

## **Autoreferat**

### **1. Imię i nazwisko**

Tomasz Lipecki

### **2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

Licencjat.

Wydział Ekonomiczny Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, 3-letnie studia na kierunku Zarządzanie i Marketing, 19.12.1996 r. Temat pracy dyplomowej: *„Instrumenty ochrony środowiska w Polsce i krajach o rozwiniętej gospodarce rynkowej”*.

Magister inżynier.

Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej, 5-letnie studia na specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie, 28.04.1998 r. Temat pracy magisterskiej: *„Analiza obciążenia poprzecznego wiatrem spowodowanego wirami dla różnych budowli wieżowych”*.

Doktor nauk technicznych.

Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej, nauki techniczne, dyscyplina budownictwo, 25.10.2006 r. Temat pracy doktorskiej: *„Wzbudzenie wirowe budowli wieżowych o kołowych przekrojach poprzecznych”*. Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Flaga, recenzenci: prof. dr hab. inż. Roman Kinash, dr hab. inż. Tadeusz Knap, prof. PRz.

### **3. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych**

01.11.1998 – 01.02.2000 – asystent naukowo-dydaktyczny w Katedrze Melioracji i Budownictwa Rolniczego na Wydziale Techniki Rolnej Akademii Rolniczej w Lublinie.

01.02.2000 – 28.02.2007 – asystent naukowo-dydaktyczny w Katedrze Mechaniki Budowli na Wydziale Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej.

01.03.2007 – obecnie – adiunkt na podstawie mianowania w Katedrze Mechaniki Budowli na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej.

01.10.2007 – 30.09.2010 – starszy wykładowca w Katedrze Budownictwa na Wydziale Nauk Technicznych Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania w Siedlcach.

01.10.2010 – 31.10.2011 – starszy wykładowca w Katedrze Budownictwa na Wydziale Nauk Technicznych Collegium Mazovia, Innowacyjnej Szkoły Wyższej w Siedlcach.

#### **4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)**

##### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Struktura wiatru i badania modelowe obciążenia wiatrem budowli prostopadłościennych.

##### **4.2. Autor, tytuł publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa**

Lipecki T. *Struktura wiatru i badania modelowe obciążenia wiatrem budowli prostopadłościennych*, Monografie, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2015, [M-1].

##### **4.3. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników**

Oddziaływanie wiatru jest w wielu przypadkach czynnikiem decydującym o konstrukcji obiektów inżynierskich. W przypadku niektórych rodzajów budowli, różne formy oddziaływania wiatru i powodowane przez nie obciążenia, mogą stanowić wielkości wymiarujące przekroje porzeczne elementów konstrukcyjnych. Na obszarach Ziemi narażonych na działanie wiatrów ekstremalnych (huraganów, tajfunów, itp.), i na których występują obiekty wysokie lub o dużych rozpiętościach, obciążenia związane z przepływem są najważniejszymi na etapie projektowania. Dodatkowe zagadnienie, które należy wziąć pod uwagę przy rozpatrywaniu oddziaływania wiatru, ważne głównie dla architektów, to jego działanie na elewacje budynków. Dążenia architektoniczne do projektowania coraz wyższych i dłuższych, a przy okazji smuklejszych obiektów, albo o nietypowych kształtach, powodują konieczność dokładnego i precyzyjnego przyjmowania obciążenia wiatrem. Względy urbanistyczne, a więc otoczenie budowli, powodują powstawanie zjawisk związanych z oddziaływaniem wiatru w terenach zabudowanych. Pojawiają się wówczas dodatkowe obciążenia wywołane interferencją aerodynamiczną i różnymi przewężeniami przyspieszającymi przepływ. W wielu przypadkach, głównie budynków wysokich oddziaływanie wiatru często determinuje kształt samej konstrukcji, wymusza zastosowanie zaokrągleń naroży, dodatkowych elementów w elewacji usytuowanych w narożach budynków, czy nawet wykonanie otworów konstrukcyjnych lub zastosowanie tłumików drgań.

Na każdy rodzaj konstrukcji znajdującej się w przepływie działa obciążenie spowodowane turbulencją atmosferyczną (buffetingiem). Specyfika oddziaływania wiatru jest ściśle związana z kształtem opływanej konstrukcji. Inne zjawiska występują na budowlach o przekrojach poprzecznych zwartych z ostrymi krawędziami, na których odrywają się wiry będące główną przyczyną oddziaływań wiatru innych niż buffetingowe. Wiry odrywają się również na nawietrznych ostrych krawędziach przekrojów wydłużonych w kierunku przepływu, ale w tym przypadku mogą one przylegać ponownie do powierzchni ściany bocznej, w pewnej odległości od krawędzi, na której występuje oderwanie. Zjawisko to nosi nazwę ponownego przyłączenia warstwy przysciennej. W przypadku ciał o przekrojach zbliżonych do okręgu, elipsy lub z zaokrąglonymi narożami, punkt oderwania zmienia swoje położenie wzdłuż obwodu, w zależności od prędkości przepływu, a dokładniej w zależności od liczby

Reynoldsa. Jeszcze inaczej oddziaływanie wiatru wygląda w przypadku przekrojów lotniczych, opływowych, które są wydłużone w kierunku przepływu i mają zaokrąglone krawędzie.

Oddziaływanie buffetingowe wiatru to głównie obciążenie parciem w linii jego działania, które w większości sytuacji stanowi podstawowe obciążenie konstrukcji. W przypadku budynków wysokich, do obciążenia parciem wiatru dochodzą obciążenia poprzeczne oraz skrętne, które są wywołane przez zmiany kierunku prędkości chwilowej i przez odrywające się na krawędziach nawietrznych wiry powodujące powstawanie na powierzchniach ścian bocznych obszarów ssania, pojawiających się z różną intensywnością po przeciwnych stronach konstrukcji. W przypadku budowli wysokich o przekrojach poprzecznych kołowych, np., kominów przemysłowych, obciążenie spowodowane parciem okazuje się często mniejsze niż obciążenie prostopadłe do kierunku średniej prędkości wiatru, które spowodowane jest wzbudzeniem wirowym. Przy pewnych prędkościach przepływu i odpowiednich wymiarach konstrukcji, odrywające się wiry mogą powodować drgania poprzeczne, które na skutek zjawiska lock-in (polegającego na sprzężeniu zwrotnym między obciążeniem i odpowiedzią), bardzo znacznie zwiększają obciążenia. Związane ze wzbudzeniem wirowym jest również zjawisko flutteru giętno-skrętnego, który może się pojawić głównie w przypadku pomostów mostów wiszących i podwieszonych, o dużych rozpiętościach i dużych smukłościach przekrojów pomostów. Innym rodzajem oddziaływania wiatru związanym z wirami jest galopowanie, które występuje głównie na elementach smukłych, o małych sztywnościach, typu odciąg masztów, wanty mostów podwieszonych, linie energetyczne, i polega na drganiach tych elementów w kierunku prostopadłym do średniej prędkości wiatru, często z bardzo znacznymi amplitudami.

Jak już wspomniano, w przypadku budynków wysokich decydującym obciążeniem jest obciążenie wynikające z różnicy między parciem wiatru po stronie nawietrznej i ssaniem po zawietrznej. Dodatkowym obciążeniem, które w wielu przypadkach może być nawet podobnego rzędu jest obciążenie prostopadłe połączone ze skrętnym. W przypadku obciążenia buffetingowego należy uwzględnić oprócz wartości obciążenia wynikającej z różnicy między parciem i ssaniem również turbulencję opisującą zmiany kierunku średniej prędkości wiatru i fluktuacje wokół wartości średniej. Porywy prędkości mogą powodować wzbudzenie drgań, możliwość ta w praktyce inżynierskiej jest uwzględniana przez współczynnik porywów, który zastępuje obciążenie dynamiczne – obciążeniem statycznym wywołującym równoważne skutki. Równie ważne jest określenie obszarów na powierzchni obiektu, w których obciążenie działa w sposób skorelowany, a więc wypadkowe siły aerodynamiczne są tak samo skierowane. W przypadku budynków o prostych przekrojach poprzecznych kwadratowych lub prostokątnych, wszystkie normy dotyczące oddziaływania wiatru opisują obciążenie w sposób uproszczony, podając obszary na powierzchniach ścian o tym samym średnim ciśnieniu. Dodatkowo, należy pamiętać, że zakres stosowania norm jest ograniczony, przykładowo zalecenia Eurokodu 1 obowiązują do wysokości 200 m nad poziomem gruntu, do której wzory w nim zawarte prawidłowo oddają rzeczywistość.

Wydaje się, że nawet dla prostego przypadku jakim jest budynek o regularnych prostokątnych kształtach przekroju poprzecznego, wciąż pozostaje wiele do doprecyzowania w zakresie obciążenia wiatrem. Istnieją trzy drogi, które umożliwiają naukowcom lub projektantom dokładne określenie tego oddziaływania. Pierwszą, oczywiście najlepszą, są badania w skali rzeczywistej (czyli in-situ) wykonywane na istniejących obiektach i mogące służyć

jako baza danych zawierających informacje dla projektantów przyszłych budynków. Wykonanie tego rodzaju badań jest możliwe na już istniejących obiektach i wobec tego, nie zawsze może być wykorzystane dla konstrukcji o innych kształtach. Monitoring powykonawczy wysokich budynków, który jest coraz częstszy, dostarcza nieocenionego zbioru danych dotyczących parametrów przepływu atmosferycznego, ciśnienia na powierzchniach ścian, odpowiedzi konstrukcji wyrażonej za pomocą np. przyspieszeń.

Druga droga, która stanowi alternatywę w stosunku do badań in-situ i zarazem sensowny kompromis, jeśli weźmiemy pod uwagę koszty, to eksperymenty modelowe, prowadzone w tunelach aerodynamicznych lub wodnych. Polegają one na stworzeniu makiety obiektu i wstawieniu jej do specjalnego tunelu (kanału), w którym sztucznie, za pomocą wentylatorów wywoływany jest przepływ. Zastosowanie badań modelowych wiąże się oczywiście z szeregiem problemów wynikających ze skalowania. Jeśli rozpatrywanym zagadnieniem jest wyznaczenie np. ciśnienia na zewnętrznych powierzchniach ścian, wówczas wystarczające jest odpowiednie przeskalowanie wymiarów obiektu i zamocowanie go sztywno w przestrzeni pomiarowej. Jeśli już jednak potrzebujemy informacji na temat odpowiedzi konstrukcji, wówczas proste skalowanie geometrii jest niewystarczające, konieczne jest również odpowiednie przeliczenie sztywności, czy rozkładu masy wzdłuż wysokości (rozpiętości). Drugim problemem, często trudniejszym do pokonania, jest skalowanie struktury wiatru w warunkach laboratoryjnych, aby generowana warstwa przyścienna odpowiadała przyziemnej warstwie atmosferycznej występującej w rzeczywistości. Odpowiednie spełnienie obu grup tzw. kryteriów podobieństwa obiektów i przepływu pozwala na prowadzenie rzetelnych eksperymentów modelowych.

Dostępna jest również trzecia droga związana z symulacjami numerycznymi. W obecnych czasach istnieje szereg modeli pozwalających generować przepływy turbulentne, a więc w teorii odpowiadające atmosferycznym. Metody komputerowej mechaniki płynów (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) przyjmujące różne modele przepływu, to przede wszystkim DNS (*Direct Numerical Simulation*), RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*), LES (*Large Eddy Simulation*), DVM (*Discrete Vortex Method*). W zagadnieniach inżynierii wiatrowej i aerodynamiki budowli wyniki symulacji wciąż nie są oczywiste i muszą opierać się na dużym doświadczeniu prowadzącego symulacje. Wobec tego, symulacjom numerycznym przepływu towarzyszą zazwyczaj badania modelowe lub in-situ, których celem jest walidacja modeli numerycznych, a wówczas otrzymane wyniki odnoszą się tylko do danego analizowanego przypadku. Dopóki nie zostanie stworzona odpowiednio duża baza danych, symulacje numeryczne wciąż będą potrzebowały eksperymentalnej walidacji.

Przy projektowaniu nowych obiektów inżynierskich – wysokich, długich, o nietypowych kształtach – powstaje pytanie, którą z trzech wspomnianych dróg wykorzystać? Najkorzystniejsze i najefektywniejsze przy obecnym stanie wiedzy wydaje się stosowanie badań modelowych w tunelach aerodynamicznych. Na pewno najcenniejsze są wyniki badań in-situ, ale równocześnie są one najkosztowniejsze i najtrudniejsze do prawidłowego wykonania, w związku z oczywistymi trudnościami powstającymi przy oprzyrządowaniu pomiarowym obiektów o dużych rozmiarach. Symulacje komputerowe z punktu widzenia ekonomicznego są na pewno najkorzystniejsze, ale w związku z koniecznością ich walidacji koszty drastycznie wzrastają. Niewątpliwą zaletą wykorzystania CFD, po uprzedniej walidacji jednego przypadku jest możliwość analizy innych sytuacji, np. zmiany kąta natarcia wiatru.

Celem publikacji „*Struktura wiatru i badania modelowe obciążenia wiatrem budowli prostopadłościennych*” jest poszerzenie i pogłębienie wiedzy o rozkładzie ciśnienia wiatru na zewnętrznych powierzchniach ścian budowli prostopadłościennych. Problemy podjęte w monografii analizowałem na podstawie pomiarów modelowych w tunelu aerodynamicznym, w trakcie których badałem budynki wysokie o przekroju poprzecznym prostokątnym, umieszczone w symulowanej warstwie przyściennej o odpowiednich charakterystykach. Określiłem szczegółowo strukturę rozkładów ciśnienia zewnętrznego na wszystkich ścianach pionowych i dachu, w zależności od parametrów opisujących strukturę wiatru. Wydaje się, że opływ budynków prostopadłościennych jest dość dobrze poznany, ale dokładne studia literatury wykazały, że nie ma zbyt wielu danych dotyczących ciśnienia na powierzchniach budynków umieszczonych w warstwie przyściennej. W monografii znacznie rozszerzyłem obecny stan wiedzy w zakresie analizy obciążenia wiatrem budynków, w powiązaniu z charakterystykami struktury wiatru, starając się dać odpowiedzi, które z nich najsilniej wpływają na obciążenia. W pracy skoncentrowałem się szczegółowo na następujących problemach:

- Poprawności symulacji warstwy przyściennej w tunelu, ze względu na parametry takie jak: pionowy profil średniej prędkości wiatru, pionowy profil intensywności turbulencji i skali długości turbulencji oraz funkcje gęstości widmowej mocy prędkości wiatru. Opracowałem szczegółowo sześć wariantów przepływu, znacznie różniących się wymienionymi charakterystykami i opisujących kolejne rodzaje terenu.
- Analizie rozkładów ciśnienia zewnętrznego na każdej ze ścian pionowych i dachach modeli prostopadłościennych budynków wysokich, w powiązaniu ze strukturą wiatru, przy pełnym zakresie kątów natarcia wiatru.
- Analizie korelacji ciśnienia zewnętrznego na każdej ze ścian, w przekrojach pionowych i poziomych, ze względu na smukłość przekroju poprzecznego, kąt natarcia i parametry struktury przepływu.
- Analizie korelacji między kolejnością wartości parametrów opisujących strukturę wiatru i kolejnością wartości parametrów ciśnienia na powierzchniach modeli.
- Analizie całkowitych współczynników aerodynamicznych oporu i siły bocznej oraz współczynników lokalnych wzdłuż wysokości obiektów, w zależności od smukłości przekrojów poprzecznych i modeli, kątów natarcia i parametrów struktury wiatru.

Podstawowym zagadnieniem, które analizowałem w monografii jest odpowiedź na pytanie jak obciążenie wiatrem wysokich budynków zależy od struktury wiatru w warstwie przyściennej i jak zmienia się ono wzdłuż szerokości i wysokości wszystkich ścian.

Opracowanie oparłem na cyklu eksperymentów wykonanych w tunelu aerodynamicznym z warstwą przyścienną Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej, w trakcie których zostało zmierzone:

- Pole wiatru w przestrzeni pomiarowej tunelu.
- Przebiegi czasowe ciśnienia zewnętrznego na ścianach pionowych i dachach pięciu modeli prostopadłościennych przedstawiających budynki wysokie.
- Całkowite siły aerodynamiczne przy podstawach pięciu modeli prostopadłościennych.

Na podstawie pomiarów pola wiatru zostały wyznaczone:

- Profile średniej prędkości wiatru.
- Profile intensywności turbulencji.

- Profile skali długości turbulencji.
- Funkcje gęstości widmowej mocy.

W ramach pracy zespołu badawczego, szczegółowo opracowano 6 wariantów struktury wiatru (p1–p6), znacząco różniących się parametrami i odpowiadających różnym rodzajom terenu, od otwartego, słabo zabudowanego (p1) do centrum wielkiego miasta (p6). Dwa warianty przyjęte w badaniach (p5 i p6, dla terenów najintensywniej zabudowanych) wykraczają parametrami poza zakresy obecnie używane w normach. Dla wybranych do dalszych analiz przepływów, opracowałem procedurę opisu warstwy przyściennej w tunelu aerodynamicznym i dokonałem walidacji przyjętych krzywych opisujących profile średniej prędkości wiatru, intensywności i skali turbulencji na podstawie dostępnych badań i wymogów normowych. Zwróciłem uwagę na problemy generowania profili wiatru zgodnych z krzywą logarytmiczną rekomendowaną przez Eurokod 1, głównie dla przypadków terenów gęściej zabudowanych.

W trakcie badań modelowych zmierzone zostały przebiegi czasowe ciśnienia zewnętrznego na powierzchniach pięciu modeli prostopadłościennych, o następujących wymiarach:

- Model R1,  $B = 40$  cm,  $D = 20$  cm,  $H = 100$  cm,  $B/D = 2$ ,  $\lambda_m = H/(BD)^{1/2} = 3,54$ .
- Model R2,  $B = 40$  cm,  $D = 10$  cm,  $H = 100$  cm,  $B/D = 4$ ,  $\lambda_m = H/(BD)^{1/2} = 5$ .
- Model R3,  $B = 20$  cm,  $D = 10$  cm,  $H = 100$  cm,  $B/D = 2$ ,  $\lambda_m = H/(BD)^{1/2} = 7,07$ .
- Model R4,  $B = 20$  cm,  $D = 5$  cm,  $H = 100$  cm,  $B/D = 4$ ,  $\lambda_m = H/(BD)^{1/2} = 10$ .
- Model R5,  $B = 10$  cm,  $D = 5$  cm,  $H = 100$  cm,  $B/D = 2$ ,  $\lambda_m = H/(BD)^{1/2} = 14,14$ .

Badania wykonane zostały w pełnym zakresie kąta natarcia wiatru,  $\alpha_w$ , od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ , co  $15^\circ$ . Wymiar  $B$  w położeniu  $\alpha_w = 0^\circ$  oznacza szerokość ściany prostopadłej do średniego kierunku prędkości wiatru, w położeniu  $\alpha_w = 90^\circ$ , ściana o szerokości  $B$  jest równoległa do przepływu. Na każdej ze ścian pionowych modeli zainstalowano 16 poziomów czujników ciśnienia. Liczba zainstalowanych czujników wzdłuż obwodu zmieniała się w zależności od wielkości przekroju poprzecznego, od 20 do 28. Dodatkowo oprzyrządowane zostały również pokrywy modeli obrazujące dachy płaskie budynków średniej wysokości i wysokich.

Na podstawie pomiarów ciśnienia zewnętrznego wykonanych dla wszystkich modeli prostopadłościennych obliczyłem:

- Współczynniki średniego ciśnienia  $C_p$ .
- Odchylenia standardowe współczynników średniego ciśnienia  $\sigma_p$ .
- Współczynniki korelacji przestrzenno-czasowej  $R_{ij}$ .

Wykonałem analizy współczynników  $C_p$  i  $\sigma_p$ , w następującym ujęciu:

- Rozkładów powierzchniowych na każdej ścianie.
- Rozkładów w przekrojach poziomych na każdej ścianie.
- Rozkładów w przekrojach pionowych na każdej ścianie.

Korelacje ciśnienia zewnętrznego  $R_{ij}$  określiłem:

- W poszczególnych przekrojach poziomych, na każdej ścianie.
- W przekrojach pionowych wybranych w środku i przy krawędziach każdej ściany.

Szczegółowo określiłem zależności  $C_p$  i  $\sigma_p$  oraz  $R_{ij}$  od następujących czynników:

- Kąta natarcia wiatru  $\alpha_w$ , zmieniającego się od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ , co  $15^\circ$ .
- Parametrów zmierzonej struktury przepływu.
- Smukłości przekroju poprzecznego i smukłości całego modelu.

Zbadałem również zależność korelacyjną ( $R_s$  – współczynnik korelacji Spearmana) między kolejnością wartości współczynników  $C_p$  i  $\sigma_p$ , wyznaczonych dla wariantów przepływu na powierzchniach ścian modeli, a kolejnością wartości odpowiednich parametrów opisujących strukturę wiatru w przestrzeni pomiarowej. Ten rodzaj analizy dał odpowiedź, jak skorelowane jest ciśnienie zewnętrzne z parametrami przepływu.

Na podstawie pomiarów sił aerodynamicznych przy podstawach modeli wyznaczyłem:

- Całkowite średnie współczynniki sił i momentów aerodynamicznych, skupiając się głównie na współczynnikach oporu  $c_x$  i siły bocznej  $c_y$ , których wartości potwierdziłem pomiarami ciśnienia.

Dodatkowo, na podstawie pomiarów ciśnienia wyznaczyłem:

- Lokalne współczynniki aerodynamiczne oporu i siły bocznej na poszczególnych poziomach pomiarowych modeli.

Szczegółowo analizowałem zależności całkowitych i lokalnych wartości  $c_x$  i  $c_y$  od:

- Kąta natarcia wiatru  $\alpha_w$ , zmieniającego się od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ , co  $5^\circ$  lub  $15^\circ$ .
- Parametrów zmierzonej struktury przepływu.
- Smukłości przekroju poprzecznego i smukłości całego modelu.

Przedstawione powyżej problemy i zagadnienia szczegółowo rozważałem w monografii. Publikacja zawiera 14 rozdziałów oznaczonych numerami od 2 do 15, poprzedzonych wstępem i podsumowanych w zakończeniu. Książkę podzieliłem na dwie zasadnicze części. Część I (rozdziały 2–7) wprowadza podstawowe wiadomości teoretyczne w zakresie analizowanych na podstawie badań własnych w Części II (rozdziały 8–15) problemów. Część I pracy zawiera:

- Koncepcję obciążenia wiatrem konstrukcji opartą na "łańcuchu obciążenia wiatrem" Alana Davenporta, wraz z objaśnieniem jego poszczególnych ogniw (rozdziały 2, 3, 4).
- Obszerny przegląd badań na temat warstwy przyściennej w warunkach modelowych (rozdział 5).
- Obszerny przegląd badań in-situ oraz modelowych, w zakresie pomiarów ciśnienia zewnętrznego na ścianach obiektów prostopadłościennych (rozdział 6).
- Podstawy teoretyczne Komputerowej Mechaniki Płynów (CFD), wraz z obszernym przeglądem symulacji komputerowych (DNS, RANS, LES, DVM), w zakresie obliczeń ciśnienia zewnętrznego na ścianach obiektów prostopadłościennych (rozdział 7).

W części II monografii przedstawiłem wyniki badań własnych, przede wszystkim:

- Symulację warstwy przyściennej w tunelu aerodynamicznym (rozdział 8).
- Techniki i modele pomiarowe służące do pomiarów ciśnienia zewnętrznego na ścianach modeli i sił przy podstawach (rozdział 9).
- Rozkłady ciśnienia, współczynników ciśnienia i odchyłeń standardowych współczynników na zewnętrznych powierzchniach ścian modeli prostopadłościennych (rozdział 10).
- Korelacje przestrzenne współczynników ciśnienia zewnętrznego na ścianach modeli prostopadłościennych oraz korelacje między współczynnikami a strukturą wiatru (rozdziały 11 i 12).
- Współczynniki ciśnienia zewnętrznego na prostokątnych dachach płaskich (rozdział 13).
- Globalne współczynniki aerodynamiczne oporu i siły bocznej (rozdział 14).
- Lokalne współczynniki oporu i siły bocznej (rozdział 15).

Do książki dołączyłem płytę DVD zawierająca 23 załączniki ilustrujące szczegółowo wyniki pomiarów i analiz.

Analiza rozkładów powierzchniowych ciśnienia zewnętrznego  $p$ , współczynników średniego ciśnienia  $C_p$  oraz odchylenia standardowego  $\sigma_p$  na powierzchniach zewnętrznych ścian pionowych pozwoliła stwierdzić m.in., że:

- Dla przyjętych modeli i przypadków rozpatrywanej struktury wiatru rozkłady są podobne, dla wszystkich kątów natarcia wiatru, ale różnice w wartościach są znaczne.
- W przypadku ustawień symetrycznych modeli ( $\alpha_w = 0^\circ$ ,  $\alpha_w = 90^\circ$ ) rozkłady są również niemal symetryczne, a nieznaczne odchyłki spowodowane są błędami pomiarowymi oraz niepełną symetrią przepływu w przestrzeni pomiarowej tunelu.
- Największe wartości ciśnienia  $p$  i współczynnika ciśnienia  $C_p$  występują na ok. 70–90% wysokości modelu.
- Wyraźnie zaznaczony jest efekt 3D spowodowany opływem trójwymiarowym wokół swobodnego wierzchołka modelu, przy czym jest on wyraźniejszy w przypadku prostopadłościanów o większych wymiarach ścian, a więc o mniejszej smukłości.
- Na poziomach bliższych podstaw modeli wzrasta chropowatość terenu wywołując spadek prędkości wiatru i parcia na ścianę nawietrzną. W przypadkach przepływów o wysokiej turbulencji na najniższych poziomach pomiarowych, na ścianach nawietrznych przy krawędziach, pojawia się nawet ssanie.
- Na ścianie nawietrznej wartości współczynnika  $C_p$  zmniejszają się wzdłuż szerokości boku, od środka w kierunku krawędzi.
- Na ścianach bocznych i zawietrznej, wskutek odrywających się na krawędziach nawietrznych wirów, występuje ssanie. Największe wartości ssania są na ścianach bocznych blisko krawędzi nawietrznej, co szczególnie jest widoczne, gdy ściana dłuższa jest równoległa do przepływu.
- Gdy  $\alpha_w = 15^\circ$ – $75^\circ$ , można zauważyć, że izobary na ścianach bocznych układają się mniej więcej równolegle do pionowych krawędzi modeli, z dość wyraźnym spadkiem zarówno parcia jak i ssania na górnych poziomach, spowodowanym opływem 3D.
- Gdy  $\alpha_w = 15^\circ$ – $30^\circ$ , na ścianie szerszej nawietrznej oraz  $\alpha_w = 75^\circ$  na ścianie węższej nawietrznej zaznaczony jest wyraźnie obszar maksymalnego ciśnienia (punkt spiętrzenia), podobnie jak odpowiednio, dla  $\alpha_w = 0^\circ$  i  $\alpha_w = 90^\circ$ .
- Większe bezwzględne różnice między wartościami maksymalnymi i minimalnymi współczynników średniego ciśnienia występują na ścianach, na których pojawia się parcie. Na ścianach, na których występuje ssanie różnice są mniejsze. W niektórych przypadkach minimalne ssanie dla danego przepływu jest większe od maksymalnego dla innego. W przypadku  $\alpha_w = 90^\circ$ , różnica między największym i najmniejszym ssaniem jest bardzo wyraźna na ścianach bocznych (dłuższych w tym położeniu).
- Rozrzut wartości maksymalnych na danej ścianie, między wariantami przepływu dla poszczególnych modeli jest największy dla położenia, w którym ściana dłuższa jest nawietrzną ( $\alpha_w = 0^\circ$ – $30^\circ$ ) oraz dla ściany węższej nawietrznej ( $\alpha_w = 90^\circ$ ).
- Rozrzut wartości maksymalnych na danej ścianie, między modelami w obrębie jednego profilu, jest najmniejszy w przypadku ścian dłuższych nawietrznych ( $\alpha_w = 0^\circ$ – $30^\circ$ )



oraz ścian krótszych nawietrznych ( $\alpha_w = 60^\circ\text{--}90^\circ$ ). Duży rozrzut występuje na ścianach ze ssaniem (bocznych i zawietrznej).

- Na ścianach, na których występuje wyłącznie parcie największe wartości  $C_p$  uzyskano dla przepływów w kolejności od największych: p2, p6, p5, p3, p4, p1. Lokalizacja punktów, w których zmierzono wartości maksymalne, znajduje się na poziomach górnych 2–4.
- Na ścianach, na których występuje równocześnie parcie i ssanie (ukośne kąty przepływu), kolejność jest zmienna, a lokalizacja punktów z największym ssaniem znajduje się na poziomach najniższych 15 i 16.
- Na ścianach tylko ze ssaniem, kolejność profili, dla których zmierzono wartości maksymalne  $C_p$  od najwyższych do najniższych, to przeważnie: p4, p1, p3, p2, p5, p6. Lokalizacja punktów wzdłuż wysokości znacznie różni się między sobą, z lekką tendencją uzyskiwania wartości maksymalnego ssania na poziomach górnych.
- W przypadku ścian tylko z parciem zauważono następującą tendencję: największe wartości  $C_p$  otrzymano dla modeli R5, R4, R2, a najmniejsze dla R1 i R3.
- Największe wartości ssania, w przypadku ścian tylko ze ssaniem, uzyskano dla modeli R1 i R2 oraz R3, najmniejsze dla R5 i R4 (w większości przypadków podobne i dość znacznie odbiegające od innych).
- W przypadku ścian z parciem, największe odchylenie  $\sigma_p$  uzyskano dla profili w kolejności p2, p6, p3, p5, p1, p4. W przypadku porównania między modelami, największe wartości otrzymano przeważnie dla modeli R5 i R4.
- W przypadku ścian, na których występuje ssanie, największe  $\sigma_p$  otrzymano dla p2, p6, następnie p3 lub p5 i najmniejsze dla p1 lub p4. W przypadku modeli, największe wartości  $\sigma_p$  obliczono dla R5 ( $\alpha_w = 0^\circ\text{--}75^\circ$ ) i R1 ( $\alpha_w = 90^\circ$ ). Gdy  $\alpha_w = 0^\circ\text{--}15^\circ$ , i  $\alpha_w = 90^\circ$ , najmniejsze  $\sigma_p$  jest dla modeli R2 i R4, dla kątów pośrednich dla R2 i R1.
- Zdecydowanie mniejsze różnice maksymalnych wartości  $\sigma_p$ , między modelami w obrębie jednego profilu, występują na ścianach nawietrznych, a więc gdy występuje na nich parcie oraz na ścianach bocznych, na których jest ssanie w przypadku, gdy tą ścianą jest ściana dłuższa ( $\alpha_w = 75^\circ\text{--}90^\circ$ ). Największy rozrzut maksymalnych  $\sigma_p$ , między profilami występuje dla ścian bocznych (krótszych) i zawietrznej ( $\alpha_w = 0^\circ\text{--}45^\circ$ ).

Na podstawie wyznaczonych zależności korelacyjnych, wyrażonych za pomocą współczynnika korelacji Spearmana  $R_s$ , między kolejnością parametrów ciśnienia na ścianie i kolejnością parametrów struktury wiatru w przestrzeni pomiarowej, można stwierdzić, że:

- Wysoką korelację uzyskano między współczynnikami  $C_p$  a średnią prędkością wiatru, mniejszą z intensywnością turbulencji oraz z maksimum funkcji gęstości widmowej mocy.
- Większe wartości współczynników korelacji  $R_s$ , rozłożone w sposób bardziej uporządkowany, uzyskano dla kątów natarcia bliższych  $\alpha_w = 90^\circ$ , a więc w ustawieniach, w których ściana krótsza jest nawietrzną.
- Wyższe współczynniki korelacji  $R_s$  i większe uporządkowanie wartości, obliczono między parametrami struktury wiatru i odchyleniami standardowymi  $\sigma_p$ . Wysoką lub bardzo wysoką korelację wyznaczono między  $\sigma_p$  a intensywnością turbulencji oraz maksimum funkcji gęstości widmowej mocy, a także prędkością średnią.

Na podstawie analizy rozkładów współczynników średniego ciśnienia  $C_p$  na dachach zauważono, że:

- Większe ssanie pojawia się w przypadku kąta natarcia  $\alpha_w = 90^\circ$  niż  $\alpha_w = 0^\circ$ , dla większości przepływów, za wyjątkiem wariantu p1 odpowiadającemu terenowi najbardziej zbliżonemu do otwartego. Taka tendencja ma miejsce w przypadku obu grup modeli o przekrojach poziomych  $B/D = 2$  i  $B/D = 4$ , przy czym różnice są wyraźniejsze dla obiektów mniejszych R3 i R4.
- Dużo większe zmiany wartości  $C_p$  wzdłuż rozpiętości dachu można zaobserwować gdy  $\alpha_w = 90^\circ$ , a więc w położeniu, w którym ściana węższa jest nawietrzną. Występuje wtedy znaczna redukcja ssania w obszarze w pobliżu krawędzi zawietrznej, gdzie odrywająca się z krawędzi nawietrznej warstwa przyścienna przylega ponownie do powierzchni.
- Przy kątach natarcia wiatru, różnych od prostopadłych do ścian, można zauważyć obszar charakteryzujący się podwyższonym ssaniem spowodowanym wirami narożnymi. Znacznie zwiększone obszary ssania zauważono dla modeli  $B/D = 2$ , dla kątów  $\alpha_w = 15^\circ$ – $60^\circ$  i dla modeli  $B/D = 4$ , dla kątów  $\alpha_w = 30^\circ$ – $60^\circ$ , przy czym największe ssanie pojawia się przeważnie dla  $\alpha_w = 45^\circ$ .
- Największy wzrost współczynnika ssania występuje na dachu bezpośrednio przy krawędzi nawietrznej ( $\alpha_w = 15^\circ$ – $30^\circ$ ). Przy wyższych kątach natarcia  $\alpha_w = 45^\circ$ – $60^\circ$ , obszar maksymalnego ssania jest nieznacznie przesunięty w kierunku dłuższej krawędzi dachu, która staje się krawędzią boczną. W przypadku modeli R1 i R3, wzrost  $C_p$  dla  $\alpha_w = 15^\circ$ – $30^\circ$  występuje dokładnie w narożu. Gdy  $\alpha_w = 45^\circ$ – $60^\circ$  największe ssanie pojawia się w  $0,3B$ . W przypadku modelu R2 i  $\alpha_w = 30^\circ$ , największe ssanie jest w narożu nawietrznym, dla  $\alpha_w = 45^\circ$  w  $0,2B$ , zaś dla  $\alpha_w = 60^\circ$  w  $0,3B$ . Podobne lokalizacje uzyskano na dachu R4, ale dla  $\alpha_w = 60^\circ$  największe ssanie jest przesunięte do  $0,4B$ .

Analiza współczynników sił aerodynamicznych oporu  $c_x$  i bocznej  $c_y$ , wyznaczonych na podstawie pomiarów tensometrycznych na wadze aerodynamicznej i zweryfikowanych pomiarami ciśnienia, pozwala stwierdzić, że:

- Wraz ze wzrostem kąta natarcia wiatru maleje współczynnik  $c_x$ .
- Względne różnice w wartościach  $c_x$  między wariantami przepływu są nieznacznie mniejsze dla modeli większych R1 i R2, niż dla modeli mniejszych R3, R4 i R5.
- Największe wartości  $c_x$  uzyskano dla profilu p2, następnie podobne dla p4, p3 i p1 i najmniejsze dość odbiegające od pozostałych dla p5 i p6. Różnice wartości między wariantami przepływu sięgają ponad 20% dla kąta  $\alpha_w = 0^\circ$ .
- Największe różnice między wartościami maksymalnymi  $c_x$  (uzyskanymi dla  $\alpha_w = 0^\circ$ ) i minimalnymi ( $\alpha_w = 90^\circ$ ) występują przeważnie dla przepływów p2 i p3, dla których uzyskano też najwyższe współczynniki  $c_x$ , a najmniejsze dla p6, dla którego zmierzono wartości najniższe.
- W przypadku  $c_x$  nie zauważono wyraźnej zależności od smukłości  $\lambda_m$ , a wartości są stosunkowo stałe. Gdy  $\alpha_w = 0^\circ$ – $15^\circ$ , nieznacznie większe  $c_x$  uzyskano dla modeli o smukłości  $\lambda_m = 5$  i  $10$  ( $B/D = 4$ ). W przypadku  $\alpha_w = 30^\circ$ , wartości dla wszystkich

smukłości są podobne, natomiast dla  $\alpha_w > 45^\circ$  zaznacza się zdecydowana różnica – większe  $c_x$  uzyskano dla modeli o smukłościach  $\lambda_m = 3,53, 7,07, 14,14$  ( $B/D = 2$ ).

- Przy kątach natarcia  $\alpha_w = 0^\circ$  i  $\alpha_w = 90^\circ$ , współczynniki  $c_y$  są bliskie zeru, gdyż modele są symetryczne względem kierunku średniej prędkości wiatru. Nieznaczne odchyłki od zera wynikają z niedokładności, które mogły powstać w trakcie montowania modeli oraz z bocznej turbulencji przepływu występującej w tunelu.
- Nieznacznie mniejsze różnice  $c_y$  między wariantami przepływu występują dla modeli  $B/D = 2$  (R1, R3 i R5).
- Największe wartości współczynników  $c_y$  uzyskano przeważnie w przypadku p2, ale różnice między wariantami p2, p3, p1 i p4 są niewielkie, natomiast dość wyraźnie niższe wartości występują dla p5 i najmniejsze dla p6.
- Największe, dość podobne do siebie wartości  $c_y$ , zmierzono dla kątów  $\alpha_w = 15^\circ$ – $75^\circ$  (modele  $B/D = 2$ ) oraz  $\alpha_w = 30^\circ$ – $75^\circ$  (modele  $B/D = 4$ ).
- Gdy  $\alpha_w = 15^\circ$ , współczynniki  $c_y$  są w zasadzie niezależne od smukłości modelu. Gdy  $\alpha_w = 30^\circ$ – $75^\circ$ , wyraźnie wyższe  $c_y$  zostały wyznaczone dla modeli o smukłościach  $\lambda_m = 5$  i  $10$  ( $B/D = 4$ ). Dla  $\alpha_w = 30^\circ$  występuje nieznaczna tendencja wzrostu współczynników wraz ze smukłością modeli w danej grupie ( $B/D = 4$  i  $B/D = 2$ ), przy większych kątach, wartości  $c_y$  maleją wraz ze smukłością, najbardziej dla  $\alpha_w = 75^\circ$ .
- Lokalne wartości współczynników  $c_x$  i  $c_y$  obliczone na poszczególnych poziomach pomiarowych, różnią się znacznie wzdłuż wysokości prostopadłościaków, w obrębie jednego profilu i modelu.
- Różnice wartości  $c_x$  w pionie, w ramach jednego profilu sięgają 70% ( $\alpha_w = 0^\circ$ , p6) oraz ponad 90% ( $\alpha_w = 90^\circ$ , p6). Różnice występują również między profilami i lokalnie sięgają maksymalnie ponad 25% (R5,  $\alpha_w = 0^\circ$ ) i ponad 55% (R5,  $\alpha_w = 90^\circ$ ).
- W przypadku  $c_y$  różnice wartości w pionie, w ramach profilu, sięgają 100% ( $\alpha_w = 75^\circ$ , p4), zaś między profilami niemal 95% (R5,  $\alpha_w = 75^\circ$ )

Reasumując, w monografii obszernie opisałem wyniki i analizy pomiarów struktury wiatru, ciśnienia zewnętrznego i sił aerodynamicznych, w odniesieniu do obiektów prostopadłościennych. Przeprowadzone analizy stanowią istotne rozszerzenie obecnego stanu wiedzy w tym temacie. Wyniki mogą służyć do weryfikacji modeli normowych obciążenia wiatrem, jak również jako gotowe dane zawierające współczynniki aerodynamiczne dla prostopadłościennych budynków wysokich, zlokalizowanych w różnych rodzajach terenu. Dodatkowo, materiały dołączone do monografii w załącznikach elektronicznych, stanowią obszerną bazę pozwalającą walidować wyniki symulacji numerycznych wykorzystujących metody CFD. Opracowane wyniki są dokładnie zweryfikowane na podstawie dostępnych badań prowadzonych w innych ośrodkach naukowych. Poza prezentacją wyników badań własnych, monografia zawiera również obszerny przegląd literatury, stanowiący podsumowanie osiągnięć inżynierii wiatrowej od lat 60-tych XX wieku w zakresie analizowanych problemów.

Za największe swoje osiągnięcie związane z monografią uważam:

- zaproponowanie procedury oceny parametrów warstwy przyściennej w tunelu aerodynamicznym, tak aby spełniała wymogi podobieństwa do atmosferycznej warstwy przyziemnej i obejmowała różne kategorie terenu rekomendowane przez normy związane z oddziaływaniem wiatru.

- kompleksową ocenę zależności parametrów ciśnienia zewnętrznego obiektów prostopadłościennych od: struktury przepływu, smukłości przekroju i modelu oraz kąta natarcia wiatru.
- szczegółową weryfikację badań własnych na podstawie wyników otrzymanych w innych tunelach aerodynamicznych, co świadczy o poprawności uzyskanych wyników.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

### **5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora**

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych, zajmowałem się tematyką inżynierii wiatrowej, przede wszystkim aerodynamiki budowli w zakresie modelowania wzbudzenia wirowego konstrukcji o przekrojach zwartych, głównie kołowych. Według mnie największym osiągnięciem w tym okresie było przyjęcie artykułów, opartych w głównej mierze na pracy magisterskiej, do zaprezentowania ich w czasie ICWE10 [C-1] oraz EACWE4 [C-4]. Temat mojej pracy w tym okresie dotyczył opływu wiatru wokół konstrukcji smukłych o przekrojach kołowych – głównie kominów przemysłowych. Stworzyłem autorski model wzbudzenia wirowego takich konstrukcji, uwzględniający zjawisko „lock-in” i implementowałem go numerycznie we własnym programie komputerowym „Vortex Load”, łączącym operacje matematyczne wykonywane według własnych procedur z komercyjnym programem MES. Proponowane podejście polegało na aktualizacji na każdym kroku czasowym obciążenia wiatrem – na podstawie przebiegu czasowego przemieszczeń punktu charakterystycznego konstrukcji, znajdującego się w środku obszaru wzbudzenia wirowego. Na podstawie historii czasowej przemieszczeń węzła konstrukcji, wyznaczone było odchylenie standardowe, aktualizowane wszystkie współczynniki eksperymentalne opisujące obciążenie wiatrem, które uaktualnione implementowane było w programie MES. Procedura powtarzała się, aż do uzyskania zbieżności. Artykuły dotyczące różnych problemów rozpatrywanego zagadnienia to: [A-1], [A-2], [A-6]–[A-8]. Wyniki były prezentowane na konferencjach: [W-1], [W-4]–[W-6].

W okresie przed doktoratem, współpracowałem z ówczesnym kierownikiem Katedry Mechaniki Budowli Politechniki Lubelskiej i moim promotorem pracy doktorskiej – prof. A. Flagą, w zakresie rozwoju zaplecza sprzętowego Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej. Kończącym wynikiem działań było zespołowe zaprojektowanie i przeprowadzenie analiz numerycznych oraz wykonanie wag aerodynamicznych trójskładnikowej i pięcioskładnikowej służących do pomiarów sił i momentów działających na konstrukcje w warunkach modelowych. Wyniki pokazano w czasie konferencji [W-2], [W-3] i podsumowano w artykułach [A-3], [A-4].

W związku z licznymi pracami zleconymi wykonywanymi w Katedrze Mechaniki Budowli powstał artykuł dotyczący obciążenia wiatrem pylonów dwóch mostów budowanych w Polsce: Mostu III Tysiąclecia im. Jana Pawła II w Gdańsku i Mostu Siekierkowskiego w Warszawie, którego byłem współautorem. Było to również pierwsze zetknięcie się dla mnie z Komputerową Mechaniką Płynów – CFD [A-5].

## 5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

W okresie po doktoracie, opublikowałem kilka artykułów naukowych poruszających różne aspekty wzbudzenia wirowego i odpowiedzi konstrukcji, głównie kominów, na takie obciążenie:

- Posumowanie pracy doktorskiej ukazało się w czasopiśmie naukowym Wydziału Budownictwa i Architektury PL – „Budownictwo i Architektura” [A-9] oraz jako rozdział w monografii [R-9].
- Wpływ uwzględnienia sprzężeń zwrotnych bądź ich braku, na symulacje wzbudzenia wirowego i odpowiedź konstrukcji kominów przemysłowych, przedstawiłem na sympozjum [W-9] i w rozdziale monografii [R-2].
- Rozważania na temat wpływu korozji na odpowiedź poprzeczną kominów poddanych drganiom powodowanym przez wzbudzenie wirowe, przedstawiłem na konferencji [W-7], a artykuł ukazał się w materiałach [A-10] oraz, w znacznie rozbudowanej wersji, w czasopiśmie Instytutu Inżynierów Lądowych – Institution of Civil Engineers (ICE) – [A-25].
- Obszerne dwuczęściowe (teoria i zastosowania) podsumowanie prac na temat wzbudzenia wirowego opublikowałem w pracach [A-48] i [A-49].
- Wykorzystanie metod symulacji procesów stochastycznych (WAWS, AR) do określania obciążenia poprzecznego budowli powodowanego wzbudzeniem wirowym, przedstawiłem w pracy [A-22] i na konferencji [W-18].
- Rozważania dotyczące analizy wrażliwości odpowiedzi kominów przemysłowych na zmiany parametrów eksperymentalnych, opisujących proces wzbudzenia wirowego, prezentowałem w trakcie sympozjum [W-10] oraz w rozdziale monografii [R-1].
- Analizę podejść normowych zawartych w normach PN i Eurokodzie 1, w zakresie poprzecznego oddziaływania wiatru na kominy i porównanie wyników normowych do wyników uzyskanych według własnej metody i z własnego programu komputerowego, opublikowałem w [A-17].

Po kilku latach wróciłem do problematyki obciążenia wiatrem kominów, tym razem tylko stalowych, o stałej, zbieżnej i skokowo zmiennej średnicy. Współtworzyłem na podstawie literatury bazę kominów, dla których zmierzono in-situ drgania poprzeczne. W zespole pod moim kierunkiem, przeprowadzono obszerne obliczenia odpowiedzi tych konstrukcji na podłużne i poprzeczne oddziaływanie wiatru według procedur rekomendowanych przez PN i Eurokod. Wyniki pokazane zostały w trakcie konferencji [W-42], [W-44], a prace zostały opublikowane w [A-53] i [A-59].

W okresie przed i po doktoracie, w zespole Katedry Mechaniki Budowli Politechniki Lubelskiej wykonywaliśmy wiele prac zleconych związanych z oddziaływaniem wiatru. Dotyczyły one ważnych, nowych konstrukcji powstających w Polsce, jak np.: łukowy most stalowy Jana Pawła II w Puławach, mosty podwieszone: Siekierkowski w Warszawie i Jana Pawła II w Gdańsku, kładki pieszo-rowerowe w Krakowie, most Rędziński na obwodnicy Wrocławia, przekrycie stadionu Lecha w Poznaniu. Współpracowaliśmy ściśle z Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej, w którym znajduje się tunel aerodynamiczny. Współpraca z tym ośrodkiem polegała na wykonywaniu pomiarów modelowych i na

podstawie uzyskanych wyników przeprowadzeniu obliczeń komputerowych, głównie wykorzystujących MES oraz własne programy związane z symulacją pola prędkości wiatru WINDSYM (autorstwa prof. E. Błazik-Borowej, prof. J. Podgórskiego i dr. J. Bęca), Vortex Load, o którym wspominałem i inne, pozwalające implementować wyniki eksperymentalne. Takie połączenie numeryki i eksperymentu zaowocowało kilkoma artykułami naukowymi i rozdziałami w książkach [A-11], [A-14], [R-3] (most w Puławach), [A-16], [A-19], [R-6] (stadion Lecha), [A-18], [A-20], [A-21], [A-33], [A-44], [A-45], [R-4] (kładki w Krakowie), [R-5] (most we Wrocławiu). Wyniki były często prezentowane na konferencjach naukowych: [W-8], [W-11] (most w Puławach), [W-12], [W-15] (stadion Lecha), [W-16] (most we Wrocławiu), [W-17], [W-19]–[W-21] (kładki w Krakowie). Podsumowanie zagadnień związanych z oddziaływaniem wiatru na mosty i mosty dla pieszych przedstawiono w [R-8], a podsumowanie całego etapu współpracy z Laboratorium Inżynierii Wiatrowej zostało opublikowane w monografii [E-7], której byłem współedytorem.

W 2007 r. uczestniczyłem w badaniach prowadzonych przez prof. Ewę Błazik-Borową w tunelu aerodynamicznym LIW PK, dotyczących opływu płaskiego wokół dwóch przekrojów czworokątnych usytuowanych pojedynczo oraz jeden za drugim. Efektem współpracy były prezentacje wyników na konferencjach [W-13] i [W-14] oraz artykuły naukowe [A-12], [A-13], [A-15], [A-23].

W 2009 r. zostałem kierownikiem grantu KBN/NCN "*Wpływ struktury wiatru na obciążenie budowli oraz weryfikacja modeli matematycznych wybranych zjawisk dynamicznego oddziaływania wiatru na konstrukcje smukłe i prętowo-ciężnowe*". Wraz z zespołem prowadziłem badania na temat:

- Warstwy przyściennej w warunkach laboratoryjnych, artykuły naukowe z tego zakresu: [A-24], [A-26], [A-29], referaty na konferencjach: [W-24], [W-25], [W-28].
- Opływu sztywnych modeli prostopadłościennych, artykuły: [A-27], [A-32], [A-36], [A-40], [A-42], [R-10], konferencje: [W-22], [W-27], [W-30], [W-32], [W-37].
- Opływu sztywnych modeli kołowych, artykuły: [A-28], [A-31], [A-35], [A-37], [A-43], konferencje: [W-23], [W-26], [W-29].
- Opływu aeroelastycznych modeli kołowych, artykuł: [A-39], konferencja: [W-33].
- Opływu modeli aeroelastycznych masztów z odciągami, artykuły: [A-41], [A-47], konferencje: [W-31], [W-38].
- Opływu modeli sztywnych masztów bez i z oblodzeniem, artykuły: [A-34], [A-38], konferencje: [W-34], [W-35].

Szczegółową analizę opływu wokół prostopadłościaków przedstawiłem w monografii będącej podstawą o ubieganie się o stopień naukowy doktora habilitowanego, a różne związane z tą tematyką problemy, w pracach zespołowych lub samodzielnych:

- [A-46] i podczas konferencji [W-39], gdzie porównałem podłużne obciążenie wiatrem budynków wysokich, przyjęte na podstawie Eurokodu 1 oraz badań modelowych.
- [A-50], [A-52] i na konferencjach [W-41], [W-43], gdzie szczegółowo analizowałem obciążenie wiatrem dachów budynków średniej wysokości i wysokich na podstawie danych modelowych.

- [A-58], [A-62] i na konferencjach [W-45] i [W-48], w których analizowałem korelacje przestrzenno-czasową rozkładów ciśnienia zewnętrznego na powierzchniach obiektów prostopadłościennych oraz korelację ciśnienia zewnętrznego z parametrami napływającego powietrza.

Artykułem zaowocowała również współpraca z dr. inż. Grzegorzem Sztarbałą z Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie, w zakresie badań modelowych w tunelu aerodynamicznym LIW PK, dotyczących tuneli drogowych, za względu na rozprzestrzenianie się ognia i dymu [A-51], przedstawionym na konferencji [W-40].

Część badań modelowych wykorzystujemy w symulacjach Komputerowej Mechaniki Płynów – CFD, do walidacji modeli opływu. Docelowo wiąże się to z pracą doktorską mgr inż. Pauliny Jamińskiej, dla której jestem promotorem pomocniczym. Praca dotyczy współpracy bryły budynku z konstrukcją rusztowania przy nim postawionego. Wyniki dotyczące różnych modeli CFD w zakresie opływu prostopadłościanu zostały pokazane na konferencjach [W-36], [W-47] i w artykułach [A-55], [R-11]. Wykorzystanie badań modelowych służy również jako częściowa walidacja opływu budynek-rusztowanie [A-56], [W-46].

Innym zagadnieniem, podjętym w ostatnim okresie, jest weryfikacja modelu MES na podstawie pomiarów in-situ drgań. Problem dotyczy dużego, czterokondygnacyjnego budynku mieszkalnego. Głównym autorem jest mgr inż. Krzysztof Nepelski, dla którego jestem również promotorem pomocniczym w otworzonym przewodzie doktorskim. Badania i obliczenia w tym kierunku zaowocowały pracą [A-57].

### **5.3. Podsumowanie pracy badawczej**

Opublikowałem w sumie 36 artykułów w czasopismach, w tym 4 z listy JCR. Baza Scopus wykazuje 11 artykułów (core) oraz 12 prac drugorzędnych, zaś Web of Science – 6. Większość prac prezentowanych w trakcie konferencji ukazała się w materiałach konferencyjnych, które w przypadku konferencji pod egidą IAWQ są recenzowane przez 2 niezależnych recenzentów i większość ukazała się w formie książki. Wszystkie prace konferencyjne miały objętość 8-12 stron. W wykazie artykułów zamieszczonym w załączniku Z.2-1 uwzględniłem również te prace. Ponadto, jestem autorem 6 rozdziałów w monografiach w języku angielskim i 4 w monografiach w języku polskim. Jestem również autorem jednej monografii, która stanowi podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

Sumaryczny impact factor według daty ukazania się artykułów wynosi:

$$1,363(2010)+0,855(2011)+2\cdot0,905(2013) = 4,028,$$

zaś według danych z roku 2014:

$$IF=1,838+1,793+2\cdot0,584 = 4,799.$$

Web of Science wskazuje 6 cytowań, index  $h = 1$ , Scopus 14 cytowań (core) i 15 cytowań prac drugorzędnych.

Szczegółowe zestawienie pracy naukowej publikacyjnej znajduje się w Tabelach 1. i 2. oraz załącznikach Z.2-1, Z.2-2, Z.2-3, przy czym Z.2-3 odpowiada Tabeli 1. Ponadto, w załączniku Z.2-4 zamieściłem krótki opis wszystkich prac ze wskazaniem mojego w nich udziału. Prace w załączniku Z.2-4 podzieliłem na następujące grupy tematyczne:

1. Wzbudzenie wirowe konstrukcji smukłych o kołowych przekrojach poprzecznych.
2. Oddziaływanie wiatru na kominy stalowe według ujęć normowych.
3. Modelowanie MES wag aerodynamicznych.
4. Konstrukcje mostowe.
5. Oddziaływanie wiatru na przekrycie stadionu miejskiego Lecha w Poznaniu.
6. Badania modelowe opływu dwuwymiarowego wokół modeli prostopadłościennych o przekrojach kwadratowym i prostokątnym.
7. Modelowanie przepływu w tunelu aerodynamicznym.
8. Badania modelowe ciśnienia wiatru na powierzchniach zewnętrznych prostopadłościaków.
9. Badania modelowe ciśnienia wiatru na powierzchniach zewnętrznych modeli kołowych.
10. Badania modelowe oblodzonych struktur kratowych przy oddziaływaniu wiatru.
11. Badania modelowe odpowiedzi modeli aeroelastycznych masztów na oddziaływanie wiatru.
12. Badania modelowe odpowiedzi modeli aeroelastycznych o przekrojach kołowych na oddziaływanie wiatru.
13. Różne aspekty oddziaływania wiatru na wysokie budynki w świetle badań modelowych.
14. Badania modelowe przepływu w tunelach drogowych.
15. Podręcznik mechaniki budowli.
16. Komputerowa Mechanika Płynów – CFD.
17. Modelowanie MES budynku i jego weryfikacja na podstawie badań in-situ.

W załączniku Z.2-12 dołączyłem oświadczenia współautorów o moim procentowym udziale w artykułach wydrukowanych w czasopiśmie, wyszczególnionych w Tabeli 2. Dziesięć prac naukowych, podkreślonych w załączniku Z.2-4, które uważam za najważniejsze w swoim dorobku, zamieściłem w załączniku Z.2-13.

W okresie zatrudnienia w Politechnice Lubelskiej uczestniczyłem w pracach statutowych Katedry Mechaniki Budowli [G-1], grantie wewnętrznym Politechniki Lubelskiej [G-2], grantach KBN/NCN [G-3–G-5]. Aktualnie biorę udział w programie finansowanym ze środków funduszy norweskich oraz środków krajowych [G-6] oraz grantie NCBiR [G-7]. Zestawienie grantów, w których uczestniczyłem/uczestniczę umieściłem w załączniku Z.2-8.

Uczestniczyłem w 8 konferencjach polskich oraz 17 międzynarodowych. Wśród najważniejszych na świecie w dziedzinie inżynierii wiatrowej konferencjach, staram się aktywnie uczestniczyć co 4 lata w ICWE ([C-1]–[C-3], 3 razy), EACWE ([C-4]–[C-6], 3 razy) oraz CWE ([C-7], [C-8], 2 razy) i BBAA ([C-9], [C-10], 2 razy). Ponadto, konferencje międzynarodowe, w których uczestniczyłem to FMC20 [C-11], Footbridge4 [C-19], ETC13 [C-20] (po 1 razie). Wśród konferencji o zasięgu krajowym uczestniczyłem w konferencji Krynickiej ([C-12]–[C-14], 3 razy), FBTB ([C-15]–[C-18], 4 razy). W konferencjach brałem udział w sposób aktywny wygłaszając referaty. Część prac została przedstawiona przez współpra-



cowników. Ogółem, mój dorobek obejmuje 16 referatów na konferencjach krajowych i 32 na międzynarodowych. Szczegółowe zestawienie tytułów referatów i nazw konferencji, w których uczestniczyłem znajduje się w załącznikach Z.2-6 oraz Z.2-7.

Od roku 2001, (3WŚBL [C-21], EEBP4 [C-22]) jestem w Komitecie Organizacyjnym najpierw Ogólnopolskiego, a następnie Międzynarodowego Sympozjum – Wpływy Środowiskowe na Budowle i Ludzi (Environmental Effects on Buildings and People). Od roku 2007 (EEBP5, EEBP6, EEBP7, [C-23]–[C-25]) jestem sekretarzem Sympozjum. W każdym kolejnym sympozjum udaje się zgromadzić coraz więcej gości zagranicznych, będących wybitnymi naukowcami i ekspertami w dziedzinie meteorologii, oddziaływania wiatru, obciążenia śniegiem, obciążenia oblodzeniem, dynamiki budowli, itp.

W roku 2011 byłem członkiem Komitetu Naukowego 13<sup>th</sup> International Conference on Wind Engineering, Amsterdam, Holandia [C-3].

**Tabela 1. Działalność naukowa publikacyjna**

	Rodzaj osiągnięcia	Przed dokto- ratem	Po dokto- racie	Łącznie
1	Publikacje wyróżnione przez JCR		4	4
2	Publikacje konferencyjne znajdujące się w bazie Web of Science	1	1	2
3	Publikacje w recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym znajdującym się na liście MNiSzW	2	27	29
4	Publikacje w recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym nieznajdującym się na liście MNiSzW		1	1
5	Autorstwo monografii w języku polskim		1	1
6	Autorstwo rozdziału w monografii w języku angielskim		6	6
7	Autorstwo rozdziału w monografii w języku polskim		4	4
8	Autorstwo rozdziału w podręczniku akademickim		1	1
9*	Recenzowane referaty w materiałach konferencji krajowych	3		3
10*	Recenzowane referaty w materiałach konferencji międzynarodowych	2	21	23
11**	Przedstawione referaty na konferencjach krajowych	3	13	16
12**	Przedstawione referaty na konferencjach międzynarodowych	3	29	32

\* W wierszach 9 i 10 zestawilem liczbę publikacji, które ukazały się w materiałach konferencyjnych, w formie drukowanej lub załącznika CD/USB.

\*\* W wierszach 11 i 12 zestawilem referaty przedstawione na konferencjach. Część prac ukazała się w formie drukowanej uwzględnionej w wierszach 2-4.

**Tabela 2. Szczegółowe zestawienie artykułów według czasopism i rozdziałów w monografiach oraz liczba punktów**

Tytuł czasopisma	Liczba artykułów	Punkty MNiSzW z 2014 r	Suma
Roads and Bridges - Drogi i Mosty	3	5	15
Inżynieria i Budownictwo	4	4	16
Budownictwo i Architektura	9	3	27
Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce	6	2*	12
Engineering Structures	1	40	40
Archives of Civil and Mechanical Engineering	1	25	25
Journal of Physics: Conference Series	1	10	10
Wind Engineering into the 21st century. 10 ICWE	1	10	10
Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering and Computational Mechanics	1	-	-
Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska – Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury	1	5	5
WIND AND STRUCTURES	2	25	50
LOGISTYKA	3	10	30
Technical Transactions	2	6	12
Task Quarterly	1	5	5
Rozdziały w monografiach w języku angielskim	6	5	30
Rozdziały w monografiach w języku polskim	4	4	16
Monografie	1	20	20
Razem	46		323
Liczba cytowań \ indeks Hirsha Web of Science Scopus Google Scholar	Stan na 03.09.2015 6 (bez autocytowań) / 1 7 (bez autocytowań) / nie podawany 61 / 4		

\* punkty za 2012 r., czasopisma nie ma na liście od 2013 r., zostało wznowione w 2015 r.

## 6. Najważniejsze osiągnięcia poza działalnością naukowo-badawczą

### 6.1. Dydaktyka i popularyzowanie nauki

W trakcie mojej krótkiej pracy w Uniwersytecie Przyrodniczym (wcześniej Akademii Rolniczej) w Lublinie, prowadziłem ćwiczenia i projektowanie z przedmiotów budownictwa rolniczego, dotyczących obiektów związanych z produkcją owoców i warzyw oraz obiektów związanych z chowem zwierząt gospodarskich.

W trakcie mojej pracy w Politechnice Lubelskiej prowadziłem następujące zajęcia:

- Mechanika teoretyczna – wykład, ćwiczenia, projektowanie.
- Mechanika budowli I – ćwiczenia, projektowanie.
- Mechanika budowli II – projektowanie.
- Aerodynamika i dynamika konstrukcji inżynierskich – wykład, laboratorium.
- Obciążenia środowiskowe – wykład, laboratorium.
- Metody komputerowe – wykład, laboratorium.
- Metody obliczeniowe – laboratorium.
- Informatyka – laboratorium.
- Wytrzymałość materiałów – ćwiczenia, projektowanie.
- W języku angielskim od 2011 r. – Structural Mechanics I – wykład, projektowanie,

w ramach programu ERASMUS.

Przez kilka lat uczestniczyłem aktywnie w Festiwalu Nauki w Lublinie, prowadząc 45 minutowe prezentacje na temat katastrof budowlanych spowodowanych oddziaływaniami środowiskowymi. Ponadto, pomagałem przy przeprowadzeniu doświadczenia Chladniego, którego autorem jest prof. J. Podgórski.

W ramach reklamowania Politechniki Lubelskiej uczestniczyłem w wyjazdach do szkół w rejonie Lubelszczyzny, mających na celu zachęcanie potencjalnych kandydatów do wstępowania w progi uczelni.

Przez 5 lat byłem opiekunem roku studentów na kierunku Budownictwo.

Jestem współautorem książki [R-7] dotyczącej metodyki nauczania podstaw statyki w ramach przedmiotów mechanika teoretyczna i mechanika budowli, z wykorzystaniem nowoczesnych metod multimedialnych.

Jako aktywny podróżnik, do pewnego rodzaju dokonań edukacyjnych zaliczę również wystąpienia podczas zjazdów podróżniczych, w których głównie uczestniczy młodzież – OSOTT-u (Ogólnopolskiego Spotkania Obieżyświatów Trampów i Turystów, 2012, 2013, 2014) i Festiwalu Slajdów Podróżniczych w Katowicach (2015) oraz publikowanie relacji z wyjazdów w corocznej książce "Przez świat" (2013, 2014), która od prawie 20 lat stanowi kopalnię wiedzy dla globtroterów.

## **6.2. Opieka naukowa nad studentami**

Byłem opiekunem 22 prac dyplomowych magisterskich, 6 kolejnych jest w trakcie realizacji. Większość tematów obejmowała aerodynamikę i dynamikę budowli, np. kładek dla pieszych, mostów, wiaduktów, budynków wysokich, rollercoastra, kominów, napowietrznych linii energetycznych i konstrukcji wsporczych pod nie. W pracach staram się łączyć podejścia rekomendowane przez normy (głównie Eurokod) z dodatkowymi analizami wykonanymi na podstawie badań in-situ, pomiarów w tunelu aerodynamicznym lub, jeśli nie ma innej możliwości, na podstawie literatury przedmiotu. Efektem współpracy z absolwentami wydziału było kilka artykułów naukowych [A-30], [A-54], [A-60], [A-61].

W roku 2013 byłem uczestnikiem (prowadziłem sesje i oceniałem referaty) „Czasu inżynierów”, czyli ogólnopolskiego spotkania studentów kierunków Budownictwo, zatytułowanym – „Ogólnopolskie Seminarium Studentów Budownictwa – Budujemy Pasję”, 13-16.11.2013, Lublin.

### **6.3. Opieka naukowa nad doktorantami**

Jestem promotorem pomocniczym w dwóch otwartych przewodach doktorskich:

- Mgr inż. Krzysztofa Nepelskiego. Data otwarcia przewodu: 20.12.2012. Temat pracy doktorskiej: *"Numeryczne modelowanie pracy konstrukcji posadowionej na lessowym podłożu gruntowym"*. Promotor: dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowa.
- Mgr inż. Pauliny Jamińskiej. Data otwarcia przewodu: 26.03.2014. Temat pracy doktorskiej: *"Analiza oddziaływania wiatru na układ budynek-rusztowanie"*. Promotor: dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowa.

### **6.4. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism**

Od 2007 r. jestem zastępcą redaktora czasopisma "Budownictwo i Architektura" (od 2013 redaktorem tematycznym). Pełnię również funkcję redaktora technicznego tego czasopisma.

W 2015 byłem redaktorem wydania numeru Technical Transactions, czasopisma Politechniki Krakowskiej.

W trakcie pracy w Politechnice Lubelskiej przeprowadziłem edycję wielu książek: przede wszystkim numerów czasopisma „Budownictwo i Architektura” (łącznie od 2007 r. – 20 numerów) [E-10]. Przeprowadziłem edycję 6 książek w języku angielskim [E-2]–[E-6], [E-8] oraz 2 w języku polskim [E-1] i [E-7], związanych głównie z cyklem konferencji EEBP. Współredagowałem prace studenckie w książce „Czas Inżynierów” [E-9] oraz Informator Wydziału Budownictwa i Architektury [E-11]. Szczegółowe informacje umieściłem w załączniku Z.2-5.

### **6.5. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych**

Od 2006 r. jestem jego członkiem Polskiego Stowarzyszenia Inżynierii Wiatrowej (PSIW), które jest członkiem International Association for Wind Engineering (IAWE), a od 2008 r. pełnię funkcję skarbnika.

### **6.6. Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich**

W trakcie pracy w Politechnice Lubelskiej często wyjeżdżałem na konferencje międzynarodowe. Dodatkowo, uczestniczyłem w wyjeździe do tunelu J.Verna w Nantes we Francji, przy okazji przeprowadzanych tam badań modelowych sekcji mostu Jana Pawła II w Gdańsku.

Brałem udział w cyklicznych szkoleniach tzw. szkołach letnich, organizowanych przez prof. Tadeusza Chmielewskiego z Politechniki Opolskiej, na które jako wykładowcy przyjeżdżali najwybitniejsi naukowcy w dziedzinie inżynierii wiatrowej i dynamiki budowli [S-1]–[S-4].

W 2015 r. uczestniczyłem w specjalnym sympozjum organizowanym przez Eindhoven University of Technology, poruszającym tematy oddziaływania wiatru w skali obiektu budowlanego i w skali miasta [S-5].

W trakcie wyjazdów zagranicznych miałem okazję zapoznania się z kilkoma najnowocześniejszymi tunelami aerodynamicznymi i klimatycznymi: w Nantes, Francja (CSTB), Florencji (University of Florence), Kopenhadze (Danish Maritime Institute), Hamburgu (Max Planck Institute for Meteorology), Szanghaju (Tongji University).

Częste czynne uczestnictwo w konferencjach zagranicznych oraz opublikowanie kilku prac w czasopismach wiodących w dziedzinie inżynierii wiatrowej, zaowocowało nawiązaniem kontaktów z naukowcami z całego świata. Efektem tego było m.in. członkostwo w Komitecie Naukowym 13<sup>th</sup> International Conference on Wind Engineering i prowadzenie dwóch sesji w czasie tej konferencji. ICWE jest najważniejszą konferencją w zakresie inżynierii wiatrowej. Nawiązane kontakty przyczyniły się do rozszerzenia zakresu sympozjów organizowanych cyklicznie przez Laboratorium Inżynierii Wiatrowej PK i Katedrę Mechaniki Budowli PL – Environmental Effects on Buildings and People. Zauważenie moich artykułów skutkuje również wykonywaniem przeze mnie recenzji prac konferencyjnych i do regularnych czasopism.

Uczestniczyłem w kursach praktycznego wykorzystania Metody Elementów Skończonych w analizie statycznej i dynamicznej konstrukcji (Abaqus) [S-6] oraz Metody Objętości Skończonych w CFD (Fluent) [S-7], [S-8].

Szczegółowe zestawienie odbytych staży i szkoleń znajduje się w załączniku Z.2-9.

### **6.7. Przykładowe prace zlecone wykonane w zespołach**

Uczestniczyłem w opracowaniach technicznych w zakresie aerodynamiki i dynamiki budowli [P1–P8]:

- Obliczeniach aerodynamicznych mostu podwieszonego Jana Pawła II w Gdańsku.
- Obliczeniach aerodynamicznych mostu łukowego Jana Pawła II w Puławach.
- Obliczeniach aerodynamicznych mostu Rędziańskiego na obwodnicy Wrocławia.
- Obliczeniach aerodynamicznych kładki Kazimierz-Podgórze w Krakowie.
- Obliczeniach aerodynamicznych kładki Kazimierz-Ludwinów w Krakowie.
- Obliczeniach aerodynamicznych przekrycia stadionu miejskiego Lecha w Poznaniu.
- Projektowaniu tłumików drgań przekrycia stadionu miejskiego Lecha w Poznaniu.
- Badaniach modelowych oddziaływania wiatru na tunele drogowe.

Zakres moich zadań w realizacji tych prac obejmował głównie modelowanie MES i modelowanie oddziaływania wiatru na konstrukcje będące przedmiotem analizy.

W ostatniej z wymienionych prac byłem odpowiedzialny za wykonanie pomiarów w tunelu aerodynamicznym.

Szczegółowe zestawienie umieściłem się w załączniku Z.2-10.

### **6.8. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych**

Recenzowałem prace w następujących czasopismach:

- Technical Transactions – Czasopismo Techniczne (6 pkt MNiSW),
  - Budownictwo i Architektura (3 pkt MNiSW)
- oraz znajdujących się w bazie JCR:
- Engineering Structures (40 pkt MNiSW, IF=1,838),
  - Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (35 pkt. MNiSW, IF=1,414),
  - Wind and Structures (25 pkt. MNiSW, IF = 0,584).

### **6.9. Otrzymane nagrody i wyróżnienia**

W trakcie pracy zawodowej w Politechnice Lubelskiej otrzymałem 6 nagród organizacyjnych i naukowych [N-1]–[N-5], których zestawienie zamieściłem w załączniku Z.2-11.

