

## Autoreferat

### 1. Imię i Nazwisko:

Arkadiusz Syta

### Data urodzenia:

09.06.1978

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

2011 uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika: Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny; temat rozprawy doktorskiej: „Drgania układów dynamicznych z nieciągłościami”

2002 uzyskanie tytułu zawodowego magistra matematyki na specjalizacji informatyka: Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Wydział Matematyczno – Przyrodniczy; temat pracy magisterskiej: „Aproksymacje wymierne liczb rzeczywistych”

2001 kwalifikacje pedagogiczne: Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Instytut Pedagogiki

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

#### Miejsce zatrudnienia:

Politechnika Lubelska,  
Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych  
Ul. Nadbystrzycka 36,  
20-618 Lublin

#### Historia zatrudnienia:

01.03.2003 – 30.09.2011

asystent w Katedrze Matematyki / Zakładzie Matematyki Instytutu Technologicznych Systemów Informatycznych Politechniki Lubelskiej

01.10.2011 – obecnie

adiunkt w Zakładzie Systemów Złożonych i Technologii Informatycznych Instytutu Technologicznych Systemów Informatycznych Politechniki Lubelskiej

#### 4. Życiorys zawodowy

Urodziłem się 9 czerwca 1978 roku w Lublinie. W 1997 rozpocząłem studia na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim Jana Pawła II, na specjalności Matematyka z Informatyką, które ukończyłem w 2002 roku. W marcu 2003 roku zostałem zatrudniony na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej w Katedrze Matematyki na stanowisku asystenta. Już na początku swojej pracy naukowej chciałem w praktyczny sposób wykorzystać wiedzę i umiejętności nabyte w czasie studiów do szeroko pojętego zastosowania matematyki w naukach technicznych. Po dwóch latach od rozpoczęcia pracy poznałem i nawiązałem współpracę z prof. dr hab. Grzegorzem Litakiem z Katedry Mechaniki Stosowanej, który wprowadził mnie w zagadnienia mechaniki, w szczególności dynamiki układów nieliniowych, jak również pomógł w poszukiwaniu kierunków badawczych. W wyniku podjętej współpracy, do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych, zostałem współautorem 12 prac naukowych indeksowanych w bazie Web of Science, wygłosiłem 8 referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych, kierowałem projektem MNiSW (Badania nieliniowych układów mechanicznych z histerezą i z nieciągłościami) oraz odbyłem 2 zagraniczne staże badawcze (University of Aberdeen). Efektem końcowym była praca doktorska pod tytułem „Drgania układów dynamicznych z nieciągłościami” napisana pod kierunkiem prof. Grzegorza Litaka, którą obroniłem w roku 2011 na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. Recenzentami rozprawy byli prof. Andrzej Stefański z Politechniki Łódzkiej i prof. Jerzy Warmiński z Politechniki Lubelskiej. W roku 2011 uzyskałem stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika (egzamin z dyscypliny głównej - mechanika) i zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Zakładzie Matematyki, a następnie Zakładzie Systemów Złożonych i Technologii Informacyjnych Instytutu Technologicznych Systemów Informacyjnych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

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

##### a) osiągnięcie naukowe

Moje osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 pkt. 2. stanowi monotematyczny cykl 9 publikacji pt.: „**Badania numeryczne wybranych nieliniowych układów dynamicznych z efektami pamięciowymi**”. Lista publikacji wchodzących w skład cyklu (w nawiasach kwadratowych podana jest liczba cytowań wg bazy Web of Science na dzień 30.09.2016 oraz IF czasopism z roku wydania publikacji lub kolejnego, jeżeli niedostępny):

A1. Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz, Lenci Stefano, Scheffler Michael; „Chaotic vibrations of the Duffing system with fractional damping”; CHAOS 24(1) (2014); IF 1.954 [cyt. 9]

Zbadałem i porównałem dynamikę klasycznego układu nieliniowego Duffinga, z układem w którym zastąpiono człon tłumienia opisany funkcją pochodnej pierwszego rzędu pochodną rzędu niecałkowitego. Rząd pochodnej potraktowałem jako parametr bifurkacyjny, co pozwoliło zaobserwować zmianę jakościową odpowiedzi dynamicznej układu objawiającą się w powstaniu nowych atraktorów, które nie występowały w układzie klasycznym. Za pomocą metody 0-1 i największego wykładnika Lapunowa rozróżniłem rodzaj odpowiedzi dynamicznej układu na okresową i chaotyczną przy zmianie rzędu pochodnej, otrzymując porównywalne wyniki, przy czym ze względu na nieskończony wymiar przestrzeni fazowej, metoda największego wykładnika Lapunowa okazała się bardziej problematyczna w zastosowaniu. Wyznaczając obszary przyciągania zaobserwowałem mieszanie się statecznych i niestatecznych atraktorów z rozmytą

granicą pomiędzy nimi, przy stopniowo zwiększonym rzędzie pochodnej. W tym przypadku atraktory chaotyczne występowały rzadziej niż w klasycznym układzie Duffinga. Dodatkowo wyznaczyłem progową wartość długości historii (pamięci układu), która pozwalała zaoszczędzić czas symulacji numerycznych. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

A2. Syta Arkadiusz, Bowen Chris, Kim H. Alicia, Rysak Andrzej, Litak Grzegorz; „Experimental analysis of the dynamical response of energy harvesting devices based on bistable laminated plates”; *MECCANICA* 50(8) (2015); IF 1.828 [cyt. 5]

Dokonałem analizy dynamiki doświadczalnego układu odzyskiwania energii elektrycznej z drgań mechanicznych z wykorzystaniem materiału piezoelektrycznego i z efektem poszerzenia częstości rezonansowej. Doświadczenia zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym w University of Bath pod okiem prof. Ch. Bowena i prof. A.H. Kim. Rozpatrywany układ składał się z płyty kompozytowej z włóknami piezoelektrycznymi pobudzanej okresowo, która ze względu na właściwości elastyczne użytych materiałów charakteryzowała się dwoma położeniami równowagi. Występujący nieliniowy efekt dwustabilności pozwalał rozszerzyć zakres częstości rezonansowej zwiększając efektywność układu odzyskiwania energii. Za pomocą metod dynamiki nieliniowej (widmo mocy, test 0-1) zidentyfikowałem odpowiedzi układu (przejściowa, okresowa, nieokresowa) co pozwoliło dobrać optymalne pod względem odzyskiwania energii warunki pracy układu. Okazało się, że największą efektywność otrzymuje się w granicach rezonansu przy przełączaniu się pomiędzy dwoma stabilnymi położeniami, które może odbywać się w sposób chaotyczny bądź regularny. Ostatni przypadek charakteryzował się największym poziomem odzyskanej energii elektrycznej. Mój udział procentowy szacuję na 55%.

A3. Syta Arkadiusz, Bowen Christopher, Kim H. Alicia, Rysak Andrzej, Litak Grzegorz; „Responses of bistable piezoelectric-composite energy harvester by means of recurrences”; *MECHANICAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING* 76-77 (2016); IF 2.771 [cyt. 0]

W niniejszej pracy porównałem efektywności doświadczalnego układu odzyskiwania energii rozpatrywanego w pracy [A2] w pobliżu rezonansu i pod działaniem zewnętrznej siły okresowej o zmiennej i stosunkowo małej amplitudzie. Zarejestrowane za pomocą kamer szybkoobrotowych i przetworzone metodą DIC (Digital Image Correlation) krótkie sygnały przemieszczenia (mniej niż 20 okresów) posłużyły do rekonstrukcji przestrzeni fazowej, w której można było porównać otrzymane atraktory za pomocą portretów fazowych. Należy zaznaczyć, że dane pomiarowe charakteryzowały się niewielkim udziałem szumów. Stosując analizę rekurencji i wyznaczając wartości wskaźników rekurencji odróżniłem w sposób jakościowy i ilościowy odpowiedź okresową od nieokresowej układu. Największą wartość odzyskanej energii elektrycznej zanotowano przy chaotycznym przełączaniu się pomiędzy dwoma stabilnymi położeniami płytki, z jednakową częstością pobudzenia. Niewielkie zmniejszenie tej częstości, przy jednoczesnym dwukrotnym zmniejszeniu amplitudy, skutkowało regularnymi drganiami układu, o zwiększonym jednocześnie poziomie odzyskanej energii. Mój udział procentowy szacuję na 55%.

A4. Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz, Friswell Michael, Adhikari Sondipon; „Multiple solutions and corresponding power output of a nonlinear bistable piezoelectric energy harvester”; *EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL B* 89(4) (2016); IF 1.223 [cyt. 0]

Przeprowadziłem numeryczną analizę nieliniowego modelowego układu odzyskiwania energii, który był uprzednio zweryfikowany doświadczalnie na stanowisku badawczym w Swansea University pod kierunkiem prof. M. Friswella. Badany układ składał się z elastycznej belki

z doklejonym paskiem materiału piezoelektrycznego i dołączoną masą na końcu, która była poddana działaniu okresowej siły wymuszającej przyłożonej poziomo. Zmiana masy na końcu belki powodowała zmianę liczby położeń równowagi układu i przejście od przemieszczenia do wyboczenia belki, przy czym rozpatrywany był przypadek z podwójną studnią potencjału. Zidentyfikowałem w sposób jakościowy atraktory stateczne i niestateczne wraz odpowiadającymi im poziomami odzyskanej energii przy przyjętych warunkach początkowych, a następnie zbadałem dynamikę układu w skali globalnej za pomocą obszarów przyciągania. Wykazałem, że bez względu na zmianę masy na końcu belki, ale przy zachowaniu geometrii studni potencjału, widoczna jest geometryczna granica pomiędzy okresowymi atraktorami rezonansowymi (charakteryzującymi się największą amplitudą napięcia) i pozostałymi atraktorami (o niższej amplitudzie napięcia), w pewnym zakresie warunków początkowych. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

C1. Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz; „Dynamical response of a van der Pol System with an external harmonic excitation and fractional derivative”; Discontinuity and complexity in nonlinear physical systems; [Red:] Machado J. A. Tenreiro, Baleanu Dumitru, Luo Albert C. J. - Heidelberg: Springer, 2014; Nonlinear Systems and Complexity [cyt. 0]

Przeanalizowałem dynamikę nieliniowego oscylatora Van der Pola identyfikując rodzaj rozwiązań w zależności od zmiany pochodnej rzędu ułamkowego, która występowała w członie tłumiącym. Nawet niewielkie zmiany w stosunku do jedności powodowały zmianę rozwiązań, co zaobserwowałem na portretach fazowych, mapach Poincaré i diagramach bifurkacyjnych. Wyzaczyłem wartości testu 0-1 dla wybranego zakresu rzędu pochodnej niecałkowitej, które identyfikowały rodzaj odpowiedzi dynamicznej analizowanego układu. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

C4. Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz, Friswell Michael I., Borowiec Marek; „Multiple solutions and corresponding power output of nonlinear piezoelectric energy harvester”; Dynamical Systems: Theoretical and Experimental Analysis; [Red:] Awrejcewicz Jan – Łódź, Poland, 2015; Springer Proceedings in Mathematics & Statistics

Dokonałem porównania wpływu nieliniowości w układzie odzyskiwania energii, o pięciu położeniach równowagi – trzy stabilne i dwa niestabilne, za pomocą krzywych rezonansowych, diagramów bifurkacyjnych i basenów przyciągania. Zmiana jednego z parametrów układu umożliwiła modyfikację głębokości i szerokości studni potencjału, której odpowiadała zmiana jakościowa i ilościowa odpowiedzi dynamicznej układu przy jednakowej amplitudzie wymuszenia. Zaobserwowałem ruch okresowy, nieokresowy, a także intermitencję, w trakcie której układ przez pewien czas pozostaje w pobliżu punktu stabilnego, zlokalizowanego w prawej bądź lewej studni potencjału, by następnie przełączać się między nimi. Wyzaczyłem częstość wymuszenia, dla której odzyskana energia jest najwyższa, przy przyjętych warunkach początkowych. Analizując baseny przyciągania odkryłem, że najbardziej efektywne rozwiązania odpowiadają spłaszczonej studni potencjału, gdzie wystarczy stosunkowo mała amplituda i częstość zewnętrznego wymuszenia by zaobserwować przełączanie się układu pomiędzy dwoma skrajnymi położeniami równowagi. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

A6. Cao Junyi, Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz, Zhou Shengxi, Inman Daniel, Chen Yangquan; „Regular and chaotic vibration in a piezoelectric energy harvester with fractional damping”; EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL PLUS 130(6) (2015); IF 1.521 [cyt. 3]

Zbadałem dynamikę modelowego układu odzyskiwania energii z belki z elementami piezoelektrycznymi wymuszanej w polu magnetycznym. W układzie tym tłumienie zostało opisane pochodną rzędu ułamkowego, co odpowiada efektowi pamięci związanej z długotrwałym odkształceniem jakim poddany jest materiał piezoelektryczny. Analizując wpływ rzędu pochodnej na odpowiedź dynamiczną układu zaobserwowałem przejścia od ruchu regularnego do chaotycznego, którym odpowiadały zmiany napięcia. Wyzaczyłem zakres rzędu pochodnej (mniejszy od jedności), który odpowiadał największemu poziomowi odzyskanej energii, a następnie wykorzystując szeregi czasowe napięcia odróżniłem dynamikę okresową od nieokresowej stosując metody nieliniowe (entropia wieloskalowa, test 0-1). Przyjęta metoda okazała się skuteczna i w tym przypadku bardziej efektywna od metod nieliniowych bazujących na własnościach geometrycznych atraktorów w przestrzeni fazowej. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

A7. Bernardini Davide, Rega Giuseppe, Litak Grzegorz, Syta Arkadiusz; „Identification of regular and chaotic isothermal trajectories of a shape memory oscillator using the 0-1 test”; PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART K-JOURNAL OF MULTI-BODY DYNAMICS 227(K1) (2013); IF 0.415 [cyt. 12]

Przeanalizowałem dynamikę nieliniowego oscylatora z pamięcią kształtu, w którym pominięto zmianę wewnętrznego parametru odpowiadającego za sprzężenie temperaturowo-mechaniczne, co pozwoliło wprost zdefiniować pętlę histerezy. Stosując metodę opartą na właściwościach statystycznych i widmowych odróżniłem regularną odpowiedź układu od nieregularnej. Ze względu na nieokreślony wymiar przestrzeni stanów i występujące nieciągłości przyjęta metoda okazała się skuteczna. Wyniki zostały zweryfikowane ze pomocą widma mocy poszczególnych szeregów czasowych. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

A8. Litak Grzegorz, Bernardini Davide, Syta Arkadiusz, Rega Giuseppe, Rysak Andrzej; „Analysis of chaotic non-isothermal solutions of thermomechanical shape memory oscillators”; EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL-SPECIAL TOPICS 222(7) (2013); IF 1.76 [cyt. 10]

Zidentyfikowałem odpowiedź dynamiczną nieliniowego oscylatora z pamięcią kształtu z uwzględnieniem wpływu zmian temperatury na drgania mechaniczne układu. Za pomocą transformacji Fouriera szeregów czasowych przemieszczenia i temperatury zaobserwowałem składowe harmoniczne i nieharmoniczne sygnałów widoczne również w pętlach histerezy. Ze względu na fluktuacje w analizowanych szeregach czasowych i nieciągły charakter układu, jakościowa metoda widmowa nie pozwoliła na jednoznaczną identyfikację odpowiedzi dynamicznej. Zastosowana ilościowa metoda 0-1 pozwoliła jednoznacznie odróżnić drgania regularne od nieregularnych. Mój udział procentowy szacuję na 45%.

## **b) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

Tematyką dynamiki układów nieliniowych, w których wymiar przestrzeni może zmieniać się wraz z ewolucją stanu, zacząłem się interesować już na początku swojej pracy zawodowej. Swoje ówczesne rozważania zawęziłem do wybranych układów modelowanych za pomocą dynamicznych równań ruchu zawierających nieciągłości, gdzie na przykładzie modelu skrawania wymiar przestrzeni stanów zmienia się w zależności od fazy ruchu przylegania i poślizgu. Po doktoracie poszerzyłem swoje zainteresowania naukowe między innymi o nieliniowe układy dynamiczne, w których występują efekty pamięciowe. Efekty te są związane z pojęciem histerezy, którą w uogólnieniu można rozumieć jako zależność aktualnego stanu układu od poprzednich stanów, przy czym geneza powstania efektu histerezy może mieć różne źródła.

Jednym z nich jest matematyczny opis układu dynamicznego za pomocą pochodnych rzędu niecałkowitego. Układy te cieszą się rosnącą popularnością ze względu na nowe możliwości opisu matematycznego różnych zjawisk w różnych dziedzinach nauki, np. inżynierii materiałowej, teorii sterowania, przetwarzania sygnałów, fal, automatyce, jak również mechanice klasycznej [A1,C1,A6]. Z jednej strony, rząd pochodnej wykorzystuje się jako parametr określający właściwości materiałów i struktur o różnych czasach relaksacji, np. materiałów wiskoelastycznych. Z drugiej strony, okazuje się że niewielka jego zmiana powoduje zmianę jakościową i ilościową w odpowiedzi dynamicznej układu. Zmiany te są związane bezpośrednio z właściwościami operatora różniczkowo-całkowego dowolnego rzędu, gdzie stosując dyskretyzację w kolejnym kroku całkowania numerycznego wykorzystywana jest informacja o stanach układu we wszystkich wcześniejszych chwilach czasowych (histereza), w przeciwieństwie do pochodnej klasycznej, gdzie bazuje się na stanie układu w chwili poprzedniej. Zatem pochodna rzędu ułamkowego jest definiowana w sposób globalny, w przeciwieństwie do pochodnej rzędu całkowitego, która ma charakter lokalny. W następstwie, nie ma jednoznacznej interpretacji geometrycznej, ale istnieją różnego rodzaju interpretacje fizyczne, które mogą być zastosowane. Ponadto występujący efekt pamięci układu dynamicznego wzmacnia efekty nieliniowe jednocześnie powodując wzrost wymiaru przestrzeni stanów w kolejnych krokach symulacji numerycznych.

Podobnie, pamięć układu lub histerezę można rozważać w układach nieliniowych o wielu punktach równowagi. Rozważmy dla przykładu układ dwustabilny o trzech położeniach równowagi (jedno niestateczne i dwa stateczne) z podwójną studnią potencjału. Zmieniając jeden z parametrów układu np. amplitudę zewnętrznej siły wymuszającej, bądź parametr odpowiedzialny za człon nieliniowy, stanu układu może przełączać się pomiędzy poszczególnymi studniami potencjału. Załóżmy, że zadziałamy na układ wymuszeniem o stosunkowo niskiej amplitudzie, wtedy w zależności od warunków początkowych, otrzymamy w odpowiedzi dynamicznej drgania o niskiej amplitudzie zlokalizowane w prawej bądź lewej studni potencjału. W przypadku gdy zwiększymy wystarczająco amplitudę siły zewnętrznej bariera energetyczna pomiędzy studniami potencjału może zostać przekroczona i stan układu może przełączać się pomiędzy obydwoma studniami potencjału, charakteryzując się drganiami o wyższej amplitudzie. Kolejny wzrost amplitudy wymuszenia powoduje, że punkt materialny poruszający się w czasie po trajektorii odwiedza obydwie studnie potencjału w sposób regularny i z jednakową częstotliwością. W przypadku zmniejszenia wartości parametru bifurkacyjnego do wartości początkowej otrzymujemy inną trajektorię niż wyjściowa. Występujący brak odwracalności w zmianie parametrów bifurkacyjnych jest często nazywany dynamiczną histerezą i był przez mnie rozpatrywany w pracach [A2-A4,C4], w których analizowałem efekt odzyskiwania energii elektrycznej z drgań mechanicznych.

Układy odzyskiwania energii są coraz częściej wykorzystywane np. w redukcji drgań lub różnego rodzaju czujnikach, które absorbując zewnętrzne drgania przekształcają je w energię elektryczną niezbędną do zasilania. Jednym z celów badań nad odzyskiwaniem energii jest optymalizacja układu tak, by ilość odzyskanej energii była największa. Często wykorzystywany jest tutaj materiał piezoelektryczny, który poddany mechanicznym odkształceniom zmienia swój rozkład dipoli elektrycznych, co umożliwia generowanie ładunków elektrycznych na elektrodach. Układy takie są najbardziej efektywne w otoczeniu częstości rezonansowej, co w przypadku układów liniowych daje wąskie pasmo częstości pobudzania, które niełatwo uzyskać w warunkach doświadczalnych. Wprowadzając efekty nieliniowe, np. w postaci wielostabilności, można rozszerzyć pasmo częstości rezonansowej co daje większe możliwości aplikacyjne przy zachowaniu maksymalnego poziomu odzyskanej energii [A2-A4,C4]. Występuje tu także efekt pamięci związany z długotrwałym odkształceniem materiału piezoelektrycznego, które po pewnym czasie nie powraca do swojego pierwotnego kształtu.

Efekty pamięciowe występują też w materiałach z pamięcią kształtu, które oprócz zastosowań w naukach technicznych, znajdują szerokie zastosowanie w medycynie. Materiały te posiadają zdolność do odtworzenia pierwotnie nadanego kształtu pod wpływem zmian temperatury, obciążenia lub pola magnetycznego. Można tu wyróżnić dwie fazy: fazę wysokotemperaturową (austenit) i niskotemperaturową (martenzyt), pomiędzy którymi następują przemiany: jednokierunkowy lub dwukierunkowy efekt pamięci kształtu oraz zjawisko pseudo sprężystości. Jednokierunkowy efekt pamięci kształtu polega na ogrzaniu odkształconego ciała do pewnej krytycznej temperatury, które wraca do fazy macierzystej. Przemiana dwukierunkowa polega na zmianie kształtu z postaci nadanej w fazie niskotemperaturowej do kształtu nadanego w fazie wysokotemperaturowej w sposób odwracalny i pod wpływem temperatury. W zjawisku pseudo sprężystości przejście fazowe odbywa się dzięki mechanicznemu lub termomechanicznemu przyłożonemu obciążeniu. Materiał po przekroczeniu napięcia krytycznego ulega odkształceniu, które zanika po odjęciu obciążenia, przy czym cykl ten ma charakter histerezy. Dynamikę termodynamicznego modelu z wpływem temperatury badałem w pracach [A7,A8].

Podsumowując, analizowane przykłady nieliniowych układów dynamicznych z efektami pamięciowymi charakteryzują się nieokreśloną przestrzenią fazową, której wymiar zmienia się ze względu na zależność odpowiedzi dynamicznej od historii czasowej lub występujące nieciągłości. W konsekwencji identyfikacja rodzaju odpowiedzi dynamicznej takich układów, istotna ze względu na charakter poznawczy i możliwości zastosowania sprawia trudności. W szczególności, metody nieliniowe bazujące na geometrycznych właściwościach atraktorów w skończonej przestrzeni fazowej, np. szeroko przyjęta i stosowana metoda wykładników Lapunowa, mogą okazać się nieodpowiednie. Jednocześnie, można zaobserwować rosnącą liczbę zastosowań i aplikacji dla zjawisk, które posiadają efekt pamięci, co oznacza że ich poznanie jest istotne.

Celem poznawczym prezentowanego cyklu publikacji pt.: „**Badania numeryczne wybranych nieliniowych układów dynamicznych z efektami pamięciowymi**” było poznanie odpowiedzi dynamicznych wybranych modelowych i doświadczalnych układów nieliniowych, w których występuje zjawisko histerezy. Dodatkowo, celem była również analiza wpływu pamięci na dynamikę układów (długość pamięci) i dobór parametrów, który mogłyby zostać wykorzystany na stanowiskach doświadczalnych.

Przeprowadzony cykl badań teoretycznych i doświadczalnych w zakresie badania układów dynamicznych z efektami pamięciowymi stanowi mój wkład w rozwój dyscypliny naukowej mechanika. Wyniki wykonanych prac można podsumować następująco:

- Efekt pamięci w nieliniowych układach dynamicznych pełni istotną rolę i pomimo różnej genezy może w istotny sposób wpływać na dynamikę układów.
- Zastąpienie w opisie matematycznym pochodnej rzędu pierwszego, pochodną rzędu niecałkowitego prowadzi do powstania atraktorów nowego typu. Szczególnie jest to widoczne przy badaniu wrażliwości układu nieliniowego na warunki początkowe.
- W modelowych układach zawierających opis danego zjawiska za pomocą pochodnej o rzędzie niecałkowitym można wyznaczyć krytyczną wartość długości pamięci, która pozwala oszczędzić czas symulacji numerycznych, zachowując jednocześnie rodzaj odpowiedzi dynamicznej układu. Nie ma jednak uniwersalnej metody i krytyczna wartość długości pamięci zależy od dynamiki danego układu.
- Test 0-1 może być stosowany do identyfikacji rodzaju drgań (okresowe, nieokresowe) zarówno w doświadczalnych jak i modelowych układach z efektem pamięci. Metoda ta bazuje na statystycznych i widmowych właściwościach jednowymiarowego szeregu czasowego, którym może być dowolna składowa wektora stanu. Następnie rozszerza się przestrzeń stanów na grupę złożoną z translacji i rotacji. Trajektorie fazowe mogą być teraz rozważane w poszerzonej przestrzeni, która jest topologicznie równoważna wyjściowej przestrzeni fazowej. Analizując

właściwości statystyczne otrzymuje się wartość wskaźnika, która podobnie jak wykładniki Lapunowa, jednoznacznie określa rodzaj ruchu.

- Stosując metodę 0-1 można napotkać na problem nadpróbkiowania, który często występuje podczas rejestrowania danych doświadczalnych. Można go rozwiązać za pomocą przepróbkowania danych wykorzystując metody numeryczne dynamiki nieliniowej (użycie punktów z map Poincaré lub próbkowanie z wybranym opóźnieniem czasowym).
- Zmieniając za pomocą jednego parametru kształt studni potencjału lub/ oraz warunki początkowe można dobrać optymalne parametry układu odzyskiwania energii przy jednakowej amplitudzie siły wymuszającej.
- W niektórych przypadkach, można zastosować metody dynamiki nieliniowej w zrekonstruowanej przestrzeni stanów (twierdzenie Takensa) np. metodę analizy rekurencji.
- Efekt zwiększenia liczby punktów równowagi w połączeniu z występującymi nieliniowościami w układach odzyskiwania energii powoduje poszerzenie pasma częstotliwości rezonansowej. Dzięki temu układy te zyskują szersze możliwości zastosowania przy jednakowym lub wyższym poziomie odzyskanej energii.

Uzyskane wyniki mogą zostać wykorzystane do badania efektywności i zastosowań układów z pamięcią, między innymi w zjawisku pozyskiwania energii, aktywnego tłumienia drgań, monitorowania procesów, a także medycynie.

## 6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Prace nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego, które podjąłem po uzyskaniu stopnia doktora, dotyczyły badań dynamiki nieliniowych układów, w których również wymiar przestrzeni fazowej może się zmieniać ze względu na nieciągły charakter rozpatrywanych procesów lub występujący efekt pamięci. Analizowałem zarówno dynamikę układów doświadczalnych [A9-A10, A11-A12, C3], jak i modelowych [C2].

W pracy [A9] dokonałem rozróżnienia stanu zużycia przekładni zębatej za pomocą metody rekurencji. Opierając się na stosunkowo krótkich szeregach czasowych przyspieszenia, rejestrowanych na przemysłowym stanowisku pomiarowym, wyznaczyłem wartości wskaźników rekurencji, które wyraźnie zmieniały się w zależności od stanu powierzchni zębów przekładni (przekładnia uszkodzona i bez uszkodzeń).

Podobne badania przeprowadziłem w pracy [A10], gdzie analizowałem sygnały mocy głowicy urabiającej modelowy materiał skalny. Stosując połączenie metod nieliniowych z metodami statystycznymi wykazałem istnienie zależności nieliniowych w procesie urabiania głowicą wielonarzędziową przy wysokim poziomie szumu pomiarowego.

W kolejnych pracach dokonałem analizy numerycznej nieliniowego modelowego układu technologicznego procesu skrawania [C2] oraz układów doświadczalnych [A11-A12, C3]. W publikacji [C2] zastosowałem metodę analizy rekurencji do badania dynamiki nieliniowego i nieciągłego modelu skrawania, który uwzględnia zjawisko tarcia suchego na styku ostrza i materiału. Znalazłem wpływ początkowej siły skrawającej na rodzaj odpowiedzi układu i w otrzymanej przestrzeni stanów porównałem wartości wskaźniki rekurencji, które rozróżniły drgania okresowe od nieokresowych. Warto zauważyć, że ze względu na właściwości przyjętego modelu i złożoność występujących atraktorów, przyjęta metoda okazała się skuteczna nawet dla krótkich serii czasowych.

W pracach [A11-A12, C3] wykorzystałem metody analizy rekurencji, entropii wieloskalowej, analizy falkowej oraz dekompozycji sygnału na mody doświadczalne, do badania dynamicznych charakterystyk procesu skrawania z dużymi prędkościami (do 12000 obr/min) materiału trudnoobrabialnego wykorzystywanego w przemyśle lotniczym (kompozyt polimerowego



wzmocniony włóknem węglowym). W pracy [A11] zastosowałem statystykę opisową i analizę rekurencji w zrekonstruowanej przestrzeni fazowej do porównania dynamiki sił działających na ostrze przy zwiększającej się prędkości obrotowej co pozwoliło zidentyfikować występowanie nowych skal czasowych zwiększających efekty nieliniowe. Ta sama metoda, zastosowana do dynamicznych sił skrawania rozłożonych na mody doświadczalne w kierunku posuwu, umożliwiła identyfikację intermitencji w przypadku zmiany kąta przyłożenia narzędzia [C3]. Poczynione obserwacje zostały potwierdzone za pomocą analizy falkowej i entropii wieloskalowej [A12].

W pracy [B1] współpracowałem przy modelowaniu dynamicznych równań ruchu układu odzyskiwania energii z belki wykonanej z materiału magnetostrykcyjnego, poddanej okresowemu wymuszeniu. Została zastosowana analityczna metoda Lagrange'a do wyznaczenia równań ruchu belki zamocowanej jednostronnie z uwzględnieniem efektu magnetostrykcji, a następnie wyznaczone pierwsze trzy mody drgań własnych. Przeprowadzone analizy miały charakter wstępny i będą poszerzone o wprowadzenie nieliniowości do układu poprzez np. dodatkową masę na końcu belki lub doklejoną belkę o takiej samej lub/i różnej sztywności.

### **Pozostałe prace po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych:**

A9. Syta Arkadiusz, Jonak Józef, Jedliński Łukasz, Litak Grzegorz; „Failure Diagnosis of a Gear Box by Recurrences”; JOURNAL OF VIBRATION AND ACOUSTICS-TRANSACTIONS OF THE ASME 134(4) (2012); IF 1.268 [cyt. 7]

Dokonałem numerycznej analizy dynamicznych charakterystyk przyspieszeń przekładni zębatych o różnym stopniu zużycia zębów. Obliczyłem wskaźniki rekurencji w zrekonstruowanej przestrzeni stanów. Wyznaczone wartości jednoznacznie odróżniły przekładnię zębatą z uszkodzeniem od nieuszkodzonej. Swoją wkład szacuję na 50%.

A10. Litak Grzegorz, Syta Arkadiusz, Gajewski Jakub, Jonak Józef; „Nonlinear analysis of the ripping head power time series”; JOURNAL OF VIBROENGINEERING 13(1) (2011); IF 0.346 [cyt. 1]

Przeanalizowałem dynamiczne charakterystyki mocy obciążenia głowicy wielonarzędziowej urabiającej modelowy materiał skalny. Stosując metody dynamiki nieliniowej, takie jak największy wykładnik Lapunowa, analiza falkowa, analiza rekurencji oraz metody analizy sygnałów, wykazałem deterministyczny i nieliniowy charakter realizacji procesu objawiający się nieregularną odpowiedzią układu. Swoją wkład szacuję na 40%.

C2. Syta Arkadiusz, Litak Grzegorz; „Vibration analysis in cutting materials”; Recurrence quantification analysis theory and best practices; [Red:] Webber Charles L., Marwan Norbert - Cham, Switzerland: Springer, 2015; Understanding Complex Systems [cyt. 0]

Wykonałem numeryczne symulacje złożonego nieliniowego i nieciągłego układu tarcia suchego. Bazując na geometrii atraktorów odkryłem zmianę rodzaju ruchu w zależności od wartości początkowej siły skrawania, w sposób jakościowy, za pomocą portretów fazowych, przekrojów Poincaré, diagramów rekurencyjnych i bifurkacyjnych, a także w sposób ilościowy, za pomocą wskaźników rekurencji. Swoją wkład szacuję na 80%.

A11. Litak Grzegorz, Syta Arkadiusz, Rusinek Rafał; „Dynamical changes during composite milling: recurrence and multiscale entropy analysis”; INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY 56(5-8) (2011); IF 1.103 [cyt. 23]

Wyzaczyłem wskaźniki rekurencji bazując na dynamicznych wskaźnikach siły skrawania kompozytu epoksy-polimerowego wzmocnionego włóknami węglowymi, które zostały zarejestrowane na stanowisku pomiarowym. Zastosowana metoda w połączeniu z metodą entropii wieloskalowej, pozwoliła odkryć występowanie nowych skal czasowych w charakterystykach dynamicznych skrawania przy zwiększaniu prędkości obrotowej narzędzia. Swój wkład szacuję na 40%.

C3. Litak Grzegorz, Rusinek Rafał, Kęcik Krzysztof, Rysak Andrzej, Syta Arkadiusz,; „Dynamics of composite milling: application of recurrence plots to Huang experimental modes”; Discontinuity and complexity in nonlinear physical systems; [Red:] Machado J. A. Tenreiro , Bleanu Dumitru, Luo Albert C. J. - Heidelberg: Springer, 2014; Nonlinear Systems and Complexity [cyt. 0]

Przeprowadziłem numeryczne badania charakterystyk dynamicznych sił skrawania zarejestrowanych na stanowisku pomiarowym. Zastosowałem metodę rozkładu sygnału na mody doświadczalne za pomocą transformaty Huanga-Hilberta, która może być użyta również do danych niestacjonarnych. Połączenie tych metod pozwoliło dostrzec nowe modulacje i intermitencję w przypadku zmiany kąta przyłożenia narzędzia. Swój wkład szacuję na 30%.

A12. Sen, A. K, Litak Grzegorz, Syta Arkadiusz, Rusinek Rafał; „Intermittency and multiscale dynamics in milling of fiber reinforced composites”; MECCANICA 48(4) (2013); IF 1.815 [cyt. 4]

Wykorzystałem metodę entropii wieloskalowej do analizy dynamicznych charakterystyk procesu skrawania. W porównaniu z zastosowaną statystyką opisową szeregów czasowych użyta metoda wykazała intermitencję, przy różnych prędkościach obrotowych narzędzia, związaną z niejednorodnym materiałem obrabianym. Swój wkład szacuję na 40%.

B1. Borowiec Marek, Syta Arkadiusz; „Modelling of energy harvesting system from vertically excited magnetostrictive beam”; Applied Mechanics and Materials 844 (2016); IF 0.16 [cyt. 0]

Współpracowałem przy wyprowadzaniu dynamicznych równań ruchu modelowego układu odzyskiwania energii z belki magnetostrykcyjnej pobudzanej okresowo. Wyzaczyłem analitycznie pierwsze mody drgań układu. Swój wkład szacuję na 10%.

## **7. Mierniki osiągnięć naukowo – badawczych, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r.**

### **a) Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)**

Mój dorobek naukowy obejmuje 24 publikacje w czasopismach rejestrowanych w bazie Journal Citation Reports wymienione w Załączniku 4.

### **b) Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego**

brak

### **c) Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe**

brak

**d) Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach**

brak

**e) Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście JCR**

Oprócz publikacji zamieszczonych na liście JCR jestem współautorem 3 publikacji spoza bazy JCR oraz 4 rozdziałów w monografiach, również wymienionych w załączniku 4.

**f) Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych**

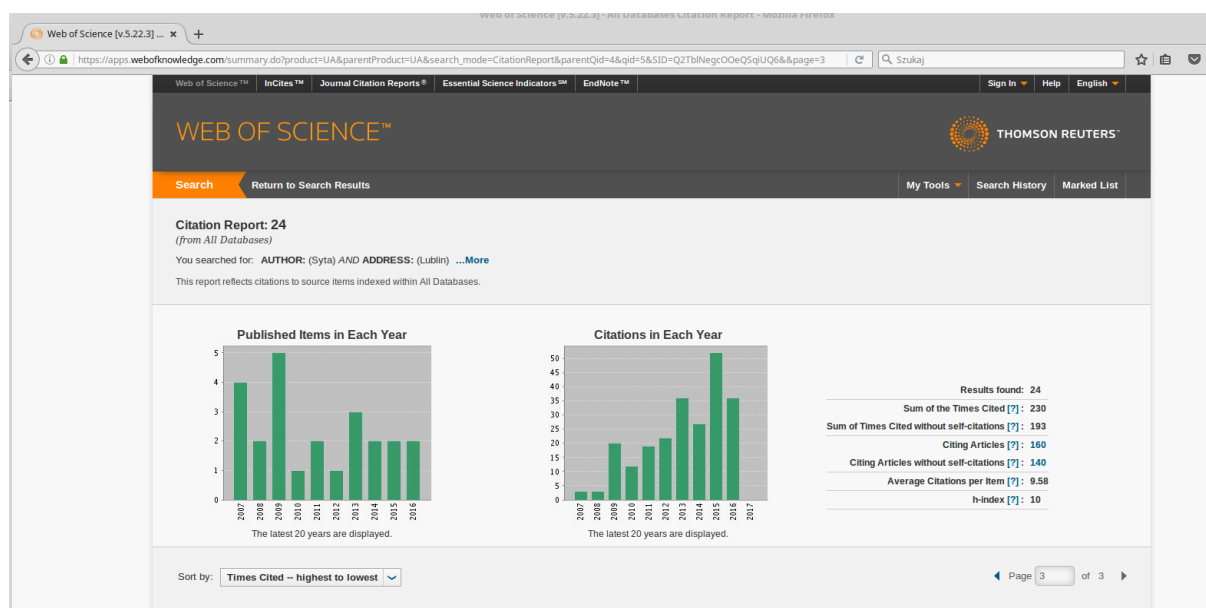
brak

**g) Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania**

Sumaryczny impact factor moich prac naukowych wynosi 39.66. Wskaźniki poszczególnych prac są zawarte w załączniku 4.

**h) Liczba cytowań publikacji wg bazy Web of Science (WoS)**

Liczba cytowań moich prac według bazy WoS na dzień 30.09.2016 wynosi 230, w tym bez samocytowań 193.



Rys. 1. Zrzut ekranu portalu Web of Science (wrzesień 2016).

**i) Indeks Hirscha opublikowanych pozycji według bazy Web of Science (WoS)**

Zgodnie z bazą „Web of Science” All Databases mój indeks Hirscha wynosi 10.

**j) Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach**

W czasie mojej pracy naukowej kierowałem 1 projektem badawczym (krajowym), byłem głównym wykonawcą w 3 projektach badawczych (2 krajowe i 1 zagraniczny) i wykonawcą w 2 projektach (zagranicznych):

- 2007-2009: 9008/B/T02/2007/33 - Badania nieliniowych układów mechanicznych z histerezą i z nieciągłościami (MNiSW) - kierownik projektu
- 2009-2010: POIG.0101.02-00-015/08 - Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, Priorytet 1. Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.1 Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych – wykonawca
- 2010-2012: Royal Society International Joint Project JP090343 Lublin-Swansea – główny wykonawca (kierownik prof. M.I. Friswell)
- 2012: FP7-245479 - Centre of Excellence for Modern Composites Applied in Aerospace and Surface Transport Infrastructure – CEMCAST – wykonawca (Koordynator – prof. T. Sadowski)
- 2013-2016: 2012/05/B/ST8/00080 - Wpływ efektów nieliniowych na pozyskiwanie energii z drgań mechanicznych (NCN) - główny wykonawca (Kierownik projektu - prof. G. Litak)
- 2014-2017: DEC-2013/11/D/ST8/03308 - Pozyskiwanie energii w układach mechanicznych z wykorzystaniem zjawiska magnetostrykcji (NCN) - główny wykonawca (Kierownik projektu - dr M. Borowiec)

**k) Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną**

- 2010: Stypendium naukowe dla doktorantów (Marszałek Województwa Lubelskiego)
- 2010: Indywidualna nagroda Rektora Politechniki Lubelskiej III stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2009/2010

**l) Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych lub udział w warsztatach naukowych**

W trakcie mojej kariery zawodowej wielokrotnie brałem udział w konferencjach naukowych organizowanych zarówno w kraju, jak i za granicą:

- 2015 - 13<sup>th</sup> International Conference „Dynamical Systems Theory and Applications”, Łódź, Polska
- 2015 - „Dynamics of Nonlinear Materials and Structures in Energy Harvesting”, Lublin, Polska
- 2014 - „Nonlinear Methods in Engineering”, Lublin, Polska
- 2013 - „12<sup>th</sup> International Conference: Dynamical Systems Theory and Applications”, Łódź, Polska
- 2013 - „Methods of Chaos Detection and Predictability: Theory and Applications, Dresden, Niemcy
- 2012 - „Nonlinear Dynamic Phenomena in Mechanical, Aerospace, and Civil Engineering, Lublin, Polska
- 2010 - „International Workshop in Recent Achievements on the Study of Extreme Events”, Potsdam, Niemcy
- 2009 - „SICON – Advanced Nonlinear Dynamics and Chaotic Dynamical Systems”, Lyon, Francja
- 2008 - “Euromech Colloquium 498”, Kazimierz Dolny nad Wisłą, Polska

- 2007 - „Second International Workshop on Recurrence Plots”, Siena, Włochy
- 2006 - „VII Konferencja Naukowa i V Sympozjum Doktoranckie nt. Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i współczesne technologie w budowie maszyn”, Kazimierz Dolny nad Wisłą, Polska
- 2006 - „XII Środowiskowa Konferencja Matematyczno-Informatyczna”, Chełm, Polska
- 2005 - “Recent Advances in Nonlinear Mechanics”, Aberdeen, Szkocja
- 2005 - „XI Środowiskowa Konferencja Matematyczno – Informatyczna”, Chełm, Polska
- 2004 - „X Środowiskowa Konferencja Matematyczno – Informatyczna”, Korytnica, Polska