

Załącznik 4a.

do Wniosku z dnia 18.03.2019 o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

## AUTOREFERAT

dr inż. Dorota Jasińska

Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Instytut Mechaniki Budowli  
Katedra Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych

Kraków, marzec 2019 r.

*Dorota Jasińska*

**Spis treści**

1.	Imię i nazwisko.....	3
2.	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych / artystycznych.....	3
3.1.	Informacje o pełnionych funkcjach w Politechnice Krakowskiej.....	3
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
5.	Aktywność dotycząca zrealizowanych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych, prac badawczych, ekspertyz, projektów badawczych.....	8
6.	Informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej, odbytych stażach krajowych lub zagranicznych i działalności popularyzującej naukę.....	12
6.1.	Działalność dydaktyczna.....	12
6.2.	Działalność organizacyjna.....	12
6.3.	Działalność popularyzatorska .....	13
7.	Otrzymane nagrody i odznaczenia .....	13
8.	Podsumowanie dorobku.....	13
8.1.	Parametryczne zestawienie dorobku naukowego.....	13
8.2.	Zestawienie ilościowe dorobku publikacyjnego .....	14
8.3.	Parametryczne zestawienie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego.....	15



**1. Imię i nazwisko:**

Dorota Anna Jasińska

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

- 1988 Dyplom magistra inżyniera podstawowych problemów techniki, specjalność mechanika stosowana, uzyskany po pięcioletnich studiach na wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Praca magisterska: *"Metoda funkcji brzegowych w zastosowaniu do wybranych płaskich zagadnień mechaniki"*, promotor prof. dr hab. inż. Janusz Orkisz.

**Studia ukończone z wyróżnieniem**

- 1994 Dyplom doktora nauk technicznych, specjalność: budownictwo. Rozprawa doktorska: *„Dwuwymiarowe kontaktowe zagadnienie ciała sprężystego w warunkach tarcia dynamicznego"*, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Promotor: prof. dr hab. inż. Gwidon Szefer, recenzenci; prof. dr hab. inż. Roman Ciesielski, prof. dr hab. inż. Roman Bogacz, prof. dr hab. inż. Zbigniew Olesiak.

**Rozprawa doktorska została wyróżniona przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej PK.**

**Otrzymałam również Nagrodę Prezesa Rady Ministrów za wyróżniającą się rozprawę doktorską.**

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych**

1994 - 1995                      asystent  
1995 - obecnie                 adiunkt naukowo-dydaktyczny

Cały okres zatrudnienia w Katedrze Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych Instytutu Mechaniki Budowli na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

**3.1. Informacje o pełnionych funkcjach w Politechnice Krakowskiej**

1. Prodziekan Wydziału Inżynierii Lądowej w kadencji 2012 - 2016
2. Prodziekan Wydziału Inżynierii Lądowej w latach 2016 - obecnie
3. Przewodniczący Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Inżynierii Lądowej kolejno w latach 2013, 2014, 2015, 2016
4. Koordynator programu Erasmus Wydziału Inżynierii Lądowej w latach 2016 – obecnie.



**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.):**

a) tytuł osiągnięcia naukowego / artystycznego

*"Molecular-Continuum Modelling of Graphene and Carbon Nanotubes by the Finite Element Method"*

b) (autor / autorzy, tytuł / tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

Dorota Jasińska, Monografia: *"Molecular-Continuum Modeling of Graphene and Carbon Nanotubes by the Finite Element Method"*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Lądowa, Kraków 2019, ISBN 978-83-65991-46-1

Redaktor naukowy: prof. dr hab. Inż. Leszek Mikulski

Recenzenci: dr hab. inż. Anna Kucaba-Piętał, prof. P.Rzesz.  
prof. dr hab. inż. Mieczysław Kuczma

c) omówienie celu naukowego / artystycznego w/w. prac / pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich praktycznego wykorzystania.

***Cel i osiągnięcia naukowe***

W monografii podjęłam tematykę modelowania mechanicznych własności nanostruktur atomowych, zbudowanych z odmian alotropowych węgla o hybrydyzacji sp<sup>2</sup> : grafenu i nanorurek węglowych. Celem pracy było zaproponowanie szeregu modeli obliczeniowych, bazujących na polach siłowych, zdefiniowanych przez wielociałowe potencjały międzyatomowe. Użycie tych modeli umożliwia analizę struktur atomowych jako zadań statyki molekularnej w formalizmie metody elementów skończonych.

W pracy wprowadzono następujące autorskie modele:

A. Model molekularno – strukturalny, w którym struktura atomowa odwzorowana jest przez układ prętów i trójwęzłowych konektorów.

Pręty – o nieliniowym związku konstytutywnym, wyprowadzonym w oparciu o dwuciałową część potencjałów międzyatomowych – odwzorowują kowalencyjne wiązania typu  $\sigma$  o hybrydyzacji sp<sup>2</sup> między atomami węgla. Trójwęzłowe elementy konektorowe odwzorowują oddziaływania zależne od kątów między wiązaniami atomowymi. Ich macierze sztywności zbudowane są w oparciu o wielociałową część potencjałów międzyatomowych. Elementy zostały wprowadzone do pakietu obliczeniowego MES Abaqus przy użyciu własnych kodów numerycznych, napisanych w języku Fortran (poprzez procedury UEL i UMAT, dostępne w pakiecie Abaqus). Wszystkie formuły zostały niezależnie wyprowadzone dla dwóch potencjałów międzyatomowych: zmodyfikowanego potencjału Morsa oraz potencjału Tersoffa-Brennera.

Weryfikację modeli przeprowadziłam wykonując szereg testów numerycznych, modelujących różnorodne deformacje warstwy grafenowej i nanorurek węglowych.

Następnie porównałam zaproponowane podejście z istniejącymi w literaturze modelami, opartymi na jednowymiarowych elementach skończonych, opisujących nanostrukturę przez układ belek lub prętów kratowych. Wykazałam wyższość zaproponowanej przeze mnie koncepcji.

B. Atomistyczny element skończony (atomic-scale finite element- AFEM), zaproponowany w wersji autorskiej (6-cio węzłowej), różnej od sformułowań dostępnych w literaturze (10-cio węzłowych).

Analiza stabilnych nanostruktur, w których nie występuje tworzenie nowych wiązań międzyatomowych, przy użyciu atomistycznych elementów skończonych jest tak dokładna jak rozwiązanie zadania mechaniki molekularnej (statyki molekularnej), przy istotnie mniejszych nakładach obliczeniowych w porównaniu z np. metodą gradientu sprzężonego, zwyczajowo używaną w symulacjach mechaniki molekularnej. Macierze sztywności elementu atomistycznego wyprowadziłam niezależnie dla dwóch potencjałów atomowych (zmodyfikowanego Morsa i Tersoffa–Brennera). Na podstawie numerycznych testów weryfikujących udowodniłam równoważność obu zaproponowanych metod w przypadku modelu opartego na zmodyfikowanym potencjale Morsa oraz wyższość AFEM nad modelem molekularno-strukturalnym w przypadku modelu bazującego na potencjale Tersoffa–Brennera (oraz innych potencjałach w których człony odpowiedzialne za oddziaływania wielociałowe są sprzężone z członami opisującymi oddziaływanie dwuciałowe). Element został wprowadzony do pakietu Abaqus przy użyciu własnego kodu numerycznego z zastosowaniem procedury UEL, niezależnie dla obu potencjałów.

C. Model molekularno-ciągły, czyli model materiału kontynualnego o związkach konstytutywnych wyznaczonych w oparciu o energetyczną równowagę struktury atomowej i dwuwymiarowego kontinuum bazującą na zmodyfikowanej hipotezie Cauchy-Borna.

W wyniku analizy deformacji komórki elementarnej grafenu (przy założeniu teorii dużych przemieszczeń i małych odkształceń) zaproponowałam hiper-sprężysty model konstytutywny materiału grafenu. Analiza otrzymanego potencjału sprężystego w przyjętym zakresie odkształceń, pozwoliła na zaproponowanie uproszczonego związku konstytutywnego dla izotropowego materiału hyposprężystego o parametrach materiałowych, zdefiniowanych jako funkcje niezmienników tensora odkształcenia. Zależność modułu Younga i współczynnika Poissona tego modelu od niezmienników tensora odkształcenia zestawiłam w formie tabelarycznej dla obydwu rozważanych potencjałów atomowych. Ponieważ pakiet Abaqus zawiera opcję wprowadzenia parametrów materiałowych w takiej postaci, tak sformułowany związek konstytutywny jest dostępny dla każdego użytkownika tego programu (oraz innych zaawansowanych pakietów MES) bez konieczności budowania własnych modeli materiałowych struktury. To znacznie upraszcza modelowanie grafenu i nanorurek węglowych.

W związku ze skomplikowaną postacią rozważanych funkcji potencjałów międzyatomowych wykorzystywanych w modelu, w celu zdefiniowania potencjału sprężystego ekwiwalentnego kontinuum struktury grafenu oraz symbolicznego wyznaczenia na jego podstawie macierzy podatności i parametrów materiałowych, napisałam program w środowisku Maxima. Jest to program typu CAS (system algebry komputerowej), pozwalający zarówno na obliczenia symboliczne, jak i numeryczne.

W celu weryfikacji zaproponowanych związków konstytutywnych przeprowadziłam szereg analiz numerycznych, porównując zachowanie grafenu i nanorurek węglowych w różnych stanach obciążeń. Struktury były modelowane: (i) jako ciągła powłoka hyposprężysta (model C), (ii) jako ciągła powłoka o materiale liniowo sprężystym, (iii) jako dyskretna struktura atomowa przy użyciu atomistycznych elementów skończonych (model B). Analiza wykazała wysoką zgodność wyników uzyskanych przy użyciu modeli B i C, pokazując jednocześnie, że użycie materiału liniowo sprężystego w modelowaniu nanostruktur na bazie grafenu skutkuje istotnym przeszacowaniem ich własności mechanicznych. Zaproponowany hyposprężysty model materiału poprawnie odwzorowuje zachowanie grafenu i nanorurek węglowych w zakresie odkształceń 0-0.07, stanowiąc łatwą w zastosowaniu i wydajną numerycznie alternatywę dla podejścia mechaniki molekularnej, wymagającego precyzyjnego odwzorowania struktury atomowej przez siatkę elementów skończonych, co istotnie zwiększa rozmiar zadania i czas obliczeń.

Przy użyciu zaproponowanych modeli wykonałam szereg obliczeń, analizując zachowanie grafenu i nanorurek w różnych stanach obciążeń. Zbadałam wpływ średnicy i chiralności nanorurek na ich własności mechaniczne: globalny moduł Younga nanorurki traktowanej jako cienkościenny cylinder oraz jej wytrzymałość. Przeanalizowałam także wpływ defektów sieci atomowej:

transformacji Stone-Wales'a oraz pojedynczych i podwójnych wakancji na właściwości sprężyste i wytrzymałość struktury oraz zagadnienia inicjacji zniszczenia.

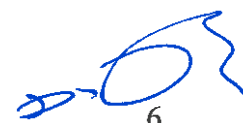
Dodatkowo przeanalizowałam szereg zagadnień kontaktowych nanoelementów. Sformułowanie zadania kontaktu, uwzględniające siły kohezji wynikające z oddziaływań van der Waalsa, wprowadziłam do modelu MES przez stworzenie własnego elementu kontaktowego, z pomocą dostępnej w Abaqusie procedury UINTER. Przedstawiłam symulację numeryczną eksperymentu wciskania końcówki mikroskopu sił atomowych w pojedynczą warstwę grafenu oraz zadanie deformacji nanorurek węglowych o różnych średnicach pod wpływem sił kohezji na skutek kontaktu z podłożem z tworzywa sztucznego (polietylenu).

### ***Ogólna charakterystyka monografii***

Monografia obejmuje 154 strony i składa się z 8 rozdziałów, spisu cytowanej literatury w liczbie 233 pozycji oraz streszczeń w języku polskim, angielskim i niemieckim. W rozdziale pierwszym zebrane zostały podstawowe informacje dotyczące nanostruktur grafenu i nanorurek węglowych, dotyczące morfologii, właściwości, technik wytwarzania, zastosowań oraz metod modelowania. W rozdziale drugim został zaproponowany molekularno-strukturalny model (A). Szczegółowe formuły wyprowadzone są dla potencjałów międzyatomowych zmodyfikowanego Morsa i Tersoffa-Brennera. Weryfikacja numeryczna tego modelu wraz z porównaniem z istniejącymi w literaturze modelami strukturalnymi znajdują się w rozdziale 3. W rozdziale 4 wprowadzony został atomistyczny element skończony (B). Rozdział 5 zawiera szereg analiz numerycznych zadań rozciągania grafenu oraz rozciągania, skręcania i zginania nanorurek o różnych chiralnościach – zarówno bez defektów jak i z różnymi defektami struktury atomowej. Badany był wpływ chiralności, średnicy i defektów sieci atomowej na własności sprężyste i wytrzymałość struktury. W rozdziale 6 opisany został model kontaktu, uwzględniający siły kohezji wynikające z oddziaływań van der Waalsa. Sformułowany został kohezyjny element kontaktowy. Przy jego użyciu przeprowadzona została analiza numeryczna zadania indentacji membrany grafenowej za pomocą końcówki mikroskopu sił atomowych oraz zadania kontaktu nanorurek węglowych z polimerowym podłożem. W rozdziale 7 zaproponowane zostały hipersprężyste a następnie hyposprężyste związki konstytutywne materiału grafenu bazujące na zmodyfikowanej hipotezie Cauchy-Borna. Model został zweryfikowany w szeregu testów numerycznych. Rozdział 8 zawiera podsumowanie i wnioski wynikające z całości zagadnień omawianych w monografii oraz omówienie oryginalnych elementów pracy. Przedstawiłam w nim również propozycje dalszych prac i kierunków badań. Monografia kończy się zestawieniem wykorzystanej literatury oraz streszczeniami w języku polskim, angielskim i niemieckim.

### ***Oryginalne elementy pracy:***

- Zaproponowanie molekularno- strukturalnego modelu grafenu i nanorurek węglowych. Wyprowadzenie szczegółowych równań modelu dla potencjału międzyatomowego modyfikowanego Morsa. Wykazanie, na podstawie szeregu testów numerycznych, wyższości zaproponowanego podejścia w modelowaniu nanostruktur węglowych nad analogicznymi modelami dostępnymi w literaturze.
- Zaproponowanie 6-węzłowego atomistycznego elementu skończonego, różniącego się od elementu opisanego w literaturze (10 węzłowego). Wyprowadzenie szczegółowych wzorów na macierz sztywności i wektor sił węzłowych elementu dla dwóch potencjałów międzyatomowych modyfikowanego Morsa oraz Tersoffa-Brennera.
- Zaproponowanie związków konstytutywnych materiału hipersprężystego, a następnie hyposprężystego, bazujących na oddziaływaniach międzyatomowych, pozwalających na modelowanie grafenu i nanorurek węglowych przy pomocy ciągłych elementów powłokowych. Wyprowadzenie szczegółowych postaci tych związków dla obu dyskusyjnych potencjałów międzyatomowych w oparciu o zmodyfikowaną hipotezę Cauchy-Borna. Wyznaczenie tabelarycznych zależności parametrów sprężystych modelu w funkcji niezmienników tensora odkształcenia, co pozwala na zastosowanie go w komercyjnych pakietach MES bez konieczności budowania własnych procedur numerycznych.



6

- Wyprowadzenie macierzy sztywności MES kohezyjnego elementu kontaktowego bazującego na oddziaływaniach van der Waalsa.
- Zaimplementowanie powyższych modeli w pakiecie MES Abaqus, co wymagało stworzenia własnych kodów numerycznych ( w języku Fortran) i wykorzystania dostępnych w pakiecie procedur: UMAT – do stworzenia materiału elementu prętowego opisującego oddziaływania międzyatomowe w modelu molekularno-strukturalnym, UEL – do budowy atomistycznego elementu skończonego oraz trójwęzłowego konektora opisującego oddziaływania wielociałowe w modelu molekularno-strukturalnym, a także UINTER do zdefiniowania kohezyjnego elementu kontaktowego.
- Stworzenie szeregu kodów numerycznych (w językach Fortran, C i Python), służących do automatycznego generowania plików wejściowych do pakietu Abaqus, definiujących elementy skończone i współrzędne węzłów siatki MES dla grafenu, achiralnych oraz chiralnych nanorurek węglowych, a także pozwalających na automatyczne wprowadzanie defektów sieci atomowej.
- Stworzenie kodów numerycznych (w języku Python) do postprocesingu i graficznej prezentacji wyników
- Stworzenie programu do wyznaczenia potencjałów hipersprężystych i parametrów materiałowych konstytutywnych związków hyposprężystych dla obu analizowanych potencjałów międzyatomowych. Obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem systemu algebry komputerowej Maxima, środowiska pozwalającego zarówno na obliczenia symboliczne, jak i numeryczne.
- Przeprowadzenie szeregu analiz numerycznych z wykorzystaniem powyższych modeli i procedur opisujących deformację szeregu struktur na bazie grafenu ( również z defektami sieci atomowej) w różnych stanach obciążeń.

***Możliwe kierunki wykorzystania osiągniętych wyników:***

Metody modelowania nanostruktur materiałowych, zaproponowane w monografii, mogą być z powodzeniem wykorzystane w:

- Analizie wieloskalowej nanostruktur materiałowych na bazie grafenu w której obszary posiadające defekty lub znacznie wyciągnięte są opisane zaproponowanymi modelami dyskretnymi, natomiast pozostałe fragmenty są hyposprężystymi elementami powłokowymi. Podejście to pozwala na analizę takich zjawisk jak inicjacja i propagacja zniszczenia struktury, przy jednoczesnym ograniczeniu rozmiaru zadania.  
Wszystkie modele zaproponowane w tej monografii można bezproblemowo łączyć z konwencjonalnymi elementami skończonymi pozwalając na łatwe modelowanie skomplikowanych układów (np. NEMS – nanoelectromechanical systems).
- Modelowaniu struktur wielowarstwowych (wielościennych nanorurek węglowych oraz warstw grafitu, składających się z wielu warstw grafenu) z wykorzystaniem zaproponowanego kohezyjnego sformułowania kontaktu do opisu oddziaływań van der Waalsa między warstwami struktury.
- Modelowaniu nanokompozytowych materiałów konstrukcyjnych, np. betonu zbrojonego nanorurkami, czy ceramicznych materiałów budowlanych, których warstwy powierzchniowe są utwardzone nanostrukturami węgla.
- Analizie elementów konstrukcji budowlanych, w których grafen lub nanorurki węglowe zostały użyte ze względu na inne, niż mechaniczne własności (np. jako powłoki fotowoltaiczne elewacji budynków, powłoki na szyby okienne lub ekrany dźwiękoszczelne).

## 5. Aktywność dotycząca zrealizowanych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych, prac badawczych, ekspertyz, projektów badawczych

Tematyka badawcza podejmowana przeze mnie po doktoracie i związany z nią udział w projektach badawczych, są różnorodne. Ogólnie można je określić jako zagadnienia mechaniki materiałów i konstrukcji. Poszczególne obszary moich zainteresowań opiszę w porządku chronologicznym.

### A. Mechanika kontaktu

Bezpośrednio po obronie doktoratu kontynuowałam tematykę zagadnień kontaktowych, którymi zajmowałam się w pracy doktorskiej. W ramach projektu badawczego [II J2] analizowałam zadania kontaktu ciał hipersprężystych w warunkach tarcia dynamicznego. Strefa kontaktu została opisana przy użyciu materialnej powierzchni osobliwej o właściwościach opisujących zarówno oddziaływania normalne jak i tarcie pomiędzy ciałami w kontakcie. . Analizę numeryczną prowadziłam w formalizmie metody elementów skończonych, przy pomocy oprogramowania, które w większości stworzyłam sama. Wyniki analiz zaprezentowałam na międzynarodowych konferencjach [II L2], [II L3] oraz w publikacjach [II E12], [II E13], [II E20]. Tematykę kontaktu kontynuowałam w pracach w projekcie badawczym [II J3], w którym zajmowałam się tematyką szorstkiego kontaktu ciągłych w konstrukcjach powłokowych.

W roku 1996 urodziłam drugiego syna i przebywałam na urlopie macierzyńskim. Następnie w latach 2000-2003, w związku z opieką nad dziećmi, przebywałam na urlopie wychowawczym, a następnie urlopie bezpłatnym. Choć po powrocie do pracy moje zainteresowania badawcze koncentrowały się na innych zagadnieniach mechaniki, w wielu moich pracach nadal pojawiały się zagadnienia kontaktowe, od skali nano [II E 21], przez skalę mikro [II E 9], [II E 11], aż po skalę makro – w analizie połączeń w konstrukcjach budowlanych poddanych obciążeniom dynamicznym [II E 28], [II E 29].

### B. Nanomechanika – modelowanie struktur materiałowych

Tematykę modelowania nanostruktur materiałowych podjęłam we współpracy z prof. dr hab. inż. Gwidonem Szeferem, kierownikiem Katedry Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych Instytutu Mechaniki Budowli PK, moim ówczesnym bezpośrednim przełożonym. Moje zainteresowanie zagadnieniami nanomechaniki rozpoczęło się od udziału w projekcie badawczym [II J4], w którym, w ramach zadania „molekularne modelowanie procesów deformacji”, zajmowałam się analizą deformacji i naprężeń w metalach, metodami dynamiki molekularnej. Symulacje prowadziłam w programie LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator). Fragmenty oprogramowania, dotyczące wprowadzenia danych, postprocesingu (rozdzielenia naprężeń na część pochodzącą od potencjału i energii kinetycznej) stworzyłam samodzielnie. Analizowałam zadania deformacji pod wpływem obciążeń cyklicznych oraz propagacji szczelin w nanostrukturach miedzi. Obliczenia wykonałam z użyciem trzech typów potencjałów molekularnych: Lennarda-Jonesa, Morse'a oraz EAM (embedded atom method). Tematykę tę kontynuowałam w ramach projektu badawczego [II J5]. Zajmowałam się w nim modelowaniem numerycznym nanostruktur grafenu oraz nanorurek węglowych. Symulacje prowadziłam metodami dynamiki molekularnej, statyki molekularnej (w stworzonym przez siebie oprogramowaniu), a następnie z użyciem modelu kontynuualno-molekularnego, bazującego na metodzie elementów skończonych. Analizowałam naprężenia oraz moduły Younga w pojedynczym wiązaniu C-C, traktowanym jako pręt kratowy, przy założeniu nieliniowości geometrycznej, dla różnych miar odkształceń i różnych potencjałów intermolekularnych. Modelowałam różne deformacje grafenu, nanorurek węglowych oraz kompozytów wzmacnianych nanorurkami, a także zadanie kontaktu warstwy grafenu z ciałem kontynuualnym. Wyniki prac zostały przedstawione w publikacjach [II E10], [II E25], [II E32], [II



E35]. Tematykę tę prezentowałam na konferencjach [II L5], [II L6] oraz na posiedzeniu Sekcji Mechaniki Materiałów KM PAN [II L7]. W kolejnych publikacjach i wystąpieniach analizowałam wielowarstwowy grafen z uwzględnieniem oddziaływań van der Waalsa między warstwami [II L8], rozbudowałam model kontaktu w nanoskali, wzbogacając go o człon kohezyjny, uwzględniający oddziaływania van der Waalsa [II E21] oraz zaproponowałam kontynuálny hyposprężysty model konstytutywny grafenu i nanorurek węglowych, który przedstawiłam na międzynarodowej konferencji [II L10].

Kontynuacją moich zainteresowań tematyką modelowania nanostruktur materiałowych jest monografia, stanowiąca rozprawę habilitacyjną.

### **C. Mechanika materiałów komórkowych o właściwościach auksetycznych oraz auksetycznych makrostruktur periodycznych**

Równocześnie prowadziłam badania dotyczące materiałów komórkowych o budowie, skutkującej efektem ujemnego współczynnika Poissona struktury w skali makro. Auksetyczność materiałów komórkowych wynika z budowy ich szkieletów, tworzących struktury wklęsłe. Analizowane przeze mnie anizotropowe materiały komórkowe mają komórki otwarte o płaskiej strukturze periodycznej, zdefiniowanej przez układ węzłów szkieletu, który decyduje o własnościach sprężystych. Szkielet struktury jest modelowany jako układ belek Timoshenki połączonych w sztywnych węzłach. Wyznaczenie własności sprężystych materiału komórkowego jako efektywnego continuum oparte jest na modelowaniu dwuskalowym. W skali mikro rozważana jest powtarzalna komórka reprezentatywna wraz z fragmentem zawartego w niej szkieletu belkowego, gromadzącego energię sprężystą. Kontinuum zastępcze definiuje się na drodze homogenizacji, poprzez przez równoważność energii sprężystej zgromadzonej w szkielecie belkowym i potencjału sprężystego continuum zastępczego, co pozwala wyznaczyć tensor sztywności oraz parametry sprężyste struktury, charakteryzowane przez rozkłady kierunkowe. W celu wyznaczenia nośności materiału stosowane jest kryterium stanów granicznych struktury szkieletu wraz z podejściem dwuskalowym, co pozwala na wyznaczenie granicznych naprężeń w materiale. Dla analizowanych struktur wyznaczałam je numerycznie na podstawie analizy komórki reprezentatywnej dla stanów własnych tensora sztywności. Dla anizotropowego continuum zastępczego przyjąłam hipotezę wyęźniową Rychlewskiego w postaci energii ważonych, zgromadzonych w stanach własnych tensora sztywności. Na jej podstawie w dowolnym stanie sprężystym można zdefiniować energetyczny współczynnik, będący miarą wyęźnienia materiału, który dla struktur auksetycznych jest istotnie zależny od kierunku obciążenia w stosunku do kierunku symetrii materiałowej.

Ponieważ w materiałach auksetycznych ściskaniu towarzyszy zwężenie poprzeczne, materiał zagęszcza się w strefie ściskania co prowadzi do zwiększonej odporności na wciskanie oraz istotnie wpływa na zachowanie w strefie kontaktu, w tym rozkład naprężeń kontaktowych. Zagadnienie kontaktowe auksetycznych materiałów komórkowych zaprezentowałam na międzynarodowej konferencji [II L4] oraz analizowałam w publikacji [II E11]. W pracy [II E9] podjęłam problem projektowania geometrii anizotropowej struktury auksetycznej, w celu uzyskania najkorzystniejszych rozkładów naprężeń kontaktowych i redukcji ich koncentracji, przy zachowaniu przyjętej sztywności i wytrzymałości materiału. W pracach [II E8] oraz [II E30] podjęłam tematykę odporności na pękanie przy rozciąganiu auksetycznych materiałów komórkowych w zależności od parametrów mikrostruktury.

Płyty warstwowe z rdzeniem komórkowym o właściwościach auksetycznych wykazują korzystne właściwości mechaniczne, jak podatność na zginanie, zwiększona udarność, czy wysoka absorpcja energii. Jednocześnie sztywnością płyty można sterować przez dobór parametrów geometrycznych i materiałowych struktury rdzenia. W związku z powyższym płyty te mają wielorakie zastosowania w konstrukcjach budowlanych i inżynierskich. Studium porównawcze sztywności giętej płyty warstwowej z rdzeniem z materiałem komórkowym o strukturze honeycomb oraz z rdzeniem auksetycznym zaprezentowałam w [II E1].

Moje kolejne prace dotyczące mechaniki struktur auksetycznych związane są z udziałem w projekcie badawczym [II J6] (finansowanym przez NCBiR), do którego zostałam zaproszona przez prof. Jerzego Smardzewskiego, kierownika Zakładu Projektowania Mebli, Wydziału Technologii Drewna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Celem zadania, w którym uczestniczyłam, było

zaprojektowanie i wykonanie prototypu siedziska fotela z wypełnieniem w postaci struktury auksetycznej. Moim zadaniem było zaprojektowanie kształtu sprężyn wykonanych z poliamidu, których zestaw stanowiłyby wypełnienie siedziska fotela i wirtualnego modelu siedziska. W ramach prac nad tą tematyką zaproponowałam szereg struktur, które wykazywały właściwości auksetyczne, tzn. po przyłożeniu pionowego obciążenia zwały się w kierunku poprzecznym, zapewniając lepsze podparcie w punktach największego nacisku. Numeryczna analiza charakterystyk wybranych struktur przedstawiona jest w pracy [II E6], a walidacja numeryczna statycznych i dynamicznych testów laboratoryjnych prototypów układów sprężyn (wykonanych na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu) opisana jest w pracy [II E7]. W kolejnych publikacjach modelowany jest prototyp całego siedziska z wypełnieniem w postaci struktur auksetycznych [II E18], [II E27] oraz eksperyment porównujący wciskania wgłębnika w siedziska auksetyczne oraz klasyczne siedziska w wypełnieniu piankowym [II E33], [II E2]. Siedziska analizowane są pod względem komfortu siedzenia (definiowanego przez współczynnik dystrybucji naprężeń kontaktowych oraz współczynnik dyskomfortu), przy jednoczesnym spełnieniu warunków nośności struktury oraz warunków użytkowania, dotyczących maksymalnych ugięć [II A1], [II E5], [II E23]. Prototypy siedzisk oraz eksperyment zostały wykonane na UP w Poznaniu. Wszystkie zadania modelowałam metodą elementów skończonych w programie Abaqus.

W roku 2016, również we współpracy z UP w Poznaniu, podjęłam temat modelowania własności mechanicznych płyty warstwowej z rdzeniem dwukierunkowo falistym, wykonanej z materiałów drewnopochodnych (opisanych w publikacji [II A2]). Właściwości sprężyste płyty wyznaczyłam numerycznie na drodze homogenizacji opisanej powyżej. Tetragonalna symetria komórki reprezentatywnej rdzenia płyty i analogiczne symetrie narzucone na energetycznie równoważne kontinuum zastępcze skutkowały uzyskaniem anizotropowego materiału sprężystego zdefiniowanego przez sześć niezależnych stałych materiałowych. Testy numeryczne zginania płyty z wykorzystaniem zaproponowanego modelu wykazały wysoką zgodność z eksperymentem.

#### **D. Dynamika budowli – wpływ drgań sejsmicznych i parasejsmicznych na budowle wielkogabarytowe**

Kolejnym obszarem mojej działalności naukowej są zagadnienia związane z dynamiką budowli, a w szczególności problematyką wpływu drgań sejsmicznych i parasejsmicznych na konstrukcje. Tematykę tę podjęłam we współpracy z prof. dr hab. inż. Joanną Dulińską, pracownikiem Katedry Statyki i Dynamiki Budowli, Instytutu Mechaniki Budowli PK. Moja zainteresowania badawcze w tej dziedzinie to głównie analiza dynamiczna budowli wielopodporowych i wielkogabarytowych.

W klasycznej analizie dynamicznej odpowiedzi konstrukcji na wstrząsy uwzględnia się przebieg wymuszenia kinematycznego w czasie, lecz pomija się przestrzenną zmienność wymuszenia, poprzez przyjęcie zgodności jego amplitud i faz na każdym punkcie fundamentu. W analizie dynamicznej konstrukcji wielopodporowych i wielkogabarytowych zastosowanie tego modelu okazuje się nadmiernym uproszczeniem, ponieważ w przypadku budowli o wymiarach fundamentów porównywalnych z długością fali propagującej się w podłożu należy się liczyć z wystąpieniem różnych wartości amplitud i faz charakteryzujących wymuszenie kinematyczne w poszczególnych punktach fundamentu. Uwzględnienie tego zjawiska prowadzi do dodatkowych (tzw. kwazistatycznych) efektów i w wielu przypadkach skutkuje zwiększeniem naprężeń w elementach konstrukcji, wzrostem intensywności uszkodzeń materiału konstrukcji oraz pojawieniem się dodatkowych obszarów z degradacją materiału.

W swoich pracach analizowałam odpowiedź dynamiczną następujących budowli: wielkogabarytowych hal przemysłowych (prezentowane w publikacjach [II E3], [II E28], [II E29]), wielopodporowych mostów (przedstawione w publikacjach [II E17], [II E19]) oraz budowli liniowych, takich jak rurociągi (opisane w publikacjach [II E4], [II E22]). Wyniki prac badawczych opisanych w niniejszym paragrafie przedstawiłam także na zagranicznej konferencji naukowej [II L8]. Obliczenia wykonywałam przy użyciu pakietu obliczeniowego MES Abaqus, który wzbogaciłam własnymi procedurami numerycznymi. Uwzględnienie w analizowanych zadaniach nieliniowych modeli materiałów konstrukcji pozwala na analizę procesów zniszczenia budowli (zarysowanie betonu, otwieranie i zamykanie rys, nieodwracalna degradacja betonu, uplastycznienie stali).

W ramach pracy nad tą tematyką, podjęłam się promotorstwa pomocniczego w toczącym się przewodzie doktorskim [III K1] mgr inż. Pawła Boronia pt. „Analiza odpowiedzi dynamicznej budowli wielopodporowych na wstrząsy sejsmiczne i parasejsmiczne z zastosowaniem metody wielopodporowego spektrum odpowiedzi”. Wspomagam doktoranta w zakresie analizy numerycznej, w szczególności przy tworzeniu procedur numerycznych, pozwalających na uzyskanie wielopodporowego spektrum odpowiedzi przy użyciu komercyjnych kodów metody elementów skończonych. Przewidziany termin obrony pracy - listopad-grudzień 2019 r.

## E. Optymalizacja konstrukcji inżynierskich

W ostatnim roku, w trakcie pisania monografii habilitacyjnej, podjęłam również pracę nad zagadnieniami optymalizacji wytrzymałościowej konstrukcji. Tematyka optymalizacji układów konstrukcyjnych metodami optymalnego sterowania jest rozwijana od lat w katedrze Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych, której jestem pracownikiem, najpierw pod kierownictwem prof. Gwidona Szefera, a obecnie prof. Leszka Mikulskiego.

Moje prace w zakresie tej tematyki obejmują:

- zadanie optymalizacji wielodecyzyjnej statycznie niewyznaczalnego dźwigara łukowego o zmiennej wysokości i krzywiznie osi [II A3],
- zadanie optymalizacji przekroju poprzecznego portalowej ramy stalowej poddanej działaniu licznych kombinacji obciążeń [II E 16],
- zadanie optymalnego kształtowania zespolonego (stalowo-betonowego) dźwigara mostowego przy uwzględnieniu różnych charakterystyk geometrycznych przekroju poprzecznego oraz schematów statycznych, w zależności od fazy pracy konstrukcji (faza montażowa płyty pomostu, betonowanie z zastosowaniem podpory montażowej, faza eksploatacji) [II E 15].

Powyższe zadania sformułowane zostały w formalizmie zasady minimum Pontriagina. Pozwala ona na rozwiązanie problemów optymalizacji układów prętowych o złożonej strukturze, przy uwzględnieniu licznych ograniczeń równościowych i nierównościowych (ograniczenia maksymalnych naprężeń i przemieszczeń oraz ograniczenia geometryczne wynikające z norm lub narzucone przez inwestorów). W skład struktury matematycznej zasady minimum wchodzi: równania stanu wraz z odpowiadającymi warunkami brzegowymi i wewnętrznymi warunkami punktowymi, warunki ograniczające oraz funkcja celu, czyli wskaźnik jakości, zdefiniowany w postaci funkcjonau. Każde zadanie optymalnego sterowania zostaje sprowadzone do wielopunktowego problemu brzegowego, który zostaje rozwiązany numerycznie przy użyciu programu DIRCOL 2.1. Zasada minimum umożliwia także formułowanie i rozwiązanie problemów optymalizacji z wieloma zmiennymi decyzyjnymi, których rozwiązanie dostarcza informacje nie tylko na temat optymalnego (z uwagi na przyjęte kryterium) rozkładu wymiarów przekroju poprzecznego na długości pręta, ale np. również definiuje optymalny kształt osi pręta, przy równoczesnym spełnieniu wszystkich warunków ograniczających.

Zasada minimum pozwala sformułować jedynie warunki konieczne sterowania optymalnego, a odpowiadające mu rozwiązania spełniają warunki konieczne optymalizacji. W celu ewentualnego wyboru jednego z wielu otrzymanych optymalnych rozwiązań oraz weryfikacji otrzymanych wyników zadanie optymalizacji jest połączone z analizą MES. W przypadku optymalizacji wielokryterialnej złożonych, statycznie niewyznaczalnych konstrukcji, poddanych obciążeniom ruchomym, sformułowanie zadania optymalnego sterowania wymaga wprowadzenia setek zmiennych stanu oraz zmiennych sprzężonych, tysięcy warunków brzegowych i wewnętrznych warunków punktowych, co w praktyce uniemożliwia numeryczne rozwiązanie tak sformułowanego problemu. W analizowanych przeze mnie zadaniach wstępna analiza MES pozwoliła dodatkowo na wytypowanie zestawu najbardziej niekorzystnych kombinacji obciążeń uwzględnionych następnie w zadaniu optymalizacji, znacznie ograniczając jego wymiar, a także na końcową weryfikację spełnienia przez optymalną konstrukcję obciążoną pełnym zestawem obciążeń wszystkich założonych ograniczeń.

W *Załączniku 8* przedstawiłam 12 wybranych prac z mojego dorobku publikacyjnego, niewchodzącego w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę habilitacji (monografii).

## 6. Informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej, odbytych stażach krajowych lub zagranicznych i działalności popularyzującej naukę

### 6.1 Działalność dydaktyczna

Od początku mojej działalności zawodowej jestem związana z Katedrą Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych, Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, początkowo, jako asystent, a obecnie adiunkt naukowo-dydaktyczny. W ramach działalności dydaktycznej prowadziłam i prowadzę następujące zajęcia:

- Na studiach inżynierskich: wykłady i ćwiczenia projektowe z przedmiotu mechanika teoretyczna – w języku polskim i angielskim, wykłady, ćwiczenia projektowe i audytoryjne z przedmiotu mechanika techniczna.
- Na studiach magisterskich: wykłady i ćwiczenia projektowe z przedmiotu teoria sprężystości i plastyczności – w języku polskim i angielskim, wykłady z przedmiotu matematyczne metody w mechanice.
- Na studiach doktoranckich: zajęcia projektowe i laboratoria komputerowe z przedmiotu mechanika ośrodków ciągłych w ujęciu komputerowym.

Pracując, jako adiunkt naukowo-dydaktyczny byłam promotorem 2 prac inżynierskich (tematyka prac – konstrukcje drewniane – obliczenia normowe i modelowanie MES) . W latach 2009-2015 uczestniczyłam w programie dydaktycznym współfinansowanym przez Unię Europejską [ IIIA1], w ramach którego przygotowałam i prowadziłam zajęcia oraz przygotowałam materiały dla studentów w języku angielskim.

Jestem promotorem pomocniczym w toczącym się przewodzie doktorskim [IIIK1]. Tematyka rozprawy dotyczy odpowiedzi dynamicznej budowli wielopodporowych na wstrząsy sejsmiczne i parasejsmiczne z zastosowaniem metody wielopodporowego spektrum odpowiedzi. Obrona pracy jest przewidziana na koniec bieżącego roku.

### 6.2 Działalność organizacyjna

**Od roku 2012 pełnię funkcję prodziekana Wydziału Inżynierii Lądowej PK.**

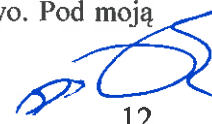
W kadencji 2012- 2016 w ramach obowiązków dziekańskich :

- Sprawowałam nadzór nad studiami niestacjonarnymi prowadzonymi na WIL (na kierunkach budownictwo i transport). Pod moją opieką było średnio około 1800 studentów.
- Aktywnie uczestniczyłam w pracach zespołu przygotowującego raport samooceny dotyczący oceny instytucjonalne WIL przez Polską Komisję Akredytacyjną
- Aktywnie uczestniczyłam w pracach zespołu przygotowującego raport samooceny dotyczący wniosku o akredytację przez Komisję Akredytacyjną Uczelni Technicznych kierunków studiów budownictwo i transport na WIL – akredytacja została przyznana dla obu kierunków.
- Uczestniczyłam w pracach zespołu przygotowującego wniosek o uprawnienia habilitacyjne w dziedzinie transport.
- Zajmowałam się promocją WIL
- Uczestniczyłam w pracach Rady Przedsiębiorców przy WIL
- Przewodniczyłam komisjom konkursowym na najlepsze prace dyplomowe.

Za pracę w kolegium dziekańskim otrzymałam w roku 2015 zespołową nagrodę Rektora PK za osiągnięcia organizacyjne.

W kadencji 2016- obecnie w ramach obowiązków dziekańskich

- Sprawuję nadzór nad studiami stacjonarnymi I stopnia na kierunku Budownictwo. Pod moją opieką znajduje się obecnie 1400 studentów.



- Jestem wydziałowym koordynatorem programu Erasmus+. Sprawuję nadzór i opiekę nad zagranicznymi studentami odbywającymi studia częściowe na WIL (70-100 osób rocznie) oraz studentami WIL wyjeżdżającymi za granicę. Nawiązuję kontakty z koordynatorami programu Erasmus+ na uczelniach zagranicznych w celu podjęcia lub rozszerzenia istniejącej współpracy i promocji WIL.
- Jestem przewodniczącą zespołu powołanego przez dziekana WIL do zmiany w programach studiów (w związku ze zmianami organizacyjnymi wynikającymi z ustawy 2.0 oraz koniecznością aktualizacji programów studiów i dostosowania ich do wymagań rynku pracy)
- Sprawuję nadzór z ramienia dziekana WIL nad kształceniem metodami i technikami na odległość (akceptuję i nadzoruję e-kursy)
- Uczestniczę w pracach Rektorskiej Komisji ds. Przyznawania Nagród Rektora PK za utworzenie e-kursu
- Sprawuję nadzór nad studiami podyplomowymi
- Na polecenie dziekana WIL stworzyłam oprogramowanie pozwalające na podstawie bazy bibliotecznej PK ocenić dorobek publikacyjny pracowników WIL i zestawić go w sposób zgodny z zasadami ewaluacji działalności naukowej zdefiniowanymi w ustawie 2.0

**Pełniłam funkcję przewodniczącej Wydziałowej Komisji rekrutacyjnej przez kolejne cztery lata 2013, 2014, 2015, 2016**

### 6.3 Działalność popularyzatorska

W zakresie moich obowiązków dziekańskich była i jest promocja Wydziału co wiąże się z licznymi wystąpieniami prezentującymi Politechnikę Krakowską i Wydział Inżynierii Lądowej oraz promującymi inżynierię lądową w trakcie: dni otwartych Wydziału i Uczelni, Nocy Naukowców, spotkań z licealistami w ramach projektu [III K2].

### 7. Otrzymane nagrody i odznaczenia

- Nagroda prezesa Rady Ministrów za wyróżniającą się rozprawę doktorską
- Stypendium Fundacji Nauki Polskiej na rok 1995
- Srebrny medal za długoletnią służbę 2017
- Nagroda Rektora PK za działalność organizacyjną 2016

### 8. Podsumowanie dorobku

Parametryczne zestawienie mojego dorobku, na podstawie załącznika 5 zostało zestawione w Tabelach 1, 2 i 3.

#### 8.1 Parametryczne zestawienie dorobku naukowego

Tabela 1. Parametryczne zestawienie dorobku naukowego (wg załącznika 5- części I i II)

Pozycja w zał. 5	Rodzaj osiągnięcia	Ilość
I	Monografie habilitacyjne	1
II A	Publikacje naukowe w bazie JCR	3
II B	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	-
II C	Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe	-

II D	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych wystawach lub targach	-
II E	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt II A	37
II F	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych	1
II G	Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	7.168
II H	Liczba cytowań według bazy Web of Science (WoS) (9 publikacji)	21/19*
	Liczba cytowań według bazy Scopus (9 publikacji)	25
II I	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) (9 publikacji)	4
	Indeks Hirscha według bazy Scopus	4
II J	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	6
II K	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną	2
II L	Wygłoszenie referatów na konferencjach międzynarodowych i krajowych	10
* bez autocytowań		

## 8.2 Zestawienie ilościowe dorobku publikacyjnego

Tabela 2. Zestawienie ilościowe i punktowe dorobku publikacyjnego (wg załącznika 5)

Rodzaj publikacji	Liczba	Wkład własny (średnia arytm.)	Punkty MNiSW	Sumaryczny IF
<b><i>Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (zał. 5 część I)</i></b>				
Monografia	1	100%	80	
<b><i>Pozostały dorobek naukowy po doktoracie (zał.5 część II)</i></b>				
Lista A MNiSW	3	50%	115	6.543
Lista B MNiSW	13	50%	89	0.626
Indeksowane WoS i Scopus	6	53%	70	–
Rozdział w monografii	7	59%	32	–
Recenzowane publ. konf.	10	57%	10	–
Referaty na konferencjach międzynarodowych	5	–	–	–
Referaty na konfer. kraj.	4	–	–	–
<b><i>Razem</i></b>	<b>49</b>		<b>396</b>	<b>7.169</b>

### 8.3 Parametryczne zestawienie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego

Tabela 3. Parametryczne zestawienie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego (wg załącznika 5-część III)

III A	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	2
III B	Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	-
III C	Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	-
III D	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt. II K	2
III E	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	-
III F	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w pkt. II J	-
III G	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	-
III H	Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	-
III I	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki	2
III J	Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji	-
III K	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	1
III L	Stáže w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	1
III M	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	-
III N	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	1
III O	Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych	1
III P	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	3
III Q	Inne osiągnięcia, niewymienione w pkt. III A-III P	2