym terenie (Daniels 1999:1). Metoda ta w bardzo plastyczny sposób uwidacznia strefy o zróżnicowanej intensywności przewietrzania terenu i lokalnego komfortu wiatrowego (ryc. 1b).



**Ryc. 1. Wizualizacja zjawisk aerodynamicznych występujących wokół przykładowego zespołu budynków, uzyskana za pomocą (a) próby olejowej i (b) saltacji piasku**  
Z archiwum Zakładu Aerodynamiki WMEiL PW (autor zdjęć Piotr Lewucki)

W określonych przypadkach można wykorzystać tunel wodny, gdzie jako znacznik służą np. bardzo drobne trociny. Za ich pomocą można wyraźnie wyodrębnić rysunek wirów, które analogicznie do tych powietrznych wytwarzają się przy opływaniu badanego obiektu przez wodę. Metoda ta sprawdza się jednak głównie w przypadku pojedynczego obiektu lub jego elementu i raczej nie jest stosowana do układów zabudowy.

Bardziej skomplikowaną, ale niezwykle obrazową i efektowną metodą jest wykorzystanie znacznika w postaci dymu, który wprowadzany jest do tunelu wiatrowego (Daniels 1997:2). Jego przemieszczanie pod wpływem podmuchów powietrza wizualizuje procesy aerodynamiczne zachodzące wokół układu budynków, a nawet w przypadku dokładniejszej skali i specjalnego wykonania modelu wewnątrz struktury budynku. Otrzymany obraz w przeciwieństwie do opisanych wyżej jest trójwymiarowy, a więc pokazuje przebieg zjawisk także w układzie pionowym, co jest szczególnie ważne dla budynków o znacznej wysokości. Zapis fotograficzny czy filmowy pozwala go utrwalić z uwzględnieniem czynnika czasu.

Wymienione wyżej metody nie mają charakteru ilościowego, a jedynie jakościowy i pozwalają na ogólne rozpoznanie charakteru zachodzących zjawisk w zależności od prędkości i kierunku wiatru. Dokładniejsze badania, dające pomiar odpowiednich wartości ciśnień, odbywają się podczas prób bez znaczników, z udziałem systemu czujników ciśnienia umieszczanych w wielu miejscach na ścianach modelu lub na powierzchni terenu. Uzyskane w ten sposób wyniki liczbowe stanowią podstawę szczegółowych decyzji projektowych, np. optymalizacji konstrukcyjnej, korygowania kształtu budynku, wyboru rozwiązań elewacyjnych.

Tunele aerodynamiczne pozwalają na analizę coraz większej ilości danych (nie tylko przepływów, ale i m.in. temperatury, wilgotności powietrza, konwekcji i radiacji ciepła) i w coraz większym stopniu mogą odtwarzać realne warunki otoczenia. Oprócz badań na makietach za przyszłościowe uznaje się techniki *non-contact* z wykorzystaniem technik laserowych (np. dopplerowskich anemometrów laserowych *LDV*), które przyniosły dalszy postęp w dokładności pomiarów przepływu powietrza. Analizy doświadczalne wspierane są innymi technikami, np. przez kamery termowizyjne, które rejestrując zmiany temperatury wokół budynku, obrazują charakter ruchów powietrza wokół niego.

Oprócz metod doświadczalnych stosuje się także programy komputerowe, symulujące oddziaływanie wiatru na budynek lub układ budynków. Do najbardziej popularnych programów stworzonych w tym celu należy program *Fluent* oraz bazujący na nim przystosowany dla budownictwa *Airpak*. Do analizy przepływu powietrza w poszczególnych pomieszczeniach pomocny jest program *Tass*, który w kombinacji z programem *Comis* lub *Trnflow* pozwala na symulacje wentylacji poprzecznej przez strukturę budynku (Hausladen, de Saldanha, Liedl, Sager, 2005:3). Pomimo rozwoju technologicznego, doskonalącego możliwości symulacji komputerowych, wciąż badania laboratoryjne dają dokładniejsze i bardziej miarodajne rezultaty. Komputer używany jest często jako wspomaganie metod doświadczalnych, np. jako wstępne rozpoznanie zjawisk lub wskazanie miejsc w budynku czy układzie urbanistycznym, wymagających szczególnej uwagi. Metody komputerowe mogą być wystarczającym narzędziem w przypadku budynków małej i średniej skali, o dość prostych układach przestrzennych. W przypadku budynków wysokich, wysokościowych bądź



niższych, ale o głębokich, trudnych do przewietrzania traktach, konieczna jest weryfikacja symulacji komputerowych testami laboratoryjnymi prowadzonymi na modelu budynku.

Wykaz opisanych powyżej metod wraz ze wskazaniem ich przydatności do projektowania budynków i układów urbanistycznych przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Charakterystyka metod badawczych stosowanych do badania układów aerodynamicznych wokół budynków i w przestrzeniach miejskich**

Metoda badawcza		Faza projektowania	Skala modelu	Przydatność
programy komputerowe		wszystkie fazy – stosownie do badanego problemu	stosownie do fazy projektowania i stopnia szczegółowości problemu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ jako narzędzie architekta (sprawdzanie, porównywanie; potencjał na przyszłość)</li> <li>▪ do prostych budynków małej skali</li> <li>▪ jako wspomaganie metod doświadczalnych</li> </ul>
doświadczenia – wizualizacje	tunel wodny	wczesna w skali budynków, szczegółowa w skali elementów budynków	małe modele, pojedyncze budynki lub elementy	badania ogólnego charakteru zjawisk wokół pojedynczych budynków lub elementów, wizualizacja 2d
	tunel wiatrowy, metoda piaskowa	zaawansowana faza koncepcyjna	małe modele (1:1000, 1:2000), skala urbanistyczna	badania ogólnego charakteru zjawisk w większych układach urbanistycznych (osiedle, kwartał), wizualizacja 2d
	tunel wiatrowy, metoda olejowa	faza koncepcyjna – od wczesnej do zaawansowanej	modele w zależności od wymiarów tunelu i wielkości budynku (1:500, 1:200, 1:100), skala budynku z otoczeniem	badania ogólnego charakteru zjawisk wokół budynków w zestawieniu z zabudową sąsiadującą, wizualizacja 2d
	tunel wiatrowy, metoda dymowa	faza koncepcyjna – od wczesnej do zaawansowanej, faza projektu budowlanego i wykonawczego – stosownie do badanego problemu	stosownie do fazy projektowania i stopnia szczegółowości problemu (od układów urbanistycznych po modele pomieszczeń w budynku)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ badania ogólnego charakteru zjawisk wokół budynków w zestawieniu z zabudową sąsiadującą</li> <li>▪ badania ogólnego charakteru zjawisk wewnątrz budynku</li> <li>▪ wizualizacja 3d istotna dla budynków wysokościowych i szczegółowych badań (wentylacja poprzeczna budynku)</li> </ul>
doświadczenia – pomiary	tunel wiatrowy, czujniki	zaawansowana faza koncepcyjna (optymalizacja formy), faza projektu budowlanego i wykonawczego – stosownie do badanego problemu	średnie i duże modele (także elementy budynku), w zależności od wymiarów tunelu i wielkości budynku	badania szczegółowe dostarczające danych liczbowych (np. optymalizacja konstrukcji, obudowy elewacyjnej, korygowania formy itp.)

Opracowanie własne

### Zakres wykorzystania badań aerodynamicznych w architekturze

Do niedawna związek aerodynamiki i budownictwa był mało zauważalny. Analizę wpływu dynamicznych sił wiatru początkowo uwzględniano jedynie przy projektowaniu budynków szczególnie na nienarażonych, przy czym celem analizy było raczej sprawdzenie, czy przyjęte rozwiązania gwarantują dostateczną wytrzymałość. Obecnie próby wykorzystania analiz aerodynamicznych do budynków są podejmowane coraz częściej i zmienia się ich rola w procesie projektowania. Służą nie tylko do obliczeń konstrukcyjnych, w których należy

uwzględnić siły wiatru, ale stają się elementem wpływającym na decyzje projektowe co do formy budynku, jego rozwiązań przestrzennych, konstrukcyjnych i materiałowych, które w danej sytuacji mogą w optymalny sposób „odpowiedzieć” na wytworzony układ aerodynamiczny. Coraz częściej postawa typu: jak rozwiązać problemy związane z wprowadzeniem do istniejącego układu budynku nowo projektowanego, ustępuje postawie: jak zaprojektować budynek, by ich nie stwarzać. Celem tego rodzaju działań jest zapewnienie trwałości konstrukcji i rozwiązań budowlanych przy możliwie najmniejszych nakładach materiałowych, zapewnienie komfortu wiatrowego użytkownikom przestrzeni miejskich czy coraz częściej, wykorzystanie sił wiatru jako energii wspomagającej użytkowanie budynku.

Sztandarowymi przykładami, w których poszukiwanie optymalnych układów aerodynamicznych stało się inspiracją dla koncepcji architektonicznej są dwa podobne w formie wysokościowce: Akbar Tower w Barcelonie, projektu Jeana Nouvela, oraz wzniesiony niedługo później Swiss Re w Londynie, projektu Normana Fostera. Zwężający się płynnie ku górze cylinder to forma gwarantująca najmniejsze opory powietrza i optymalny układ konstrukcyjny dla budynku poddawanego dynamicznym siłom wiatru. Foster wprowadził do swego projektu spiralne kanały przewietrzające budynek z wykorzystaniem sił wiatru, które są z kolei rozwinięciem idei spiralnych atriów, podjętej kilka lat wcześniej w budynku Commerzbanku we Frankfurcie.

Dwa projektowane w ostatnich latach budynki Pearl River Tower w Guangzhou, Chiny, proj. Skinmore, Owings and Merrill (w trakcie realizacji) oraz Clean Technology Tower w Chicago, USA, proj. Adrian Smith i Gordon Gill Architecture, są z kolei próbą wykorzystania wielkiego potencjału energetycznego, jaki tworzą budynki wysokościowe, poddawane ogromnym obciążeniom od wiatru. Obie te koncepcje zakładają zespolenie turbin wiatrowych z bryłą budynku (pierwszy w szczelinach uformowanych w bryle, drugi w przestrzeni dwuwarstwowej elewacji). Studia aerodynamiczne stały się punktem wyjścia procesu projektowania od jego początkowych faz.

Przykład budynku Tchibo Holding w Hamburgu (proj. Burgin Nissen Wentzlaff) jest z kolei dowodem na celowość korzystania z analiz aerodynamicznych na potrzeby budynków średniowysokich. Jednym z głównych założeń projektu było osiągnięcie warunków naturalnego wentylowania budynku przez możliwie duży procent dni w roku. Sześciokondygnacyjny budynek zaprojektowany został na planie dwóch przenikających się trójkątów. Aby wentylacja położonych na obwodzie zewnętrznym pokoi biurowych była skuteczna, przestrzeń wewnętrzną rozwiązano jako dwa powiązane ze sobą przeszklone od góry atria. Testy w laboratorium aerodynamicznym pozwoliły zbadać skuteczność tego założenia przestrzennego oraz zoptymalizować wybrane elementy, np. odległości względem zabudowy sąsiadującej, kształt i relacje wysokości dachów w projektowanym budynku, system otwierania okien w elewacji i w przeszkleniach dachowych, system zacieniający elewacji.



## Doświadczenia dydaktyczne

Eksperymentalne badanie układów aerodynamicznych występujących wokół budynków może być przydatnym narzędziem dydaktycznym w procesie kształcenia studentów architektury. Eksperyment, rzadko spotykany w obecnym modelu nauczania na Wydziale Architektury, jest atrakcyjną, obrazową metodą poznania zjawisk. Podstawowe przygotowanie teoretyczne wystarczy, by pod opieką specjalistów przeprowadzić badania, rozumiejąc zarówno założenia wstępne (np. przyjętą prędkość wiatru, liczbę badanych kierunków), jak i logikę kolejnych działań, zapisu danych itp. Badanie zjawisk aerodynamicznych metodami wizualizacyjnymi w odniesieniu do budynków i układów urbanistycznych pozwala zapoznać się z ich charakterem, najczęściej występującymi problemami i sposobami ich eliminowania.



**Ryc. 2. Wizualizacja wysokościowego budynku biurowego w Warszawie przy ul. Świętokrzyskiej. Projekt kursowy na studiach magisterskich WAPW (autor Juliusz Sulikowski)**

W przeciwieństwie do programów komputerowych, gdzie wprowadzanie danych jest zadaniem zrozumiałym jedynie dla specjalistów, a wyniki pokazują się od razu, eksperyment pozwala zaangażować studentów. Wymaga od nich skupienia, cierpliwości, rzetelności, konsekwencji w działaniach. Otrzymane w ten sposób wyniki, wyjaśnione przez specjalistów, są lepiej zapamiętywane i przyswajane.



**Ryc. 3. Wizualizacja wysokościowego budynku biurowego w Warszawie przy ul. Świętokrzyskiej. Projekt kursowy na studiach magisterskich WAPW (autor Stanisław Depowski)**

Na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej w 2010 r. podjęto próbę włączenia badań aerodynamicznych do procesu dydaktycznego w postaci seminarium wybranego dla II semestru studiów magisterskich (grupa 12 osób). Studenci wykonali badania w Zakładzie Aerodynamiki Wydziału Energetyki i Lotnictwa PW, kierowanym przez prof. Jacka Rokickiego. Zbadano 2 budynki wysokościowe projektowane w ramach zajęć z projektowania architektonicznego, oba w tej samej lokalizacji. Studenci wykonali w skali

1:500 model istniejącej zabudowy w określonym zakresie opracowania, który został przebadany w początkowej fazie, a następnie wprowadzono projektowane budynki jako 2 kolejne warianty proponowanego uzupełnienia. Wykorzystano tunel wiatrowy i metodę wizualizacyjną olejową. Istotny dla podjętego celu dydaktycznego był fakt, że badane budynki nie były formami czysto hipotetycznymi, przyjętymi na potrzeby seminarium, ale stanowiły zobrazowanie koncepcji rozwijanej w ramach kursu projektowego. Dzięki temu optymalizacja aerodynamiczna obiektu nie stała się celem nadrzędnym i nie ograniczyła się jedynie do formowania kształtu budynku z oderwaniem od innych zagadnień architektonicznych (uwarunkowania urbanistyczne, funkcja, konstrukcja), ale stanowiła element całościowego procesu projektowego, co podnosi praktyczną wartość eksperymentu.

Pierwszy z badanych projektów (ryc. 2, proj. J. Sulikowski) zakłada możliwość wykorzystania turbin wiatrowych w płaszczyźnie dachu. Badania pozwoliły sprawdzić, czy jest to założenie realne, oraz określić optymalną geometrię dachu. Zobrazowanie wzmożonych zawirowań wiatru przy jednej ze ścian budynków (przy dominujących wiatrach zachodnich), które byłyby z pewnością odczuwane przez przechodniów jako uciążliwe, zostały wyeliminowane przez zaokrąglenie narożnika w strefie dolnych kondygnacji (ryc. 1).

Drugi z badanych projektów (ryc. 3, proj. S. Depowski) zakłada wprowadzenie pionowego kanału biegnącego wewnątrz struktury budynku, umożliwiającego wywiew zanieczyszczonego powietrza ze struktury budynku oraz otaczającej go strefy zewnętrznej użytkowanej przez pojazdy i pieszych. Badania pozwoliły przybliżyć wymiar kanału oraz otwarcia budynku w strefie dolnych kondygnacji, by zjawisko to miało szansę zaistnieć.

### **Projektowanie przestrzeni zurbanizowanych i budynków jako proces interdyscyplinarny**

Zarówno wymienione wyżej przykłady istniejących lub projektowanych obiektów, jak i projektów studenckich pokazują, że uwzględnienie zagadnień aerodynamicznych pozwala na lepsze wykorzystanie istniejących czynników klimatycznych do funkcjonowania budynku oraz poprawę komfortu użytkowego w zakresie wymiany powietrza w budynkach i przestrzeniach miejskich. Wnosi ono także istotny wkład w poszukiwanie rozwiązań energooszczędnych i efektywnych pod względem ilości użytych materiałów. Niezbędnym warunkiem osiągnięcia dobrych rezultatów w tym zakresie jest podjęcie współpracy interdyscyplinarnej w zakresie architektury, konstrukcji, fizyki budowli i aerodynamiki. Im bardziej ambitne cele użytkowe stawiamy budynkom w zakresie optymalizacji procesów zachodzących w nich i w ich otoczeniu, tym współpraca ta powinna być głębsza i tym wcześniej należy ją podjąć.

Powszechny jest jeszcze wciąż model działania polegający na przekazywaniu projektu specjalistom branżowym, w tym także z zakresu aerodynamiki, w fazie, gdy podstawowe decyzje projektowe zostały podjęte i zakres dopuszczanych zmian jest niewielki. Zakłada się możliwość pewnych korekt projektu a nie zmiany jego podstawowych założeń przestrzennych. Tymczasem podjęcie zagadnień aerodynamicznych (analogicznie także innych, np. konstrukcyjnych, termicznych, świetlnych) na odpowiednio wczesnym etapie projektu mogłoby w istotny sposób wpłynąć na jego ostateczny kształt. Aby było to możliwe,

konieczne jest zmodyfikowanie dotychczasowego modelu projektowania w kierunku silniejszego powiązania pracy architekta i specjalistów w zakresie aerodynamiki. Podstawowa wiedza architekta w zakresie rozumienia tego rodzaju zjawisk powinna być wsparta wiedzą specjalistyczną i badaniami. Istotne jest także zaopatrzenie architektów w proste i wygodne narzędzia, służące sprawdzaniu niejako na bieżąco, jakie konsekwencje aerodynamiczne w skali budynku i jego otoczenia powodują określone decyzje projektowe. Bardzo duży potencjał w tym zakresie stanowią programy komputerowe. Te dostępne obecnie nie są na razie przystosowane do tego celu. Ilość i precyzja danych, które należy wprowadzić, aby uzyskać wynik możliwie zbliżony do rzeczywistości, wymaga dużej wiedzy technicznej w tej dziedzinie, którą nie dysponują architekci. Programy są zbyt skomplikowane dla osób niespecjalizujących się w tej dziedzinie i wymagałyby przetworzenia, tak by szybko i obrazowo porównywać sytuacje na podstawie stosunkowo małej ilości danych o dużym stopniu przybliżenia.

Wykorzystanie wspomaganie komputerowego w zakresie aerodynamiki, jako prostego narzędzia pomocnego architektom we wczesnych fazach projektu, pozwoliłoby optymalizować układy aerodynamiczne wokół budynków i w przestrzeniach miejskich na zasadzie spójnego procesu. Metody badawcze mogłyby być stosowane sukcesywnie w miarę uszczegóławiania projektu – od najbardziej ogólnych, poglądowych, podejmowanych samodzielnie przez architekta lub jedynie konsultowanych przez specjalistów na początku projektu, do bardziej szczegółowych, w tym doświadczalnych, wspartych specjalistyczną wiedzą i sprzętem, podejmowanych stosownie do skali budynku i jego złożoności technologicznej w kolejnych etapach projektowania. Wypracowanie takiego modelu działania jest niezbędnym krokiem do osiągnięcia lepszych rezultatów sprzyjających tworzeniu architektury zrównoważonej, efektywnej pod względem ekologicznym, ekonomicznym i użytkowym.

## Literatura

1. Daniels K., 1999, *Low-Tech, Light-Tech, High-Tech Building in the Information Age*, Birkhauser, Basel–Boston–Berlin.
2. Daniels K., 1997, *The Technology of Ecological Building*, Birkhauser, Basel–Boston–Berlin.
3. Hausladen G., de Saldanha M., Liedl P., Sager Ch., 2005, *Climate Design, Solution form Buildings that Can Do More with Less Technology*, Birkhauser, Munich.
4. Zielonko-Jung K., 2009, *Tendencje w kształtowaniu nowoczesnej architektury wielkometryrowej i wieloprzestrzennej. Kierunki poszukiwań proekologicznych i wybrane inspiracje w architekturze wielkometryrowej i wieloprzestrzennej przemysłowo-biurowej*, praca własna w ramach prac statutowych nr 504G/1010/812/09, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

## **AERODYNAMIC PHENOMENA AND THE SHAPING OF BUILDINGS AND URBAN SPACES**

**Abstract:** Dynamic air flows when hitting the surface of buildings cause a number of phenomena, which are essential to the comfort of utilizing buildings and urban spaces. They also harbor potential for ventilating cities, their sections and individual buildings, as well as the use of wind energy. The first part of the article tries to see if it is useful to use aerodynamic research (so far applied to aircraft industry or car industry) to the area of architecture and urbanism. The second part of the article presents a contemporary application of the research methods that allow analyzing the aerodynamic phenomena. These are characterized from the perspective of their usefulness in the process of designing buildings and directing air flows through urban structures. This is followed by examples of buildings for which reference to aerodynamic phenomena was essential to define basic conceptual assumption of the project and its successive concretization. Reference is also made to empirical testing of aerodynamic research to complete projects undertaken by students of the Faculty of Architecture at the Warsaw Technical University. Final conclusions draw on the need to find place for interdisciplinary cooperation in the process of designing buildings and urban settings, as well as elaboration of tools, which support the work of architects, as necessary conditions to create balanced architecture effective both from the perspective of ecology, economics and utility.

**Key words:** aerodynamics, architecture, ventilating cities, wind energy.

Dr inż. arch. Katarzyna Zielonko-Jung  
Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej  
Warszawa