

## Autoreferat merytoryczny

### Omówienie zawartości rozprawy habilitacyjnej

#### Tytuł: ANALIZA PŁYNIĘCIA MATERIAŁÓW GRANULOWANYCH W MODELACH SILOSÓW

Dr inż. Irena Sielamowicz

Osiągnięcia badawcze zawarte w przedkładanych publikacjach:

1. **ZASTOSOWANIE TECHNIKI DPIV** (Digital particle image velocimetry) do rejestracji obrazów płynięcia ziaren w modelach silosów z zasypem i wypływem symetrycznym oraz niesymetrycznym. Badania wykonano w modelach o ścianach pionowych i w modelu zbieżnym. W modelu o ścianach pionowych rozpoznano płynięcie ziaren w przepływie symetrycznym – symetryczny zasyp i wypływ jak również przepływy niesymetryczne o zmiennym położeniu miejsca zasypu jak i otworu wylotowego. Wynikami takich rejestracji były pola prędkości, linie prądu jak również zarejestrowane strefy ścinania w modelu zbieżnym, położenie granicy pomiędzy płynącym materiałem a materiałem zgromadzonym w strefie zastoju w obu modelach. W badaniach wykorzystano ziarna amarantusa, siemienia lnianego oraz gryki o naturalnych zanieczyszczeniach, takie jak jest przywożone do silosów czy do magazynów zbożowych bezpośrednio z pola. Naturalne zanieczyszczenia powodowały uzyskanie rzeczywistych obrazów płynięcia ziaren jak również zarejestrowano ciekawe zaburzenia w strumieniu płynącego ziarna.

Opisane wyżej badania zawarto w następujących publikacjach:

a) *Sielamowicz I.*, Cyfrowa technika optyczna DPIV w pomiarach przepływu ziaren amarantusa w płaskim modelu silosu, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo, Z. 25, 277-287, 2004, **2 pkt (lista MNiSzW)**.

b) *Sielamowicz I., Błoński S., Kowalewski T.A.*, Optical technique DPIV in measurements of granular material flows, Part 1 of 3 - plane hoppers, Chemical Engineering Science, Elsevier, 60, 2, 589-598, 2005, **32 pkt (lista MNiSzW)**.

c) *Sielamowicz I.*, Experimental analysis of granular material flows using the technique Digital Particle Image Velocimetry, Engineering Transactions, 53, 2, 195-227, 2005, **6 pkt (lista MNiSzW)**.

d) *Sielamowicz I., Kowalewski T. A., Błoński S.*, Digital particle image velocimetry (DPIV) technique in measurements of granular material flows, part 2 of 3-converging hoppers, Chemical Engineering Science 61, 5307-5317, 2006, **32 pkt (lista MNiSzW)**. MNiSzW).

**Publikacja a)** – pokazuje możliwości zastosowania optycznej techniki cyfrowej (Anemometrii obrazowej) zastosowanej do pomiarów przepływu materiału ziarnistego w płaskim modelu silosu. Przezroczyste ściany modelu umożliwiły obserwację procesu płynięcia oraz rejestrację płynących ziaren. Na podstawie zarejestrowanych obrazów wykonano rozkłady prędkości płynącego materiału oraz pola wektorowe. W pracy pokazano i opisano fazy płynięcia ziaren i zaburzenia występujące w czasie płynięcia.

**Publikacja b)** prezentuje wyniki eksperymentalne rejestracji obrazów płynięcia techniką DPIV procesów płynięcia trzech materiałów ziarnistych: amarantusa, siemienia lnianego i gryki. Dzięki zastosowanej technice przeanalizowano ewolucję strefy płynięcia tych materiałów, pola prędkości, zakres kształtujących się stref zastoju w płynącym materiale. Określono zmienność: wysokości i szerokości strefy zastoju, prędkości na wybranych poziomach w modelu oraz ewolucję płynącego materiału w strefie o najwyższej prędkości w funkcji czasu. Zdefiniowano „streamlines” toru pojedynczych cząsteczek. Otrzymane wyniki omówiono w porównaniu z wynikami prezentowanymi przez Watersa i Dreschera (2000). Stwierdzono, że od poziomu  $h=10$  cm prędkości w modelu są jednakowe. W pracy podano charakterystyki badanych materiałów ziarnistych.

**Publikacja c)** prezentuje wyniki badań eksperymentalnych – rejestrację obrazów płynięcia ziaren amarantusa w płaskim modelu zbieżnym wykonane techniką DPIV. Technika DPIV umożliwiła ilościową analizę przepływu materiału w modelu i rozpoznanie sposobu płynięcia materiału. W pracy pokazano ewolucję pola prędkości, nieciągłości przepływu, rozkłady prędkości, strefy ścinania pojawiające się pomiędzy strefą zastoju a płynącym materiałem.

**Publikacja d)** jest syntezą zastosowania techniki DPIV do rejestracji płynięcia materiałów ziarnistych w modelach płaskich i zbieżnych. Pokazuje zarejestrowane przepływy symetryczne i niesymetryczne. Podano zarejestrowane różnice w sposobie płynięcia ziaren w tych przepływach. Zamieszczono w pracy obrazy płynącego materiału w płaskim modelu zbieżnym z widocznym rozkładem wektorów w strefie płynięcia. Zaobserwowano inny niż radialny przepływ – do tej pory zakładano radialne płynięcie cząstek w modelach zbieżnych. Technika DPIV umożliwiła rozpoznanie rzeczywistego płynięcia w strefie o największej prędkości. Cząstki przemieszczają się pionowo w dół a nie radialnie. Można było zaobserwować radialny przepływ w górnej części płynącego materiału – w strefie spływającego materiału do „kanału” płynięcia. Podano w pracy wyniki pomiarów wydatku wypływu – jednego z najważniejszych parametrów. Wartość wydatku wypływu jest jednakowa w czasie płynięcia, materiał w pierwszej fazie płynięcia rozluźniał się a następnie uzyskał stabilną wartość wydatku.

**KONKLUZJA** – zastosowanie techniki DPIV w procesach rejestracji płynących materiałów dało możliwość rozpoznania sposobu płynięcia i zdefiniowania zjawisk występujących w czasie płynięcia a mających wpływ na wartości ciśnień wywieranych na ścianę silosu a przez to uzyskane wartości (prędkości, wydatek wypływu, wielkości stref zastoju, wielkość obszaru płynięcia) są ważnym elementem dla projektantów konstrukcji silosów.

**2. APLIKACJA METODY NUMERYCZNEJ DEM – Discrete Element Method (metoda elementów dyskretnych)** do analizy symulacji procesów płynięcia materiałów granulowanych w modelach silosów. Porównano wartości ciśnień pomierzonych eksperymentalnie na ścianki modelu o ścianach pionowych z wartościami symulacji numerycznej DEM. Uzyskano dobrą zbieżność wyników eksperymentalnych z wynikami

symulacji. Wykonano również porównanie uzyskanych wartości ciśnień z analizy numerycznej DEM i pomiarów eksperymentalnych z rozwiązaniem zalecanym przez Eurokod 1 i wynikami analizy ciśnień według Jansena. Wykonane porównanie wartości ciśnień pokazało, że wartości rzeczywiste pomierzone w czasie eksperymentu są większe zarówno od wartości obliczonych analitycznie oraz według zaleceń normy Eurokod 1. Weryfikacja pola prędkości polegała na wykonaniu symulacji numerycznej profili prędkości, wartości wydatku wypływu oraz zasięgu stref martwych w modelu silosu. Wykonano symulacje pól porowatości, wartości naprężeń normalnych i ścinających, kąta tarcia wewnętrznego. W badaniach eksperymentalnych i w symulacji numerycznej wykorzystano określoną liczbę ziaren grochu 20.400.

**Wykonanie analizy porównawczej pomierzonych eksperymentalnie wartości ciśnień wywieranych przez materiał na ścianę modelu z wartościami obliczonymi analitycznie i otrzymanymi w symulacji numerycznej DEM.** Ciśnienia obliczono w modelu o wymiarach jakie zastosowano w eksperymentach. Wartości ciśnień obliczone analitycznie odbiegają od wartości pomierzonych eksperymentalnie. Są mniejsze, a to spowodowane jest przyjęciem założeń upraszczających w analizie analitycznej: quasi statyczny charakter procesu sterowanego napełniania i opróżniania, przyjęcia jednorodnego rozkładu pola gęstości materiału w modelu, przyjęcie modelu zastępczego ośrodka ciągłego oraz uproszczonego mechanizmu jednowymiarowych deformacji.

Opisane wyżej badania zawarto w następujących publikacjach:

a) *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Discrete element method applied to multiobjective optimization of discharge flow parameters in hoppers, Structural and Multidisciplinary Optimization, 31, 3, 163-175, 2006, **32 pkt (lista MNiSzW)**.

b) *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Microscopic and macroscopic analysis of granular material behaviour in 3d flat-bottomed hopper by the discrete element method, Archives of Mechanics, 59, 3, 1-27, 2007, **13 pkt (lista MNiSzW)**.

c) *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Discrete-particle investigation of friction effect in filling and unsteady/steady discharge in three-dimensional wedge-shaped hopper, Powder Technology, 187, 2, 159-174, 2008, **32 pkt (lista MNiSzW)**.

d) *Balevičius R., Kačianauskas R., Mróz Z., Sielamowicz I.*, Analysis and DEM simulation of granular material flow patterns in hopper models of different shapes, Advanced Powder Technology, online, 2011, **20 pkt (lista MNiSzW)**.

**Publikacja a)** przedstawia analizę numeryczną wykonaną metodą symulacji DEM (Discrete element method – metoda elementów dyskretnych). Symulowano procesy napełniania i opróżniania modelu zbieżnego o stałym wymiarze otworu wylotowego. Zaprezentowane podejście polegało na przyjęciu dwóch kryteriów optymalizacyjnych - czas opróżniania modelu i wielkości wydatku wypływu. Przyjęty model numeryczny został zweryfikowany przez pomiar wartości ciśnień wywieranych na ścianę modelu. Sposób płynięcia i odpowiadająca mu zmienność kryteriów optymalizacji dzieli przestrzeń tych parametrów na kilka podobszarów. Pokazano trzy obszary uzależnione od zmienności wydatku wypływu – faza początkowa, faza przyspieszająca i faza finalna przyspieszenia. Faza początkowa i faza przyspieszająca są kryteriami dominującymi – spadek wartości wydatku wypływu jest zgodny z upływem czasu wypływu. Faza finalna przyspieszenia jest scharakteryzowana przez zespół Pareto,

gdzie redukcja wydatku wypływu może zostać osiągnięta przez skrócenie czasu wypływu. W pracy scharakteryzowano wpływ kąta nachylenia ściany modelu na charakter przepływu. Kryteria optymalizacji w obszarze przyspieszenia nie mają wpływu na zmianę geometrii modelu.

**Publikacja b)** przedstawia zastosowanie metody DEM w modelowaniu procesów płynięcia materiałów ziarnistych w modelu o ścianach pionowych. Podano ewolucję płynięcia, określono wartości sił kontaktu międzycząsteczkowych w kategoriach wartości wydatku wypływu, pól porowatości materiału w modelu oraz wartości ciśnień na ścianę. Głównym zagadnieniem w pracy była analiza efektu tarcia w procesach napełniania i opróżniania modelu.

**Publikacja c)** stanowi analizę numeryczną metodą DEM efektu tarcia w procesach napełniania i opróżniania procesów ustalonego i nieustalonego płynięcia zachodzących w modelach trójwymiarowych o kształcie klinowym. Zastosowany model oparto na mechanice kontaktu pojedynczej cząstki kulistej na podstawie prawa Hooke'a oddziaływania sprężystego, tarcia statycznego i dynamicznego jak również sił tłumienia lepkiego. Proces napełniania symulowano jako "masowy" natomiast proces opróżniania był symulowany i sterowany numerycznie. Podano ewolucję energii kinetycznej napełniania, rozkład wartości naprężeń w materiale, ewolucję wartości ciśnień na ścianę, wartości pól porowatości. Analizowano zmienność wartości prędkości, wydatku wypływu, wydatku masowego. Efekt tarcia analizowano stosując współczynnik tarcia międzycząsteczkowego w granicach 0-0,6. Porównanie wyników numerycznej analizy DEM z obliczeniami analitycznymi zaprezentowano również w pracy.

**Publikacja d)** zawiera wyniki analizy numerycznej DEM wykonane w modelach o różnym kształcie. Wyniki numeryczne otrzymano przez kombinację własności pojedynczych cząsteczek, analizę statystyczną zbioru cząstek i ewolucję zmiennych pola w wymienionych modelach. W celu weryfikacji symulacji numerycznej podano rozkłady prędkości w modelu zbieżnym 3D zawierającym 20.400 ziaren grochu.

**KONKLUZJA** – nowoczesna metoda numeryczna DEM okazała się skutecznym narzędziem symulacji płynięcia materiałów ziarnistych w modelach silosów. Metoda pomimo swych ograniczeń pozwała na uzyskanie bardzo dobrych wyników symulacji procesów płynięcia.

**3. BADANIE KINEMATYKI PRZEPŁYWÓW SYMETRYCZNYCH I NIESYMETRYCZNYCH. Weryfikacja parametru kinematycznego  $b$  oraz założenia przepływu radialnego.** Określenie wartości parametru  $b$ , jego rozkład i wielkość dla przepływu w modelu zbieżnym i w modelu o ścianach równoległych. Dopasowanie opisów empirycznych parametrów płynięcia: prędkości, wydatku wypływu, położenia stref zastoju w modelu na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych z rejestracji obrazów płynięcia ziaren techniką DPIV.

Opisane wyżej badania zawarto w następujących publikacjach:

a) *I. Sielamowicz, M. Czech, T. A. Kowalewski*, Empirical description of flow parameters in eccentric flow inside a silo model, Powder Technology, 198, 381-394, 2010, 32 pkt (lista MNiSzW).

b) *I. Sielamowicz, M. Czech*, Investigation of the radial flow assumption in a converging model silo, Biosystems Engineering, 106, 4, 412-422, 2010, 20 pkt (lista MNiSzW).

c) *I. Sielamowicz, M. Czech, T. A. Kowalewski*, Empirical description of granular flow inside a model silo with vertical walls, *Biosystems Engineering*, 108, 334-344, 2011, **20 pkt (lista MNiSzW)**.

**Publikacja a)** podaje metodologię opisu empirycznego i analizę statystyczną rozkładów prędkości otrzymanych techniką DPIV w modelu z procesem niesymetrycznego płynięcia. Zaproponowano empiryczne funkcje opisujące prędkości i wartości wydatku wypływu. Otrzymano dobrą zgodność funkcji empirycznych w stosunku do wielkości pomierzonych eksperymentalnie i zarejestrowanych techniką DPIV.

**Publikacja b)** przedstawia analizę założenia przepływu radialnego w modelu zbieżnym. Analiza empiryczna oparta była na wynikach otrzymanych techniką DPIV. Do opisu empirycznego zastosowano funkcje paraboliczne i Gaussa. Stwierdzono, że stosowane założenie przepływu radialnego nie może być stosowane w modelach zbieżnych, ponieważ cząstki materiału nie płyną radialnie a pionowo w strefie tzw. "kanału płynięcia". Potwierdzały to otrzymane pola wektorowe na zarejestrowanych obrazach techniką DPIV. Płynięcie jest kombinacją przepływu pionowego i radialnego. W pracy przedstawiono modyfikację modelu kinematycznego weryfikując wartość parametru  $b$ .

**Publikacja c)** przedstawia statystyczną analizę wartości prędkości otrzymanych z pomiarów eksperymentalnych. Zweryfikowano model teoretyczny podany przez Choi i in. (2005). Zweryfikowano model kinematyczny i rozkład parametr  $b$  oraz porównano go z wartościami podanymi przez Medina i in. (1998). Podano też empiryczne analizy wydatku wypływu. W pracy podano analizę opisu empirycznego FCB (Flow Chanel Boundary) – położenie granicy pomiędzy płynącym materiałem a strefą zastoju.

**KONKLUZJA** – pokazane opisy empiryczne przepływów symetrycznych i niesymetrycznych pozwoliły na dopasowanie wybranych funkcji opisu parametrów płynięcia z wielkościami uzyskanymi w pomiarach eksperymentalnych techniką DPIV. Zweryfikowany parametr kinematyczny  $b$  w modelu posiada inny rozkład niż podawano do tej pory. Założenie przepływu radialnego nie można stosować w modelach zbieżnych- przepływ ma inny charakter – nie jest to przepływ radialny.

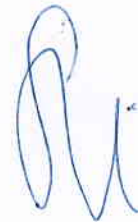
Mój udział merytoryczny w poniższych pracach polegał na wyborze i opracowaniu koncepcji, opracowaniu układu merytorycznego pracy, harmonogramu i zakresu eksperymentów, odniesienia się do stanu wiedzy, odniesienia się opublikowanych wyników przez innych badaczy, dokonania przeglądu literatury cytowanej w tekście, wyboru metody badawczej, zgłoszeń prac do wydawnictw, udzielenia odpowiedzi recenzentom.

Ponadto moim wkładem było również opracowanie obliczeń statystycznych, dokonanie doboru funkcji, wykonanie analiz numerycznych, opracowanie wyników i analiz porównawczych prezentowanych w pracach.

Prace samodzielnie opracowane dotyczą badania mechaniki płynięcia materiałów ziarnistych w płaskich modelach silosów, rejestracji obrazów płynięcia techniką DPIV i zastosowania modelu ciała idealnie plastycznego do analizy wartości ciśnień na ścianki modelu.

a) *Sielamowicz I.*, Kształtowanie się stref zastoju w grawitacyjnym wpływie ziaren łubinu i żyta w płaskim modelu silosu, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, Z.18, s. 201-216, 1998, **2 pkt (lista MNiSzW)**.

b) *Sielamowicz I.*, Analiza numeryczna parcia osrodka sypkiego w leju silosu z wykorzystaniem modelu ciała idealnie plastycznego, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, Z. 22, s.303-316, 2002, **2 pkt (lista MNiSzW)**.



## **AUTOREFERAT**

**Dr inż. Irena Sielamowicz**

*1981-2010 Politechnika Białostocka*

*2010 – Przedsiębiorstwo: Systemy Silosów Kompozytowych  
ORCHIDEA w kooperacji z Plasticon Poland i Colfibrex*

**Temat: ANALIZA PŁYNIĘCIA MATERIAŁÓW GRANULOWANYCH  
W MODELACH SILOSÓW**

**Praca habilitacyjna**

### **Wprowadzenie**

W latach 1974–1980 studiowałam na Politechnice Białostockiej na Wydziale Budownictwa Lądowego. Pracę magisterską złożyłam z wyróżnieniem uzyskując tytuł magistra inżyniera w specjalności technologia i organizacja budownictwa.

### **Praca naukowo-dydaktyczna**

Od dnia 1.02.1981 zostałam zatrudniona jako pracownik naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Mechaniki Budowli na Wydziale Budownictwa w Politechnice Białostockiej początkowo na stanowisku asystenta stażysty, asystenta a następnie starszego asystenta. Prowadziłam zajęcia dydaktyczne (ćwiczenia audytoryjne i projektowe) ze studentami z przedmiotu mechanika budowli i wytrzymałość materiałów. Kierownikiem Zakładu był docent Jerzy Kujawski, pod kierunkiem którego zajmowałam się analizą koncentracji naprężeń na krawędziach płyt. W roku 1981 docent Jerzy Kujawski wyjechał za granicę i prace zostały przerwane. Mając na uwadze 8-letni okres zatrudnienia na wykonanie rozprawy doktorskiej poszukiwałam tematu do jej zrealizowania. Początkowo zajęłam się analizą kominów stalowych. Opublikowałam kilka prac o tej tematyce. Temat ten nie okazał się jednak mnie interesujący. Postanowiłam zająć się zagadnieniem obliczania interakcji

konstrukcji z podłożem i zasadom analizy konstrukcji. W tym czasie brałam udział w kilku ekspertyzach budowlanych i pracach naukowo-badawczych:

1. Analiza stanu technicznego kablobetonowej konstrukcji dachu odlewni Fabryki Przyrządów i Uchwytów w Białymstoku, 1983, Nr IBL-RNN/U/84/83.
2. Ekspertyza techniczna stanu stropu stacji skraplaczy dla przedsiębiorstwa Przemysłu Chłodniczego w Ełku, Nr RNN/U/238/1/83.
3. Wykonanie analizy badań sklerometrycznych oraz inwentaryzacja konstrukcji nośnej hali odlewni Fabryki Przyrządów i Uchwytów w Białymstoku, Nr RNN/U/238/2/83.
4. Opracowanie wyników wierceń geologicznych w budynku stacji skraplaczy oraz inwentaryzacja stanu technicznego w/w budynku, Nr TME/1995/83.

W roku 1986 rozpoczęłam współpracę naukową z prof. Zbigniewem Kączkowskim z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, pod kierunkiem którego napisałam rozprawę doktorską "Analiza płyty kołowej na podłożu jednostronnym metodą elementów czasoprzestrzennych". Recenzentami rozprawy byli: prof. Marek Witkowski z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej oraz prof. Rościśław Tribińko z Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Dysertację tę obroniłam na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej w dniu 23 kwietnia 1991 roku. W ramach wymogów do uzyskania tytułu doktora nauk technicznych w okresie od 1 lutego do 31 lipca w 1989 roku odbyłam praktykę-staż przemysłowy w Biurze Projektowo-Badawczym Budownictwa Ogólnego Miastoprojekt w Białymstoku. Po obronie doktoratu decyzją Rady Naukowej Ministerstwa Nauki w Bernie w Szwajcarii otrzymałam 12-miesięczne stypendium naukowe w grupie "young professors" do Ecole Polytechnique Federale de Lausanne w Szwajcarii. Rząd Szwajcarii postanowił udzielić wsparcia większej liczbie stypendystów i skrócił okres każdego stypendium z 12 do 9 miesięcy. Zamiast na pełny rok wyjechałam do Ecole Polytechnique Federale de Lausanne w terminie 15.10.1992-15.07.1993. Pracowałam w zespole konstrukcji stalowych prof. Manfreda Hirta. Brałam udział w pracach naukowo badawczych wykonywanych dla podmiotów zewnętrznych:

1. Ekspertyzie technicznej płyty poddanej obciążeniu dynamicznemu w fabryce elementów stalowych w Aigle spółki Zwahlen-Mayer, ICOM-1/93, EPFL.
2. Pracy badawczej dotyczącej ustalenia warunków zmęczenia materiału, ICOM-2/93, EPFL.
3. Wyznaczaniu naprężeń w belce, praca badawcza ICOM-3/93, EPFL.
4. Projekcie technicznym hali przemysłowej na lotnisku w Genewie, raport ICOM- 4/93, EPFL. Ekspertyzie technicznej mostu stalowego w Zurychu. Raport ICOM- 5/93, EPFL.

Od roku 1994 próbowałam zastosować metodę elementów czasoprzestrzennych w zakresie diagnozowania problemów występujących w czasie płynięcia ziaren w silosach – pojemnikach do magazynowania zboża i innych materiałów ziarnistych. W 1995 roku



wystąpiłam na Międzynarodowej Konferencji w Krakowie “Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze” z referatem: “The analysis of the problem of determining the induced bin wall pressures by stored material with the use of the space-time element method”, a w roku 1995 uzyskałam finansowanie projektu badawczego „Analiza problemu wyznaczania ciśnień w modelu silosu metodą elementów czasoprzestrzennych” przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji. Nie znajdowałam w literaturze odpowiedzi na wiele zagadnień. Zjawiska występujące w czasie płynięcia materiałów ziarnistych w silosach nie są dokładnie rozpoznane i zdiagnozowane. Sprawę utrudniają rozmiary konstrukcji silosu oraz dostęp do niej. Silosy są konstrukcjami olbrzymimi dlatego badania mechaniki płynięcia ziaren w silosach badacze wykonują w modelach. W ramach projektu finansowanego z Ministerstwa wyjechałam do Karlsruhe z wizytą naukową. Wystąpiłam także dwukrotnie na konferencji Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN w Krynicy, następnie opublikowałam pierwsze prace z wyników eksperymentalnych oraz pierwszą próbę obliczania ciśnień na ścianki silosu.

W grudniu 2000 roku w Janowicach odbyło się Spotkanie Dyskusyjne zorganizowane przez IPPT PAN i Komitet Mechaniki PAN, gdzie wygłosiłam referat o silosach wykonanych z tworzyw sztucznych. Zapoczątkowana w Janowicach współpraca z prof. Zenonem Mrozem w zakresie analizy procesów płynięcia materiałów granulowanych w modelach zbieżnych rozszerzała się. W IPPT PAN wykonałam pierwsze doświadczenia w modelach silosów z plexi rejestrując techniką DPIV (Digital Particle Image Velocimetry) obrazy płynącego ziarna. Badania w zakresie wizualizacji obrazów płynięcia ziaren w modelach wykonałam dzięki udostępnieniu aparatury pomiarowej w Zakładzie Mechaniki i Fizyki Płynów kierowanym przez prof. Tomasza A. Kowalewskiego. Badania wytrzymałości próbek plexi na rozciąganie wykonałam w Zakładzie Wytrzymałości Materiałów prof. Lecha Dietricha. W Zakładzie prof. Jana Holnickiego-Szulca wykonałam pomiary ciśnień na ścianki modelu silosu, a w Zakładzie Akustyki Fizycznej docenta Zbigniewa Ranachowskiego pomierzyłam wartości ciśnień wywierane przez 20400 ziaren grochu na ścianę modelu a następnie wyniki tej analizy – wartości zarejestrowanych ciśnień, prędkości płynącego materiału, wartość wydatku wypływu porównałam z symulacją numeryczną DEM (Discrete Element Method). Symulację numeryczną DEM wykonywałam we współpracy z zespołem naukowym z Technicznego Uniwersytetu w Wilnie. W analizie symulacji numerycznej wykorzystano program DEMMAT opracowany przez dr Roberta Balevičiusa.

Wyniki wizualizacji obrazu płynięcia wykonane techniką DPIV zaprezentowałam na międzynarodowym kongresie PARTEC'2004 w Norymberdze w marcu 2004 roku, które okazały się sukcesem w skali międzynarodowej.

## Najważniejsze osiągnięcia w pracy habilitacyjnej

1. Zastosowanie techniki DPIV do rejestracji obrazów płynięcia ziaren w modelach silosów z zasypem i wypływem symetrycznym oraz niesymetrycznym. Badania wykonano w modelach o ścianach pionowych i modelu zbieżnym. W modelu o ścianach pionowych rozpoznano płynięcie ziaren w przepływie symetrycznym – symetryczny zasyp i wypływ jak również przepływach niesymetrycznych o zmiennym położeniu miejsca zasypu jak i otworu wylotowego. Wynikami takich rejestracji były pola prędkości, linie prądu jak również zarejestrowane strefy ścianania w modelu zbieżnym, położenie granicy pomiędzy płynącym materiałem a materiałem zgromadzonym w strefie zastoju w obu modelach. W badaniach wykorzystywałam ziarna amarantusa, siemienia lnianego oraz gryki o naturalnych zanieczyszczeniach takie jakie jest przywożone do silosów czy do magazynów zbożowych bezpośrednio z pola. Naturalne zanieczyszczenia powodowały uzyskanie rzeczywistych obrazów płynięcia ziaren jak również zarejestrowano ciekawe zaburzenia w strumieniu płynącego ziarna.
2. Aplikacja metody numerycznej DEM – Discrete Element Method (metoda elementów dyskretnych) do analizy symulacji procesów płynięcia materiałów granulowanych w modelach silosów. Porównano wartości ciśnień pomierzonych eksperymentalnie na ścianki modelu o ścianach pionowych z wartościami symulacji numerycznej DEM. Uzyskano dobrą zbieżność wyników eksperymentalnych z wynikami symulacji. Wykonano również porównanie uzyskanych wartości ciśnień z analizy numerycznej DEM i pomiarów eksperymentalnych z rozwiązaniem zalecanym przez Eurokod 1 i wynikami analizy ciśnień Janssena. Wykonane porównanie wartości ciśnień pokazało, że wartości rzeczywiste pomierzone w czasie eksperymentu są większe zarówno od wartości obliczonych analitycznie oraz według zaleceń normy Eurokod 1. Wykonano także symulację numeryczną profili prędkości, wartości wydatku wypływu oraz zasięgu stref martwych w modelu silosu, symulacje pól porowatości, wartości naprężeń normalnych i ścinających, kąta tarcia wewnętrznego. W badaniach eksperymentalnych i w symulacji numerycznej wykorzystano określoną liczbę ziaren grochu 20400.
3. Wykonanie analizy porównawczej pomierzonych eksperymentalnie wartości ciśnień wywieranych przez materiał na ścianę modelu z wartościami obliczonymi analitycznie. Ciśnienia obliczono w modelu o wymiarach jakie zastosowano w eksperymentach i symulacji numerycznej DEM. Wartości ciśnień obliczone analitycznie odbiegają od wartości pomierzonych eksperymentalnie. Są mniejsze, a to spowodowane jest przyjęciem założeń upraszczających w analizie analitycznej: quasi statyczny charakter procesu sterowanego napełniania i opróżniania, przyjęcia jednorodnego rozkładu pola gęstości materiału w modelu, przyjęcie modelu zastępczego ośrodka ciągłego oraz uproszczonego mechanizmu jednowymiarowych deformacji.
4. Weryfikacja parametru kinematycznego  $b$  oraz założenia przepływu radialnego. Określenie wartości parametru  $b$ , jego rozkład i wielkość dla przepływu w modelu zbieżnym i o ścianach równoległych. Dopasowanie opisów empirycznych parametrów płynięcia: prędkości, wydatku wypływu, położenia stref zastoju w modelu na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych z rejestracji obrazów płynięcia ziaren techniką DPIV.

## Publikacje będące zakresem pracy habilitacyjnej

1. *Sielamowicz I.*, Kształtowanie się stref zastoju w grawitacyjnym wypływie ziaren łubinu i żyta w płaskim modelu silosu, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, Z.18, s. 201-216, 1998, **2 pkt (lista MNiSzW)**.
2. *Sielamowicz I.*, Analiza numeryczna parcia ośrodka sypkiego w leju silosu z wykorzystaniem modelu ciała idealnie plastycznego, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, Z. 22, s.303-316, 2002, **2 pkt (lista MNiSzW)**.
3. *Sielamowicz I.*, Cyfrowa technika optyczna DPIV w pomiarach przepływu ziaren amarantusa w płaskim modelu silosu, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, Z. 25, 277-287, 2004, **2 pkt (lista MNiSzW)**.
4. *Sielamowicz I., Błoński S., Kowalewski T.A.*, Optical technique DPIV in measurements of granular material flows, Part 1 of 3 - plane hoppers, *Chemical Engineering Science*, Elsevier, 60, 2, 589-598, 2005, **32 pkt (lista MNiSzW)**.
5. *Sielamowicz I.*, Experimental analysis of granular material flows using the technique Digital Particle Image Velocimetry, *Engineering Transactions*, 53, 2, 195-227, 2005, **6 pkt (lista MNiSzW)**.
6. *Sielamowicz I., Kowalewski T. A., Błoński S.*, Digital particle image velocimetry (DPIV) technique in measurements of granular material flows, part 2 of 3-converging hoppers, *Chemical Engineering Science* 61, 5307-5317, 2006, **32 pkt (lista MNiSzW)**.
7. *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Discrete element method applied to multiobjective optimization of discharge flow parameters in hoppers, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 31, 3, 163-175, 2006, **32 pkt (lista MNiSzW)**.
8. *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Microscopic and macroscopic analysis of granular material behaviour in 3d flat-bottomed hopper by the discrete element method, *Archives of Mechanics*, 59, 3, 1-27, 2007, **13 pkt (lista MNiSzW)**.
9. *R. Balevičius, R. Kačianauskas, Z. Mróz, I. Sielamowicz*, Discrete-particle investigation of friction effect in filling and unsteady/steady discharge in three-dimensional wedge-shaped hopper, *Powder Technology*, 187, 2, 159-174, 2008, **32 pkt (lista MNiSzW)**.
10. *I. Sielamowicz, M. Czech, T. A. Kowalewski*, Empirical description of flow parameters in eccentric flow inside a silo model, *Powder Technology*, 198, 381-394, 2010, **32 pkt (lista MNiSzW)**.
11. *I. Sielamowicz, M. Czech*, Investigation of the radial flow assumption in a converging model silo, *Biosystems Engineering*, 106, 4, 412-422, 2010, **20 pkt (lista MNiSzW)**.
12. *I. Sielamowicz, M. Czech, T. A. Kowalewski*, Empirical description of granular flow inside a model silo with vertical walls, *Biosystems Engineering*, 108, 334-344, 2011, **20 pkt (lista MNiSzW)**.
13. *Balevičius R., Kačianauskas R., Mróz Z., Sielamowicz I.*, Analysis and DEM simulation of granular material flow patterns in hopper models of different shapes, *Advanced Powder Technology*, online, 2011, **20 pkt (lista MNiSzW)**.

## Cytowania publikacji

Na dzień 7.03.2011 zarejestrowano **39 cytowań** opublikowanych prac.

|                          | Liczba publikacji z listy MNiSzW | Liczba publikacji w innych czasopismach |
|--------------------------|----------------------------------|---|
| Przed doktoratem         | -                                | 7                                       |
| Po doktoracie            | 21                               | 11                                      |
| Publikacje konferencyjne |                                  | 38                                      |

## **Nagrody międzynarodowe i członkostwo w międzynarodowych komitetach naukowych**

Na kongresie PARTEC'2004 w Norymberdze amerykańska firma DuPont nagrodziła mnie grantem finansowym za zaprezentowane prace: teoretyczne obliczanie ciśnień w modelu silosu jak i za wyniki prac eksperymentalnych uzyskane techniką DPIV. Nagroda DuPont należała do programu "Assistance and recognition to excellent university teachers - DuPont Centre for Collaborative Research & Education USA, European University Support Program". Firma DuPont opublikowała również artykuł o mojej pracy badawczej w periodyku DuPont (Załącznik 11).

W 2008 uzyskałam nominację do Europejskiej Federacji Inżynierów Chemików jako "Invited Guest" do Working Party w sekcji Particulate Solids we Frankfurcie nad Menem, w Niemczech. Obecnie włączono mnie do europejskiej grupy badającej wpływ współczynnika tarcia na parametry płynięcia w modelach silosów.

Od roku 2004 rozpoczęłam współpracę z kolegami z Uniwersytetu Technicznego w Wilnie w zakresie symulacji parametrów płynięcia materiału granulowanego metodą elementów dyskretnych (DEM). Wynikami tej współpracy są również publikacje podane w niniejszym autoreferacie. W latach 2006–2010 byłam kierownikiem programu współpracy międzynarodowej z Technicznym Uniwersytetem w Wilnie o temacie „Numerical analysis of granular material flows by DEM”.

W roku 2010 nominowano mnie do Who's Who, wydanie listopad 2010.

## **Projekty badawcze krajowe**

Kierownik projektu N<sup>o</sup> 7 T07E 025 09, (1995-1996) finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji: „Analiza problemu wyznaczania ciśnień w modelu silosu metodą elementów czasoprzestrzennych”.

Kierownik projektu N<sup>o</sup> 4 T07E 054 30, (2006–2008) finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: „Technika DPIV w zastosowaniach do rejestracji płynięcia materiałów granulowanych. Badania pomiarów ciśnień na ściany modelu silosu”. Wykonane pomiary ciśnień w ścianie modelu stały się elementem symulacji numerycznej metodą elementów dyskretnych (DEM). Wyniki eksperymentalne pomierzonych rozkładów prędkości, wartości wydatku wypływu, zasięgu stref martwych porównałam z wynikami symulacji numerycznej.

## Projekty i granty europejskie

2005 członek konsorcjum międzynarodowego i koordynator projektu europejskiego złożonego w priorytecie NANOTECHNOLOGIE w 7 Programie Ramowym.

W roku 2008 składałam indywidualny projekt w programie IDEAS.

## Zgłoszenia patentowe

Nr P 331912, 1999.

„Komora silosu przeznaczonego zwłaszcza do magazynowania materiałów i surowców ziarnistych rozdrobnionych i sypkich”.

## Recenzent prac naukowych w czasopismach międzynarodowych

- *czasopismach naukowych:*

1. **Candian Journal of Chemical Engineering** - od roku 2006 recenzent prac nadsyłanych do pisma,
2. **Journal of Food Engineering** od 2010.
3. **International Symposium w TROMSO** w Norwegii, 2008.

- *rozpraw naukowych:*

4. **Rozprawy** doktorskiej **Álvaro Ramíreza Gómez**, napisanej pod kierunkiem prof. Francisco Ayugi Telleza z Polytechnic University of Madrid Department of Construction and Rural Roads, listopad 2006.
5. **Rozprawy** doktorskiej **Carlota González Montellano**, napisanej pod kierunkiem prof. Francisco Ayugi Telleza z Polytechnic University of Madrid Department of Construction and Rural Roads, listopad 2010.

## Krajowe i międzynarodowe zaangażowanie w procesy ewaluacji projektów i rozpraw naukowych:

Ekspert w:

- programie PEOPLE przy Komisji Europejskiej w Brukseli w 7 Programie Ramowym w Research Executive Agency (REA),
- Marie Curie Actions w konkursach: ITN, IEF, IIF, IOF, IAPP, RG, COFUND, IRSES,
- 7 Programie Ramowym w Education, Audiovisual, Culture Executive Agency (EACEA),
- polskich instytucjach obsługujących program funduszy unijnych na lata 2007–2013 w:
  1. **Ośrodka Przetwarzania Informacji w Warszawie**, członek Zespołu ds. Merytorycznej Oceny Projektów w Priorytecie XIII Infrastruktura i Środowisko, Załącznik 11.
  2. **Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego** – wykonywałam weryfikację merytoryczną i finansową projektów naukowo-badawczych w Priorytecie IV, jak również projektów realizowanych w Inicjatywie Technologicznej I, Załącznik 11.
  3. **Ministerstwie Rozwoju Regionalnego** w obszarze Infrastruktura B+R, Regionalne Strategie Innowacyjne, Wsparcie pośrednie przedsiębiorstw (m.in. inkubatory przedsiębiorstw, klastry, transfer wiedzy, parki przemysłowe, technologiczne, naukowo-technologiczne), Załącznik 11.

4. *Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości*, ocena projektów w działaniu 1.4-4.1 oraz ocena merytoryczna wniosków i studiów wykonalności w ramach Działania I.1/I.3 Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej, Załącznik 11.
5. *Komitecie Badań Naukowych* – recenzje projektów badawczych finansowanych przez MNiSzW, 1997.
6. *Narodowym Centrum Badań i Rozwoju*, ocena raportów końcowych i projektów po zakończeniu realizacji w przedsięwzięciu Ministra w Inicjatywie Technologicznej I.
7. *Polsko Norweskim Funduszu Badań Naukowych*.
8. *Zespole Ekspertów Zewnętrznych ds. Analiz Delphi*, Narodowego Programu Foresight Polska 2020.

## **Współpraca z przemysłem i rolnictwem**

Wynikiem obserwacji silosów użytkowanych przez polskich rolników był wniosek, że na rynku polskim występują silosy bardzo prymitywne, wykonane z blachy ocynkowanej tzw. biny. Jest to jedyna oferta polskich producentów. Wręcz odwrotna sytuacja panuje w Europie Zachodniej i na świecie. Rolnicy posiadają silosy wykonane z tworzyw sztucznych. W roku 1999 dokonałam zgłoszenia patentowego na pomysł silosu składanego z tworzyw sztucznych, numer zgłoszenia P 331912 „Komora silosu przeznaczonego zwłaszcza do magazynowania materiałów i surowców ziarnistych rozdrobnionych i sypkich”.

W roku 2008 zaproponowałam wytwórcy silosów metalowych współpracę w celu wytworzenia nowego produktu dla rolnictwa – silosu kompozytowego wyposażonego w niezbędną mechatronikę, wewnętrzną powłokę o działaniu antybakteryjnym i antygrzybicznym. W Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 oferowano możliwości sfinansowania badań naukowych skierowanych na opracowanie, wykonanie i wdrożenie nowego produktu do seryjnej produkcji. Takim produktem jest silos z tworzyw sztucznych. W roku 2009 IPPT PAN był wnioskodawcą projektu ZASTOSOWANIE NOWYCH INTELIGENTNYCH TECHNOLOGII W LEKKICH I BEZPIECZNYCH SILOSACH ZBOŻOWYCH Z MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH, gdzie byłam wskazana jako kierownik projektu.

## **Szkolenia międzynarodowe i członkostwo w krajowych organizacjach technicznych**

1. W roku 2001 szkolenie w Genewie: WOMEN IN MANAGEMENT, prowadzonym przez International Training Institute w Genewie, Szwajcaria, 12-19 czerwiec 2001, Załącznik 11.
2. W roku 2008 zostałam wybrana z grona polskich kobiet naukowców do udziału w szkoleniu w Brukseli: WOMEN IN SCIENCE, *Encouragement to Advance – Training Seminars for Women Scientists*, Gesis, Bruksela, Belgia, styczeń 2008, Załącznik 11.
3. Członek Komitetu Nauki Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa.
4. Członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej.
5. Członek Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego.

## **Członkostwo w komitetach organizacyjnych konferencji**

Członek komitetu organizacyjnego Konferencji „Analytical Models and New Concepts in Mechanics of Structural Concrete” organizowanej 6-8 maj 1993, Białystok, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej – Sekcja Konstrukcji Betonowych Polskiej Akademii Nauk, Politechnika Białostocka, Instytut Inżynierii Budowlanej.

## **Znajomość języków obcych:**

- angielskiego – w stopniu bardzo dobrym, (świadectwo wydane przez Ministerstwo Edukacji Narodowej w roku 1988), Załącznik 11,
- francuskiego – w stopniu dobrym, (zdany egzamin w Ambasadzie Szwajcarii w 1991),
- niemiecki i rosyjski – w stopniu dobrym.

## **Dodatkowe uprawnienia**

W roku 1994 (Załącznik 11) uzyskałam uprawnienia do projektowania konstrukcji budowlanych (BL/240/94) nadane przez Wydział Urbanistyki, Architektury i Nadzoru Budowlanego Urzędu Wojewódzkiego w Białymstoku.

W roku 1996 wpisano mnie na listę biegłych sądowych z zakresu budownictwa przy Sądzie Okręgowym w Białymstoku.

## **Dorobek dydaktyczny, monografie, nagrody Rektora PB**

Nagrody Rektora PB w latach: 1998, 1999, 2005, 2007. W roku 2008 uzyskałam dodatek uznaniowy przyznany przez Rektora PB za wyróżniający dorobek naukowy.

Monografie i skrypty dydaktyczne:

1. **Sielamowicz I., Kowalewski T.**, Application of digital particle image velocimetry in registrations of central and eccentric granular material flows, A.A. Balkema: Great Britain, 2005, Powders and Grains – *monografia zwarta*.
2. **Sielamowicz I., Błoński S.**, Particle Image Velocimetry Analysis of Granular Material Flows, Mechanics of the 21st Century, Springer, 2005, *monografia zwarta*.
3. **Bandyszewski W., Jarmoc D., Wądołkowska B., Sielamowicz I.**, Wytrzymałość materiałów, cz 1, 2008, wydanie PB, *skrypt dla studentów*.
4. **Bandyszewski W., Jarmoc D., Wądołkowska B., Sielamowicz I.**, Wytrzymałość materiałów, cz 2, 2008, wydanie PB, *skrypt dla studentów*.
5. **Czech M., Sielamowicz I.** Stany sprężysto-plastyczne i nośność graniczna układów prętowych, *podręcznik akademicki*, praca złożona w PWN, po pozytywnych recenzjach w wydawnictwie jak również w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2010.

## **Promotorstwo prac dyplomowych, opiekun praktyk studenckich**

Promotor siedmiu prac dyplomowych. Zajmowałam się również pracami komisji rekrutacyjnych na uczelni, pełniłam funkcję opiekuna praktyk studenckich, brałam udział w egzaminach wstępnych na Uczelnię.

