

Autoreferat

w języku polskim

dr Joanna Wiącek

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie

Zakład Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: **Joanna Wiącek**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

18.06.2004 r. magister fizyki

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, magisterskie studia stacjonarne, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Kierunek Fizyka; Tytuł pracy magisterskiej: „Zależność energii jąder atomowych od temperatury”. Promotor: prof. dr hab. Bożena Pomorska.

24.10.2008 r. doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii- agrofizyki

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie, studia doktoranckie, Zakład Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych.

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Modelowanie efektów quasi-statycznych w złożu ziarna metodą elementów dyskretnych”. Promotor: prof. dr hab. Marek Molenda oraz prof. Jin Y. Ooi.

2010 r. dyplom ukończenia studiów podyplomowych

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, studia podyplomowe, Kierunek: Public relations w badaniach naukowych.

Tytuł pracy dyplomowej: „Promocja Zespołu Numerycznego Modelowania Procesów Fizycznych w Roślinnych Ośrodkach Sypkich”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.12.2004r. - 31.08.2005r. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, stanowisko: młodszy fizyk

01.01.2006r. - 28.02.2006r. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, stanowisko: młodszy fizyk

01.10.2007r. - 31.09.2008r. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, stanowisko: młodszy fizyk

01.10.2008r. – 30.09.2011r. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, stanowisko: asystent

01.10.2011r. - do chwili obecnej Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, stanowisko: adiunkt

J. Wiącek 2

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.):

Moim osiągnięciem, będącym podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest cykl 4 oryginalnych prac twórczych.

- a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Strukturalne oraz mechaniczne właściwości polidispersyjnych ośrodków sypkich, poddanych jednoosiowemu obciążeniu ściskającemu

- b) autorzy, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa:

1. **Wiącek J.**, Molenda M., Horabik J., Ooi J.-Y.: *Influence of grain shape and intergranular friction on material behavior in uniaxial compression: Experimental and DEM modeling*, Powder Technology 217, 435-442, 2012 (35 pkt. MNiSW, IF=2,024*, IF=2,437**)
2. **Wiącek J.**, Molenda M.: *Representative elementary volume analysis of polydisperse granular packings using discrete element method*, Particuology <http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2015.08.004>, 2015 (30 pkt. MNiSW, IF=2,11*, IF=2,312**)
3. **Wiącek J.**, Molenda M.: *Effect of particle size distribution on micro- and macromechanical response of granular packings under compression*, International Journal of Solids and Structures 51, 4189-4195, 2014 (35 pkt. MNiSW, IF=2,035*, IF=2,483**)
4. **Wiącek J.**, Molenda M.: *Microstructure and micromechanics of polydisperse granular materials: effect of the shape of particle size distribution*, Powder Technology 268, 237-243, 2014 (35 pkt. MNiSW, IF=2,269*, IF=2,437**)

* obowiązujące w roku wydania;

** średni pięcioletni IF;

Całkowita liczba punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, wg. wykazu MNiSW z dnia 31 grudnia 2014 r.: 135

Całkowity IF publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

- wg. daty wydania: 8,438
- średni pięcioletni IF: 9,669

Wkład wnioskodawcy w wymienione powyżej publikacje obejmował autorstwo hipotez i koncepcji badań, wykonanie badań, przeprowadzenie analizy i dyskusji wyników oraz przygotowanie manuskryptów. Oświadczenia współautorów prac, dotyczące ich wkładu w powstawanie publikacji, znajdują się w załącznikach 7a, 7b i 7c.

- c) omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania:

Wstęp

Rosnące od kilkudziesięciu lat zainteresowanie materiałami sypkimi, jak również wzrost skali procesów ich przetwarzania niosą konieczność optymalizacji procesów technologicznych, którym poddawane są wspomniane materiały. Ponad 75% surowców wykorzystywanych w przemyśle występuje w formie rozdrobnionej. Należą do nich m.in. tabletki, granulaty, proszki farmaceutyczne, nasiona roślin, produkty spożywcze, piach, węgiel i inne minerały. Wiele spośród wymienionych materiałów charakteryzuje się specyficznymi właściwościami, czyniąc dużym wyzwaniem projektowanie procesów technologicznych obróbki materiałów sypkich oraz projektowanie urządzeń wykorzystywanych do ich transportu i produkcji. Materiały pochodzenia biologicznego, występujące w formie nasion i ich przetworów, takich jak mąka, kasza, cukier i in., wykazują szczególnie złożone zachowanie, wciąż pozbawione pełnej interpretacji. Zrozumienie zachowania tych materiałów, dające możliwość jego przewidywania, jest niezbędne do zapewnienia możliwie najefektywniejszych sposobów transportu, magazynowania i przetwarzania. Specyficzne właściwości roślinnych materiałów sypkich oraz ich zależność od warunków otoczenia, na które materiał jest wystawiony podczas składowania czy procesu obróbki, często decydują o jakości produktu końcowego. Materiały sypkie charakteryzuje duża różnorodność właściwości, zarówno geometrycznych jak i mechanicznych. Większość materiałów wykorzystywanych w przemyśle i rolnictwie charakteryzuje duży stopień zróżnicowania wielkości cząstek, co stanowi cechę materiałów rozdrobnionych, determinującą zarówno ich właściwości strukturalne, jak i mechaniczne. Stopień polidispersyjności ośrodka sypkiego determinuje zachowanie materiałów rozdrobnionych w procesach segregacji, mieszania i opróżniania zbiorników przemysłowych oraz reakcję materiałów poddanych obciążeniom podczas procesów tabletkowania, granulowania, peletowania i innych. Różnorodność procesów, którym poddawane są materiały sypkie podczas transportu, magazynowania oraz obróbki wymaga wykorzystywania urządzeń dostosowanych do materiałów o odmiennych właściwościach. W przypadku przemysłu farmaceutycznego, w produkcji leków i preparatów leczniczych, umiejętność przewidywania zachowania materiałów w różnych warunkach oraz projektowania urządzeń technologicznych decyduje o zdrowiu, a niekiedy nawet życiu pacjentów. Znajomość właściwości materiałów rozdrobnionych wykorzystywanych w przemyśle budowlanym zapewnia bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji. Umiejętność przewidywania zachowania materiałów sypkich tworzonych przez nasiona o różnych wymiarach staje się szczególnie istotna przy wyborze technologii ich przechowywania i obróbki. Ograniczenie niebezpieczeństw i strat, będących konsekwencją nieprawidłowego obchodzenia się z materiałami sypkimi, ma duże znaczenie dla konsumentów i stanowi wyzwanie dla inżynierii materiałowej oraz mechanicznej. Zgromadzona dotychczas wiedza z zakresu zależności gęstości upakowania i sprężystych właściwości ośrodka oraz zjawiska przenoszenia naprężeń w materiałach rozdrobnionych od rozkładu wielkości cząstek tworzących ośrodek dotyczy głównie materiałów pochodzenia mineralnego. Specyficzne cechy materiałów sypkich pochodzenia biologicznego wymagają

dodatkowych informacji do interpretacji zjawisk obserwowanych w złożach materiałów roślinnych. W oparciu o dane dotyczące struktury i zachowania w skali mikro możliwe staje się przewidywanie i interpretacja zachowania materiału w skali makro. Zrozumienie związku pomiędzy mikromechanicznymi i makromechanicznymi właściwościami materiałów sypkich pozostaje jednak wciąż jednym z wyzwań fizyki i mechaniki.

Cel

Celem przeprowadzonych badań, których wyniki zaprezentowano w monotematycznym cyklu publikacji, była szczegółowa analiza wpływu niejednorodności wielkości cząstek na strukturalne i mechaniczne właściwości ośrodków rozdrobnionych pochodzenia roślinnego, poddanych działaniu obciążeń ściskających oraz wyznaczenie minimalnej objętości reprezentatywnej dla złóż niejednorodnych pod względem wielkości cząstek. Analiza mikrostruktury i zachowania w skali mikro objęła porowatość próbki, liczbę kontaktów, rozkład kątów i sił kontaktu oraz stopień mobilizacji tarcia w punkcie kontaktu cząstek. Badanie właściwości makroskopowych ośrodków rozdrobnionych obejmowało efektywny moduł sprężystości ośrodka, iloraz naporu, kąt tarcia wewnętrznego oraz współczynnik Poissona.

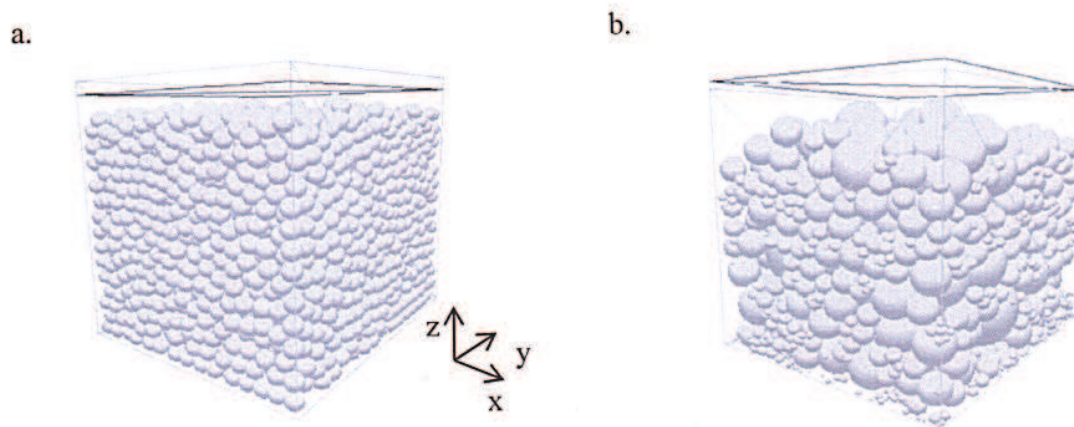
Metody

W badaniach wpływu niejednorodności wielkości granул na właściwości ośrodka rozdrobnionego wykorzystano metodę numeryczną, której skuteczność potwierdzono przeprowadzając jej eksperymentalną weryfikację.

Właściwości mechaniczne materiałów sypkich wyznaczane są z zależności obciążenie-odkształcenie w układach pomiarowych realizujących różne rodzaje obciążeń. W mechanice materiałów sypkich do wyznaczania parametrów materiałowych stosuje się, od wielu lat doskonałe, metody doświadczalne wywodzące się z mechaniki gruntów. Do metod najpowszechniejszych w badaniu właściwości mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych należą testy ściskania. Wykonywane są one przy pomocy aparatów o kształcie cylindra, sześciangu lub prostopadłościanu. Umieszczona wewnątrz komory próbka poddawana jest działaniu sił w jednym, dwóch lub trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach poprzez przemieszczanie naprzeciwległych ścian aparatu.

W badaniach wpływu niejednorodności wielkości nasion na właściwości ośrodka rozdrobnionego wykorzystano metodę numeryczną. Testy numeryczne przeprowadzono w układach trójwymiarowych Metodą Elementów Dyskretnych MED (ang. *Discrete Element Method DEM*), która, dzięki swemu podejściu mikrostrukturalnemu, dała możliwości szczegółowego badania ośrodków będących zbiorem mniejszych elementów. Do wykonania testów numerycznych wykorzystano oprogramowanie EDEM firmy DEM Solutions Ltd. z nieliniowym, lepko-sprężystym modelem kontaktu Hertza-Mindlina. Kontakt pomiędzy dwiema cząsteczkami w kierunku normalnym przedstawić można jako układ złożony z elastycznej sprężyny i lepkiego tłumika, natomiast kontakt w kierunku stycznym modeluje układ zawierający sprężynę, tłumik oraz ślizgacz. Sprężyna modeluje akumulację energii, zaś tłumik i ślizgacz jej rozpraszanie.

Przeprowadzone przez Wnioskodawczynię badania numeryczne objęły serię symulacji testów jednoosiowego ściskania wykonanych przy użyciu modelowego edometru o przekroju prostokątnym (Rys. 1).



Rys. 1. Modelowa próbka monodispersyjna (a) i polidispersyjna (b).

W pierwszym etapie symulacji, wygenerowane w komorze modelowego aparatu sfery o przypadkowych początkowych położeniach opadały na jej dno pod wpływem siły grawitacyjnej. Następnie, materiał poddawany był obciążeniu poprzez przemieszczanie pokrywy aparatu w kierunku pionowym w dół do momentu uzyskania naporu pionowego na pokrywę o wartości 100 kPa, rekomendowanej przez normę Eurocode 1. W ostatnim etapie symulacji, modelowano proces odciążenia materiału poprzez przemieszczanie pokrywy aparatu pionowo w górę. Szybkość przemieszczania pokrywy aparatu, $V = 3$ m/min, pozostawała stała podczas całego cyklu obciążanie-odciążanie. Przyjęcie założenia o sztywności ścian aparatu, uniemożliwiające ich deformację pod wpływem działających sił, umożliwiło wyprowadzenie wzorów na parametry sprężystości materiału.

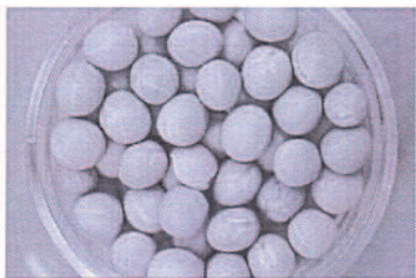
Testy numeryczne wykonano dla cząstek o parametrach geometrycznych i materiałowych nasion grochu i fasoli, natomiast parametry materiałowe modelowego aparatu odpowiadały parametrom zmierzonym dla stali. Parametry wejściowe symulacji zmierzono i wyznaczono w Laboratorium Mechaniki Materiałów Sypkich w Instytucie Agrofizyki w Lublinie.

Eksperymentalnej weryfikacji Metody Elementów Dyskretnych dokonano poprzez przeprowadzenie serii testów jednoosiowego ściskania nasion grochu i fasoli (Rys. 2), umieszczonych w komorze edometru o przekroju prostokątnym (Rys. 3). Prezentowany na rysunku 3, aparat o wysokości 0,12 m, wykonano ze stali nierdzewnej o grubości 6 mm. Dno oraz jedną ze ścian aparatu zaopatrzone w zestaw sześciu czujników naporu (S1, S2, S3 - dno, S4, S5, S6 - ściana boczna) rozmieszczonych w wierzchołkach trójkąta. Ścianę przednią i tylną (prostopadłe do osi x) zamocowano na stałe w odległości 0,12 m. Regulowana odległość między ścianami bocznymi aparatu, prostopadłymi do osi y , umożliwiała zmianę grubości jego komory. Edometr zaopatrzone w zestaw siedmiu pokryw o różnych szerokościach. Pomiar naporu wywieranego przez obciążaną próbkę na pokrywę edometru umożliwiała głowica maszyny wytrzymałościowej, zaopatrzone w czujnik siły. Umieszczony

w komorze pomiarowej materiał poddawany był obciążaniu poprzez przemieszczanie pokrywy aparatu w kierunku pionowym w dół ze stałą prędkością $V = 0,35$ mm/min do momentu uzyskania naporu pionowego na pokrywę o wartości 100 kPa.

Przeprowadzone testy jednoosiowego ściskania umożliwiły wyznaczenie charakterystyk materiałowych badanych próbek oraz ich parametrów mechanicznych, takich jak iloraz naporu, efektywny moduł sprężystości i współczynnik Poissona, natomiast zastosowanie metody numerycznej umożliwiło poznanie mikromechanicznych właściwości badanych ośrodków sypkich oraz dostarczyło wiedzę niemożliwą do uzyskania przy zastosowaniu metod eksperymentalnych.

a.

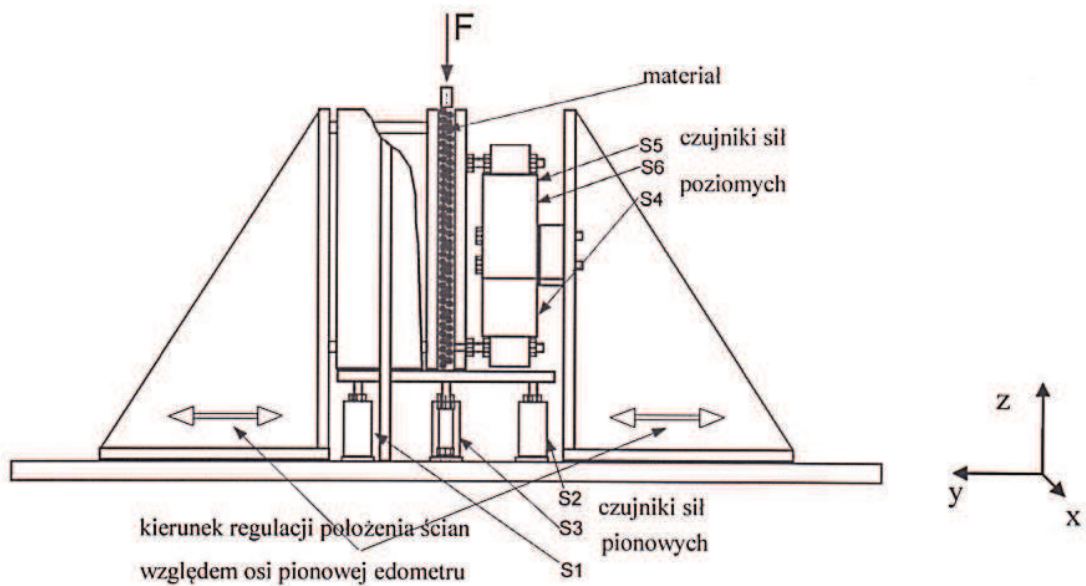


b.

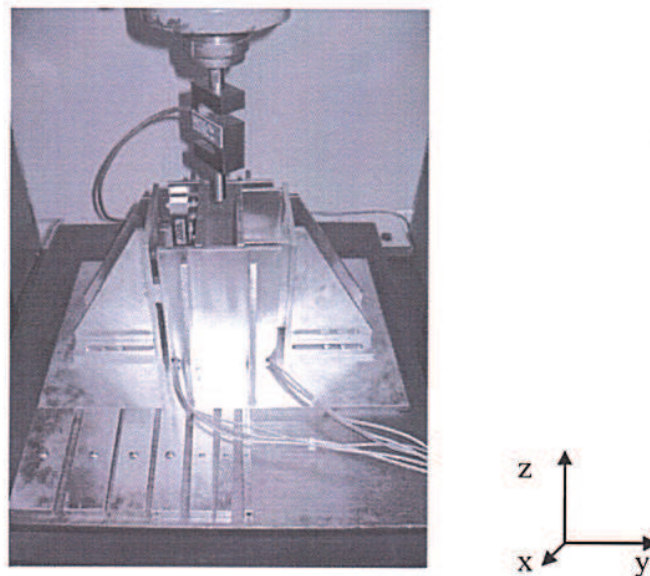


Rys. 2. Materiał badawczy

a.



b.



Rys. 3. Aparat jednoosiowego ściskania: a – schemat, b – stanowisko pomiarowe.

Omówienie wyników prac wskazanych jako szczególne osiągnięcie naukowe

Zaprezentowane w monotematycznym cyklu publikacji oraz omówione szczegółowo poniżej wyniki badań potwierdziły większość hipotez przyjętych przed rozpoczęciem ich realizacji oraz poszerzyły wiedzę o geometrycznych i mechanicznych właściwościach ośrodków sypkich niejednorodnych pod względem wielkości nasion. Zastosowanie numerycznej Metody Elementów Dyskretnych poszerzyło wiedzę na temat

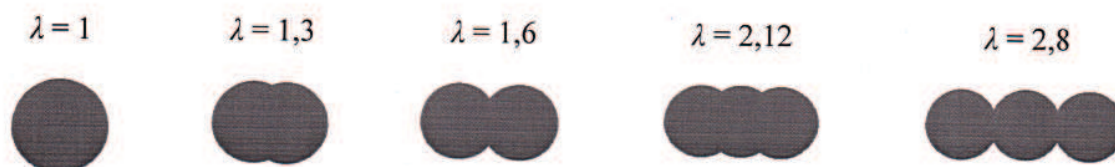
mikromechanicznych właściwości ośrodków rozdrobnionych oraz dostarczyło informacji niezbędnych do przewidywania i interpretacji zachowania bardziej złożonych układów cząstek w skali makro. Eksperymentalna walidacja Metody Elementów Dyskretnych umożliwiła zdobycie wiedzy o dużym znaczeniu naukowym oraz aplikacyjnym, związanym z możliwością zastosowania metody w przemyśle oraz w projektowaniu procesów i urządzeń technologicznych.

Publikacja 1:

Wiącek J., Molenda M., Horabik J., Ooi J.-Y.: *Influence of grain shape and intergranular friction on material behavior in uniaxial compression: Experimental and DEM modeling*, Powder Technology 217, 435-442, 2012

Celem badań omówionych w publikacji 1 była eksperymentalna weryfikacja Metody Elementów Dyskretnych oraz analiza wpływu stopnia wydłużenia nasion na porowatość materiału, właściwości sprężyste oraz na przenoszenie naprężeń w ośrodku rozdrobnionym poddanym działaniu jednoosiowych sił ściskających. Dodatkowo, badano wpływ tarcia międzycząsteczkowego na mechanizm przenoszenia naprężeń w złożu.

W pierwszym etapie badań wykonano testy numeryczne dla cząstek o parametrach geometrycznych i materiałowych wyznaczonych dla nasion grochu. Symulacje testu jednoosiowego ściskania wykonano dla granul o jednakowych objętościach, złożonych z 1, 2 lub 3 częściowo nachodzących na siebie sfer (Rys. 4). Współczynnik wydłużenia cząstek (λ), definiowany jako stosunek największego wymiaru ziarna (długość) do najmniejszego (grubość), wynosił 1, 1,3, 1,6, 2,12 oraz 2,8. Próbkę generowano w prostokątnej komorze aparatu o stałej szerokości i wysokości, wynoszących 0,12 m, oraz zmiennej grubości, nieznacznie przekraczającej pięć długości cząstki. Parametry materiałowe modelowego aparatu odpowiadały parametrom zmierzonym dla stali. Cząstki o przypadkowych początkowych położeniach i orientacjach, wygenerowane w zbiorniku umieszczonym po prawej stronie nad komorą aparatu, opadały strumieniem skrajnie acentrycznym tworząc próbkę. Następnie, materiał poddawano działaniu sił ściskających poprzez przesuwającą się pionowo w dół ze stałą prędkością płytę aparatu. Po uzyskaniu wartości naporu pionowego na pokrywę wynoszącej 100 kPa, symulowano proces odciążania próbki, poprzez przemieszczanie pokrywy aparatu pionowo w górę.



Rys. 4. Schemat modelowanych cząstek o odmiennych współczynnikach wydłużenia.

Weryfikację eksperymentalną metody numerycznej przeprowadzono dla próbek zawierających nasiona grochu oraz nasiona fasoli. Wybór materiału badawczego podyktowany był potrzebą użycia granул o kształcie najbardziej zbliżonym do sferycznego oraz o kształcie wydłużonym.

Analiza wyników uzyskanych z testów numerycznych wykazała spadek wartości porowatości materiału, definiowanej jako stosunek objętości porów w próbce do całkowitej objętości próbki, wraz ze wzrostem współczynnika wydłużenia granул. Zaobserwowano wzrost sztywności próbek zawierających cząstki niesferyczne o współczynniku wydłużenia nie większym niż 2,12, w porównaniu do układów tworzonych przez idealne sfery. Wzrost współczynnika wydłużenia cząstek od 1,3 do 2,12 nie powodował jednak istotnych zmian w sztywności materiału, przy jednoczesnym wzroście jego porowatości. Dalszy wzrost wartości współczynnika wydłużenia cząstek do 2.8 spowodował gwałtowny spadek sztywności próbki, prawdopodobnie w wyniku blisko 20% wzrostu jej porowatości.

Zauważono istotny wpływ kształtu cząstek na mechanizm przenoszenia naprężeń w ośrodku rozdrobnionym, związany ze zmianami tarcia wewnętrznego w materiale. Konsekwencją zmiany kształtu cząstek ze sferycznego na wydłużony, był wzrost tarcia w punkcie kontaktu granул, powodujący istotny spadek wartości ilorazu naporu, będącego stosunkiem naporów: poziomego na ścianę i pionowego na pokrywę aparatu. W złożach zawierających wydłużone cząstki obserwowano jedynie nieznaczne zmiany wartości parametru wraz ze wzrostem stopnia wydłużenia granул. Badania wykazały, że, w przeciwieństwie do sprężystych właściwości ośrodka, iloraz naporu jest determinowany w większym stopniu przez stopień wydłużenia granул niż przez porowatość próbki. Wartość parametru zależy także od współczynnika tarcia międzycząsteczkowego. Wartość ilorazu naporu maleje nieliniowo w złożach cząstek sferycznych o rosnącym współczynniku tarcia.

Eksperymentalna weryfikacja Metody Elementów Dyskretnych pokazała, że metoda numeryczna w dobrym stopniu przewiduje sztywność próbek poddanych testom. Wartości ilorazów naporu wyznaczonych w testach numerycznych dla nasion o kształtach wydłużonych były zgodne z wartościami parametrów wyznaczonymi w testach eksperymentalnych; jednak, iloraz naporu dla modelowych próbek zawierających cząstki sferyczne był większy od wyznaczonego metodami eksperymentalnymi. Przyczyną różnic wartości parametru wyznaczonego dwiema metodami badawczymi było wygenerowanie podczas symulacji układów jednorodnych sfer, wyidealizowanych w stosunku do nasion rzeczywistych, o niejednakowych wielkościach i niejednorodnych właściwościach materiałowych.

Wyniki badań opisane w publikacji 1 pokazały, że Metoda Elementów Dyskretnych stanowi cenne narzędzie w analizie właściwości materiałów sypkich; jednak nieuwzględnienie niejednorodności parametrów geometrycznych i materiałowych nasion pozwala jedynie na jakościowe przewidywanie ich właściwości.

Wnioski sformułowane na podstawie wyników badań opisanych w publikacji 1 stały się przyczynkiem do przeprowadzenia numerycznych symulacji testów jednoosiowego ściskania dla złóż niejednorodnych pod względem wielkości tworzących je granул.

Publikacja 2:

Wiącek J., Molenda M.: *Representative elementary volume analysis of polydisperse granular packings using discrete element method*, Particuology
<http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2015.08.004>, 2015

Badania opisane w publikacji 2 miały na celu ustalenie reprezentatywnej elementarnej objętości (REO) polidispersyjnych ośrodków sypkich oraz jej zależności od stopnia niejednorodności wielkości nasion tworzących próbki. Reprezentatywna elementarna objętość jest najmniejszą objętością analizowanego ośrodka, która zawiera wszystkie informacje o strukturze i własnościach złoża materiału. Określenie reprezentatywnej elementarnej objętości materiału stanowi zagadnienie kluczowe w badaniu jego właściwości, bez względu na problematykę i stosowane metody badawcze. W przypadku metod numerycznych ustalenie REO umożliwia modelowanie materiałów oraz badanie ich właściwości przy jednoczesnym ograniczeniu czasu symulacji i znacznej redukcji wymaganej mocy obliczeniowej komputerów. Zasadniczo, istnieją dwie najczęściej stosowane metody wyznaczania reprezentatywnej elementarnej objętości materiałów porowatych. W pierwszej metodzie, powszechnej w gleboznawstwie i hydrologii, objętość materiału uznaje się za jego minimalną objętość reprezentatywną jeśli porowatość ośrodka pozostaje niezmienna pomimo wzrostu wymiaru próbki. W drugiej metodzie minimalną objętością reprezentatywną ośrodka porowatego jest taka, powyżej której makromechaniczne parametry materiału (parametry sprężystości, ilorazy naporu i in.) pozostają stałe. Metoda określania REO dla ośrodków rozdrobionych na podstawie parametrów mechanicznych znalazła szerokie zastosowanie w mechanice materiałów i inżynierii materiałowej.

W celu wyznaczenia REO dla modelowych próbek polidispersyjnych zastosowano dwie, wymienione powyżej, metody. Badania realizowano dla porowatości i liczby koordynacyjnej oraz ilorazu naporu, parametrów sprężystości i rozpraszania energii. Liczba koordynacyjna określa liczbę cząstek, z którymi pojedynczy obiekt jest w kontakcie, zaś sprężyste właściwości materiału analizowano na podstawie, wyznaczonych dla próbek, efektywnych modułów sprężystości oraz współczynników Poissona.

Przeprowadzono serię testów numerycznych Metodą Elementów Dyskretnych modelując proces jednoosiowego ściskania próbek zawierających niejednorodne sfery o normalnym rozkładzie wielkości oraz jednakowej średniej średnicy cząstek (D_m). Standardowe odchylenie średnic sfer od średniej średnicy cząstek ($s.d$) wynosiło od 0 do $0.6D_m$. Symulacje wykonano dla cząstek sferycznych o parametrach geometrycznych i materiałowych nasion grochu (Tabela 1), umieszczonych w sześcienniej komorze aparatu jednoosiowego ściskania o stałej szerokości i wysokości, wynoszących 0.12 m. Zmienna grubość komory równa była od 3 do 25 średnich średnic cząstek. Liczba nasion tworzących próbkę wahała się od 350 do 7200, w zależności od grubości komory oraz stopnia niejednorodności elementów ośrodka. Parametry materiałowe modelowego aparatu odpowiadały parametrom zmierzonym dla stali. Wygenerowane w prostopadłościennym aparacie jednoosiowego ściskania modelowe próbki nasion poddawano działaniu siły ściskającej poprzez przesuwającą się pionowo w dół ze stałą prędkością płytę aparatu.

Tabela 1

parametr	nasiono grochu	stal
współczynnik Poissona	0,26	0,3
moduł ścinania (MPa)	560	200000
gęstość (kg/m ³)	1720	7800
współczynnik restytucji	nasiono-nasiono	nasiono-stal
	0,21	0,54
współczynnik tarcia statycznego	nasiono-nasiono	nasiono-stal
	0,4	0,29
współczynnik tarcia tocznego	nasiono-nasiono	nasiono-stal
	0,01	0,01

Analiza wyników numerycznych wykazała różnice pomiędzy reprezentatywną elementarną objętością dla parametrów geometrycznych i mechanicznych. Minimalny wymiar reprezentatywny dla porowatości oraz średniej liczby koordynacyjnej odpowiadał piętnastu średnim średnicom sfer, zaś reprezentatywna szerokość próbki dla parametrów sprężystości ośrodka oraz ilorazu naporu wynosiła, odpowiednio, pięć i dziesięć średnich średnic nasion. Przeprowadzona dodatkowo analiza wpływu wielkości ośrodka rozdrobnionego na stopień rozpraszania energii w układzie wykazała brak zależności ilości energii rozproszonej od wymiaru próbki, przy jej szerokościach nie mniejszych od piętnastu średnich średnic cząstek.

Dodatkowym aspektem przeprowadzonych badań była analiza zależności minimalnej objętość reprezentatywnej próbek od stopnia niejednorodności wielkości nasion tworzących złożę. Parametrem charakteryzującym stopień polidispersyjności ośrodka był współczynnik jednorodności uziarnienia próbek, definiowany jako stosunek średnicy cząstek, które wraz z mniejszymi elementami ośrodka sypkiego stanowią 60% masy próbki oraz średnicy cząstek, które wraz z mniejszymi stanowią 10% masy próbki. Współczynnik jednorodności uziarnienia próbek ze standardowym odchyleniem średnic sfer od średniej średnicy cząstek wynoszącym 20% i 40% zmieniał się wraz ze wzrostem szerokości próbki do 10 średnich średnic nasiona. W przypadku bardziej niejednorodnych ośrodków REO odpowiadała 15 średnim średnicom nasiona.

Porównanie reprezentatywnych elementarnych objętości dla parametrów geometrycznych i mechanicznych, wyznaczonych dla próbek o różnym stopniu polidispersyjności, wykazało brak wpływu niejednorodności wielkości nasion w próbce na minimalną objętość reprezentatywną.

Wyniki testów numerycznych, przedstawione w publikacji 2 pozwoliły na uznanie piętnastu średnich średnic cząstki minimalnym wymiarem reprezentatywnym, przy którym obserwowano minimalny wpływ ścian aparatu na geometryczne i mechaniczne właściwości ośrodka rozdrobnionego.

Publikacja 3:

Wiącek J., Molenda M.: *Effect of particle size distribution on micro- and macromechanical response of granular packings under compression*, International Journal of Solids and Structures 51, 4189-4195, 2014

Celem badań omówionych w publikacji 3 była analiza wpływu stopnia niejednorodności wielkości granul tworzących złożę na jego właściwości strukturalne i mechaniczne. W ramach realizacji badań, przeprowadzono serię testów numerycznych Metodą Elementów Dyskretnych modelując proces jednoosiowego ściskania próbek zróżnicowanych pod względem wielkości cząstek. Poldispersyjne próbki charakteryzował normalny rozkład wielkości granul ze standardowym odchyleniem średnic sfer (*s.d.*) od średniej średnicy cząstek (D_m) wynoszącym od $0D_m$ do $0,8 D_m$.

Symulacje wykonano dla złóż sfer umieszczonych w komorze aparatu o wysokości 0,12m, szerokości 0,12m oraz grubości 0,132m. Wymiary komory przekraczały piętnaście średnich średnic cząstek, będących minimalnym wymiarem reprezentatywnym dla modelowanych poldispersyjnych materiałów sypkich.

Analiza właściwości mikromechanicznych objęła średnią liczbę koordynacyjną, siły kontaktu i stopień mobilizacji tarcia w punkcie kontaktu nasion, natomiast analiza właściwości makromechanicznych dotyczyła efektywnego modułu sprężystości, ilorazu naporu, kąta tarcia wewnętrznego i współczynnika Poissona. Przeprowadzona dodatkowo analiza zmienności porowatości próbek wraz ze wzrostem stopnia ich poldispersyjności umożliwiła pełniejszą i bardziej precyzyjną interpretację uzyskanych wyników. Dzięki zastosowaniu Metody Elementów Dyskretnych, uzyskano informacje o charakterze oddziaływań między ziarnami ośrodka oraz o właściwościach materiału sypkiego w skali mikro. Zdobyta wiedza, dotycząca mikrostruktury i zachowania w skali mikro dała możliwość przewidywania i interpretacji zachowania materiału w skali makro.

Zaobserwowano nieznaczny wpływ wzrostu stopnia niejednorodności wielkości cząstek w ośrodku na jego porowatość, przy standardowym odchyleniu średnic sfer od średniej średnicy cząstek mniejszym od $0.6D_m$. Dopiero wzrost wartości *s.d.* do $0.8D_m$ spowodował 5% wzrost porowatości próbek. Analiza uzyskanych wyników wykazała znaczny spadek średniej liczby kontaktów w ośrodku wraz ze wzrostem stopnia niejednorodności wielkości cząstek, prowadzący do zmniejszenia wartości liczby koordynacyjnej z 4,74 na 3,43 w próbkach monodispersyjnych i silnie poldispersyjnych o *s.d.* wynoszącym $0.8D_m$. Przyczyną zaskakująco niskiej wartości liczby koordynacyjnej w próbkach silnie niejednorodnych była obecność w ośrodku małych cząstek, które ulegały perkolacji przez ośrodek porowaty i następnie opadały na dno komory. Brak kontaktów małych cząstek z innymi granulami znacząco obniżał wartość średniej liczby koordynacyjnej.

Analiza zmienności średniej liczby koordynacyjnej wraz ze wzrostem wartości sił ściskających próbkę wykazała gwałtowny spadek wartości parametru w pierwszej fazie obciążania, przy naporach pionowych na pokrywę nieprzekraczających 20 kPa. Przy większych naporach liczba koordynacyjna rosła, w konsekwencji powstawania nowych i stabilnych kontaktów między granulami.

Stopień niejednorodności wielkości cząstek determinował także rozkład sił normalnych w punktach kontaktu granul. Otrzymano niesymetryczne funkcje rozkładu prawdopodobieństwa sił normalnych w kontakcie. Najbardziej jednorodny rozkład uzyskano dla próbek monodispersyjnych, zaś niejednorodność rozkładu rosła wraz ze wzrostem standardowego odchylenia średnic sfer od średniej średnicy cząstek. Obserwowano wzrost szerokości rozkładu prawdopodobieństwa sił normalnych w kontakcie w ośrodkach o rosnącym stopniu polidispersyjności, charakteryzujących się mniej uporządkowaną strukturą przestrzenną.

Analiza wpływu stopnia polidispersyjności materiału sypkiego na stopień mobilizacji tarcia w obszarach kontaktu granul wykazała silniejszą mobilizację tarcia w ośrodkach silnie niejednorodnych. Tarcie uznawano za w pełni zmobilizowane w punkcie kontaktu dwóch nasion gdy stosunek siły stycznej do siły normalnej w kontakcie był bliski współczynnikowi tarcia statycznego, wynoszącego w symulacji 0,4. Przy maksymalnym obciążeniu ściskającym (100 kPa), obserwowano wzrost średniej wartości stosunku siły stycznej do siły normalnej w kontakcie od 0,279 w próbkach monodispersyjnych do 0,301 w układach nasion o standardowym odchyleniu średnic sfer od średniej średnicy cząstek wynoszącym $0.8D_m$, wynikający ze wzrostu o 8% liczby kontaktów zmobilizowanych w próbkach silnie polidispersyjnych.

Badania ośrodków niejednorodnych pod względem wielkości cząstek wykazały brak wpływu stopnia polidispersyjności próbek na efektywny moduł sprężystości ośrodka oraz współczynnik Poissona, stanowiące parametry charakteryzujące właściwości sprężyste materiału. Brak wpływu stopnia niejednorodności cząstek tworzących materiał rozdrobniony na jego sztywność był wynikiem zbliżonych gęstości badanych próbek, które determinowały sprężyste właściwości modelowych ośrodków.

Wzrost standardowego odchylenia wymiarów cząstek do $0.8D_m$ nie spowodował także istotnych zmian wartości ilorazu naporu próbki. Różnice wartości parametru, obliczone dla układów sfer o różnym stopniu polidispersyjności, leżały w granicy błędu pomiarowego. Porównanie wyników uzyskanych z testów numerycznych z wartościami teoretycznymi obliczonymi w oparciu o zależność rekomendowaną przez normę Eurocode 1 wykazało dobrą zgodność jakościową wyników; jednak, wartości uzyskane w testach wykonanych Metodą Elementów Dyskretnych dawały wartości znacząco niższe. Dla układu jednorodnych sfer wartość ilorazu naporu była bliższa wartości zmierzonej metodami eksperymentalnymi dla próbek zawierających nasiona grochu. Prawdopodobną przyczyną różnic wartości rzeczywistych i uzyskanych z testów numerycznych była niejednorodność wielkości i kształtu oraz chropowatość powierzchni nasion. Czynniki te mogły być przyczyną niejednorodności struktury upakowania złoża oraz ograniczenia rotacji nasion w ośrodku.

Analiza przebiegu zależności wartości ilorazu naporu od naporu ściskającego wykazała gwałtowny spadek wartości parametru przy naporach pionowych na pokrywę nieprzekraczających 20 kPa. Zmiany wartości ilorazu naporu wynikały ze zmian wartości kąta tarcia wewnętrznego, który, w pierwszej fazie obciążania, rósł szybko wraz ze wzrostem wartości naporu ściskającego. Przy naporach większych od 20 kPa, zmiany wartości parametrów były znacznie mniejsze, w konsekwencji stopniowej mobilizacji tarcia w obszarach kontaktu nasion.

Przeprowadzone badania wykazały, że rozkład naprężenia oraz właściwości sprężyste polidispersyjnych ośrodków sypkich determinowane są przez ich właściwości strukturalne i mikromechaniczne. Poznanie tych właściwości umożliwiło pełniejszą i bardziej precyzyjną interpretację wyników charakteryzujących materiał rozdrobniony w skali makro.

Wyniki badań przedstawione w publikacji 3 pokazały silną zależność średniej liczby koordynacyjnej oraz stopnia mobilizacji tarcia w punkcie kontaktu nasion od stopnia niejednorodności ich wielkości w ośrodku sypkim oraz brak jego wpływu na makromechaniczne właściwości materiału poddanego działaniu sił ściskających.

Publikacja 4:

Wiącek J., Molenda M.: *Microstructure and micromechanics of polydisperse granular materials: effect of the shape of particle size distribution*, Powder Technology 268, 237-243, 2014

Celem badań omówionych w publikacji 4 była analiza właściwości strukturalnych oraz mechanicznych polidispersyjnych ośrodków rozdrobnionych różniących się składem granulometrycznym, opisanym różnymi rozkładami wielkości cząstek. Przesłanką do realizacji badań był fakt, że większość materiałów sypkich wykorzystywanych w przemyśle i rolnictwie stanowi ośrodki polidispersyjne, a ich skład granulometryczny determinuje właściwości materiałów. Większość badań numerycznych nad materiałami rozdrobnionymi obejmuje próbki charakteryzujące się normalnym lub log-normalnym rozkładem wielkości granул, jednak rozkład wielkości cząstek może być opisany także rozkładem wykładniczym, przypadkowym lub jednostajnym dyskretnym. Zrozumienie wpływu rodzaju rozkładu wielkości cząstek ośrodka sypkiego na jego strukturę oraz mechaniczne właściwości stanowi istotne zagadnienie w wielu gałęziach przemysłu wykorzystujących materiały rozdrobnione. Niewystarczająca wiedza na temat wpływu rodzaju rozkładu wielkości cząstek na właściwości mechaniczne materiałów sypkich oraz ograniczenia metod eksperymentalnych stały się przyczynkiem do podjęcia badań nad polidispersyjnymi materiałami rozdrobnionymi o różnych rozkładach wielkości granул przy zastosowaniu Metody Elementów Dyskretnych.

Badania wykonano dla próbek zawierających cząstki sferyczne o jednakowej średniej średnicy oraz o standardowym odchyleniu średnic sfer od średniej średnicy cząstek wynoszącym $0.2D_m$. Parametry materiałowe sfer odpowiadały parametrom zmierzonym dla nasion grochu. Wygenerowane w pierwszym etapie symulacji cząstki o przypadkowym początkowym położeniu opadały pod wpływem siły grawitacyjnej na dno sześciennego komory aparatu jednoosiowego ściskania o wysokości 0,12m, szerokości 0,12m oraz grubości 0,132m. Wymiary komory uznano za objętość reprezentatywną dla modelowanych polidispersyjnych materiałów sypkich. Badania objęły próbki o ciągłych oraz dyskretnych rozkładach wielkości cząstek. Wśród rozkładów ciągłych znalazły się: rozkład normalny, log-normalny oraz przypadkowy. Wygenerowane próbki poddawano działaniu siły ściskającej poprzez przesuwającą się pionowo w dół ze stałą prędkością płytę aparatu.

Analiza wpływu rodzaju rozkładu wielkości cząstek ośrodka sypkiego poddanego działaniu sił ściskających na jego właściwości strukturalne i mechaniczne objęła gęstość ośrodka, liczbę kontaktów, tensor struktury, rozkład sił kontaktu i kątów kontaktu oraz stopień mobilizacji tarcia w obszarze kontaktu sfer.

Badania próbek złożonych z nasion o ciągłym rozkładzie wielkości wykazały brak wpływu rodzaju rozkładu na mikrostrukturalne właściwości materiału, jednak wartości gęstości i średniej liczby koordynacyjnej w układach sfer o dyskretnym rozkładzie wielkości były mniejsze o 3% i 7% w porównaniu do wartości parametrów obliczonych dla układów z normalnym rozkładem wielkości nasion. Zauważono znaczące różnice w rozkładach sił normalnych w obszarach kontaktu sfer charakteryzujących się różnymi rozkładami wielkości cząstek; jednak, nie zaobserwowano wpływu rodzaju rozkładu na rozkład kątów kontaktu granul w modelowych próbkach. W każdym z badanych przypadków otrzymano niejednorodny rozkład kątów kontaktu bez wyróżnionego kierunku normalnej w kontakcie.

Analiza stopnia mobilizacji tarcia w obszarach kontaktu nasion w próbkach nie poddanych działaniu sił ściskających, zawierających cząstki o dyskretnym rozkładzie wielkości, wykazała o 25% wyższy stopień mobilizacji tarcia w porównaniu do próbek zawierających sfery o normalnym rozkładzie wielkości. Różnice stopnia mobilizacji tarcia w próbkach o odmiennych rozkładach wielkości nasion malały wraz ze wzrostem naporu ściskającego wywieranego na układy sfer, a przy maksymalnym naporze ściskającym, wynoszącym 100kPa, procentowy udział kontaktów całkowicie zmobilizowanych był jednakowy we wszystkich próbkach.

Na podstawie wyników przedstawionych w publikacji 4 dla układów sfer o ciągłych rozkładach wielkości stwierdzono brak wpływu rodzaju rozkładu zarówno na mikrostrukturalne, jak i mechaniczne właściwości ośrodka poddanego działaniu jednoosiowych sił ściskających. Odmiennie wartości parametrów mierzonych dla próbek o dyskretnym rozkładzie wielkości sfer związane były z mniejszą gęstością modelowych ośrodków porowatych, determinującą ich reakcję na działającą z zewnątrz siłę ściskającą.

Podsumowanie

Ośrodki sypkie stanowią grupę materiałów wykorzystywanych na dużą skalę w rolnictwie oraz wielu gałęziach przemysłu (farmaceutycznym, kosmetycznym, chemicznym, spożywczym, metalurgicznym, budowlanym i in.). Nieprawidłowe obchodzenie się z tymi materiałami może mieć negatywne konsekwencje dla zdrowia i życia konsumentów, dlatego ograniczenie niebezpieczeństw i strat będących skutkiem braku wystarczającej wiedzy o naturze ośrodków rozdrobnionych stanowi wyzwanie dla inżynierii materiałowej i mechanicznej. Realizacja tych celów wymaga jednak znajomości właściwości materiałów oraz praw fizycznych rządzących ich zachowaniem.

Wiedza zdobyta w wyniku realizacji badań opisanych w publikacjach może znaleźć szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i gospodarki przyczyniając się do podniesienia wydajności procesów produkcji oraz jakości produktów końcowych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych:

Po ukończeniu studiów magisterskich na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, w roku 2004 rozpoczęłam stacjonarne studia doktoranckie w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie. Realizowane w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych badania przeprowadzono metodami eksperymentalnymi oraz numerycznymi procesów mechanicznych w ośrodkach rozdrobnionych pochodzenia roślinnego. Jako jedna z nielicznych wtedy osób w Polsce, korzystałam w mojej pracy z oprogramowania opartego na Metodzie Elementów Dyskretnych (MED), stanowiącej cenne narzędzie do badania oddziaływań między elementami ośrodków o naturze dyskretnej. Na pierwszym roku studiów doktorskich nawiązałam współpracę naukową z prof. Jinem Ooi, światowym autorytetem w dziedzinie modelowania Metodą Elementów Dyskretnych, wieloletnim pracownikiem Uniwersytetu w Edynburgu. W latach 2005-2008, odbyłam sześć kilkutygodniowych staży w Szkole Inżynierii i Elektroniki Uniwersytetu w Edynburgu, pod opieką prof. Jina Ooi (III.L.1.- III.L.6.). Podczas stażu naukowego w 2005 roku nawiązałam współpracę z firmą DEM Solutions Ltd. w Edynburgu, od której otrzymałam licencję na oprogramowanie EDEM. Podczas pobytu w Edynburgu w 2007 roku przygotowałam wniosek o finansowanie projektu (II.I.5.) w ramach Polsko-Brytyjskiego Programu dla Młodych Naukowców. Uzyskując pozytywną decyzję dotyczącą finansowania projektu (II.I.6.), w latach 2007-2008 realizowałam badania nad mechanicznymi właściwościami roślinnych materiałów sypkich. W latach 2007-2008 byłam także wykonawcą w projekcie badawczym promotorskim (II.I.5.). Wyniki badań realizowanych w ramach ww. projektów zawarte zostały w rozprawie doktorskiej pt. *Modelowanie efektów quasi-statycznych w złożu ziarna metodą elementów dyskretnych*, której promotorami byli prof. dr hab. Marek Molenda oraz prof. Jin Ooi. Wyniki były także przedstawione w monografii (II.D.4.), publikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (I.B.1., II.A.7., II.A.9.) oraz prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych (III.B.7., III.B.10.- III.B.13.).

W latach 2005-2007 byłam wykonawcą w programie współfinansowanym przez Unię Europejską ze środków EFS (III.A.4.). W ramach realizacji projektu, przygotowałam dwa rozdziały w monografiach o charakterze popularno-naukowym (III.Q.2.- III.Q.3.). W latach 2010-2013 byłam także wykonawcą w projekcie badawczym (III.I.3.), finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, zaś w latach 2013-2014 współrealizowałam projekt w ramach przedsięwzięcia „Ścieżki Kopernika” (III.A.1.).

W roku 2004 rozpoczęłam pracę w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych na stanowisku młodszy fizyk, zaś w roku 2008 zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta. Od 2011 roku jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta.

W roku 2008 rozpoczęłam badania nad wpływem niejednorodności wielkości cząstek złoża nasion na jego właściwości mechaniczne i strukturalne. Wyniki zrealizowanych badań opublikowano w kilku czasopiśmie (I.B.2.- I.B.4., II.A.10.) oraz zaprezentowano na krajowych (II.K.7.) i międzynarodowych (II.K.1.-II.K.15., II.K.8.) konferencjach naukowych.

W latach 2013-2015 kierowałam projektem badawczym w ramach Programu Iuventus Plus (I.I.1.), finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Prowadzone

przeze mnie badania dotyczyły charakterystyki złożeń materiałów sypkich poddanych testom ściskania. Analiza właściwości strukturalnych i mechanicznych objęła próbki dwu- i trójskładnikowe zawierające kulki stalowe oraz nasiona wybranych gatunków roślin. Uzupełnienie metod eksperymentalnych numeryczną Metodą Elementów Dyskretnych (MED) umożliwiło poznanie mikro- i makromechanicznych właściwości ośrodków sypkich o różnym udziale cząstek mniejszych w złożu oraz różnym stosunku średnic elementów tworzących próbkę. Wyniki badań przedstawiono w publikacji podlegającej ocenie recenzentów oraz przedstawiono na międzynarodowej konferencji naukowej (II.K.2.).

W 2014 roku, w ramach projektu PathFinder, rozpoczęłam współpracę z prof. Wojciechem Sobieskim z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, dotyczącą modelowania materiałów porowatych Metodą Elementów Dyskretnych. W tym samym roku byłam wykonawcą w projekcie realizowanym w ramach programu współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (II.I.3.).

Mój dorobek publikacyjny obejmuje ponad 50 publikacji naukowych i komunikatów konferencyjnych. Jestem autorką lub współautorką 23 oryginalnych prac twórczych i przeglądowych, w tym 14 w czasopiśmie z IF. Aktualnie przygotowuję kolejne prace naukowe. Mój całościowy dorobek naukowy wg punktacji MNiSW, zgodnie z rokiem publikacji, wynosi 401 punktów, z czego 135 stanowi podstawę wniosku habilitacyjnego. Sumaryczny Impact Factor dla opublikowanych przeze mnie publikacji wynosi 21,945, z czego 8,438 posiadają publikacje będące podstawą wniosku o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego. Liczba cytowań moich prac według bazy Web of Science wynosi 69, a indeks Hirscha 5 według bazy Web of Science. Dodatkowo jestem współautorką jednego patentu (II.B.1) i jednego wzoru przemysłowego (II.C.1).

W ciągu całego okresu pracy zawodowej brałam czynny udział w realizacji 6 projektów badawczych (II.I.1.- II.I.6.) i 1 projektu edukacyjnego (III.A.1.). W 2 projektach byłam kierownikiem (II.I.1., II.I.6.). Podczas pracy naukowej brałam czynny udział w 21 kongresach i konferencjach międzynarodowych oraz krajowych (III.B.1.- III.B.21), prezentując wyniki w formie ustnej lub w formie posterów. Uczestniczyłam również w pracach komitetów organizacyjnych konferencji naukowych (III.C.1.-III.C.2.). W latach 2012-2015 wykonałam 7 recenzji artykułów naukowych dla 3 czasopism o zasięgu międzynarodowym (III.P.1.-III.P.3.). W trakcie mojej pracy zawodowej brałam udział w kursach i szkoleniach (III.Q.7.-III.Q.8.), a także studiach podyplomowych (III.Q.6.). Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego oraz Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej (III.H.1.-III.H.3.).

Od 2005 roku aktywnie prowadzę działalność popularyzatorską uczestnicząc w pokazach, Festiwalach Nauki oraz Piknikach Naukowych (III.I.1.- III.I.8.). Od kilku lat jestem koordynatorem do spraw uczestnictwa Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie w Festiwalu Nauki w Jabłonie oraz w Pikniku Naukowym Radia BIS i Centrum Nauki Kopernik w Warszawie. Jestem także współautorką kilku prac o charakterze popularyzatorskim (III.Q.1a-e.). W roku 2014 zostałam powołana na członka Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie w kadencji 2015-2018.

Zestawienie dorobku naukowego przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Dorobek naukowy	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Całkowity dorobek
Oryginalne prace twórcze w czasopismach z IF stanowiące część osiągnięcia naukowego		4	4
Oryginalne prace twórcze w czasopismach z IF	6	8	14
Oryginalne prace twórcze w czasopismach bez IF	2	2	4
Udzielone patenty krajowe		1	1
Wzory przemysłowe		1	1
Udział w realizacji projektów badawczych finansowanych ze źródeł zewnętrznych	2	4	6
Referaty wygłoszone na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	11	7	18
Udział w konferencjach międzynarodowych i krajowych	14	7	21
Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	1	1	2
Recenzje publikacji z IF		7	7
Sumaryczny IF publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego		8,438	8,438
Sumaryczny IF wszystkich publikacji	6,804	15,141	21,945
Całkowita liczba punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, wg. wykazu MNiSW z dnia 31 grudnia 2014 r.		135	135
Całkowita liczba punktów MNiSW publikacji i prac, wg. wykazu MNiSW z dnia 31 grudnia 2014 r.	117	284	401